ANKARA
INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV

October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye

THE PROCEEDINGS BOOK

EDITOR

Prof. Dr. Emel GÖNENÇ GÜLER

ISBN: 979-8-89695-576-4

www.ankarakongresi.org

Copyright © Liberty

ANKARA
INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV

October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye

EDITOR
Prof. Dr. Emel GÖNENÇ GÜLER

Issued: 20.10.2026

Liberty Publishing House
Water Street Corridor New York, NY 10038
www.libertyacademicbooks.com
+1 (314) 597-0372

ALL RIGHTS RESERVED NO PART OF THIS BOOK MAY BE REPRODUCED IN ANY FORM, BY PHOTOCOPYING OR BY ANY ELECTRONIC OR MECHANICAL MEANS, INCLUDING INFORMATION STORAGE OR RETRIEVAL SYSTEMS, WITHOUT PERMISSION IN WRITING FROM BOTH THE COPYRIGHT OWNER AND THE PUBLISHER OF THIS BOOK.

© Liberty Academic Publishers 2026

The digital PDF version of this title is available Open Access and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits adaptation, alteration, reproduction and distribution for noncommercial use, without further permission provided the original work is attributed. The derivative works do not need to be licensed on the same terms.

adopted by Mariam Rasulan

ISBN: 979-8-89695-576-4

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV

DATE and PLACE

October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye

ORGANIZATION

IKSAD INSTITUTE
iksadinstitute.org
iksad.org.tr
iksadyayinevi.com

ORGANISING COMMITTEE

Prof. Dr. Salih ÖZTÜRK
Prof. Dr. Muhittin ELİAÇIK
Assoc. Prof. Dr. Özlem ÜLGER
Assoc. Prof. Dr. Tuba ERKAYA KOTAN
Elvan CAFAROV
Assoc. Prof. Dr. Gönül SAMEDOVA
Assoc. Prof. Dr. Doğan ÇİLOĞLU
Assist. Prof. Dr. Mehmet TATOĞLU

COORDINATOR

Gönül EDEŞLER
Neslihan BALCI

NUMBER of ACCEPTED PAPERS - 291

NUMBER of REJECTED PAPERS - 58

PARTICIPANTS COUNTRY

Türkiye-129, Albania-1, Algaria-4, Azerbaijan-1, Bulgaria-1, China-1, Croatia-1, Ethiopia-1, Hungary-1, India-31, Indonesia-4, Iran-4, Iraq-3, Italy-1, Korea-1, Kosovo-1, Malaysia-1, Moldova-4, Morocco-4, Nigeria-31, Pakistan-24, Philippines-1, Poland-2, Portugal-2, Romania-12, Saudi Arabia-5, South Africa-1, Tunisia-3, TRNC-1, Ukraine-3, USA-2, Vietnam-10

SCIENTIFIC & ADVISORY BOARD

Prof. Dr. Miguel Gonçalves, olytechnic University of Coimbra
Prof. Dr. Umran TURKYILMAZ, Hacı Bayram Veli University
Prof. Dr. Emine KOCA, Hacı Bayram Veli University
Prof. Dr. Fatma KOÇ, Hacı Bayram Veli University
Prof. Dr. Mustafa ÜNAL, Erciyes University
Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN, Siirt University
Prof. Dr. Nadezhda KHAN, Karagandy State University
Prof. Dr. Necati DEMİR, Gazi University
Assoc. Prof. Dr. Tuba ERKAYA KOTAN, Atatürk University
Assoc. Prof. Dr. Doğan ÇİLOĞLU, Atatürk University
Assoc. Prof. Dr. Emine Gül CANSU ERGÜN, Başkent University
Assoc. Prof. Dr. Mevlüt ALBAYRAK, Atatürk University
Assoc. Prof. Dr. Hacı Bekir ÖZERKAN, Gazi University
Assoc. Prof. Dr. Halil AKMESE, Necmettin Erbakan University
Assoc. Prof. Hare KILIÇASLAN, Karadeniz Technical University
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Özkan TİMURKAN, Atatürk University
Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜLEÇ, Ankara University
Assoc. Prof. Dr. Malik YILMAZ, Atatürk University
Assoc. Prof. Dr. Pınar GÜL, Atatürk University
Assist. Prof. Dr. Mehmet TATOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Res. Assist. Dr. Tuğba ALTUNCU, Uşak Üniversitesi
Dr. ABHISHEK GUPTA, Chaudhary Charan Singh University
Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN, Ankara University
Dr. Bouthaina SAYAD, University of Blida
Dr. Ceylan GÜNDEĞER, Aksaray University
Dr. Çağla GÜR, Uluslararası Kıbrıs University
Dr. Didem DEMİRALP, Hacı Bayram Veli University
Dr. Dilek Şura ÖZDEN DİNÇ, Yüksek İhtisas University
Dr. Esra Eylem KARATAŞ, Yıldız Teknik University
Dr. Feruza MUSAEVA, Uzbekistan Language Institute
Dr. Fidan QASIMOVA, Azerbaijan National Academy of Sciences
Dr. Fulya KİNCAL, Kırklareli University
Dr. Gülcan DEMİROĞLU TOPÇU, Ege University
Dr. Güller ŞAHİN, Kütahya University of Health Sciences
Dr. Hatice Gül ÖNDER, Ankara Hacı Bayram Veli University
Dr. İhsan Seyit ERTEM, Gazi University
Dr. Jale COŞKUN, İstanbul Aydın University
Dr. Kerem ASMAZ, Yıldız Teknik University
Dr. Leyla ÇİMEN, Gaziantep Islamic Science and Technology University
Dr. Mehmet KARAKILCIK, Çukurova University
Dr. Mehmet YARDIMCI, Tekirdağ Namık Kemal University
Dr. Mehmet YILDIZ, Ankara University
Dr. Murat EYVAZ, Gebze Technical University
Dr. Mustafa Hicabi BÖLÜKDEMİR, Gazi University
Dr. Özcan EKİCİ, Dicle University

Dr. Polat YÜCEKAYA, Çanakkale Onsekiz Mart University
Dr. Pratibha, Kishhanlal State College
Dr. Roopali Sharma, Amity University Uttar Pradesh Noida
Dr. Sadiye KAYAARSLAN, Kırıkkale University
Dr. Semra KOCATAŞ, Cumhuriyet University
Dr. Shrawani SHAGUN, Mody University
Dr. Şaban KARAGİGLİOĞLU, Sinop University
Dr. Şerife YILDIZ, Selçuk University
Dr. Şeyda Ferah ASLAN, Çanakkale Onsekiz Mart University
Dr. Tamanna SAXENA, Amity University Uttar Pradesh Noida
Dr. Tenzile RUSTEMHANLI, Azerbaijan National Academy of Sciences
Dr. Yalçın KAYALI, Ankara University
Dr. Yusuf GENÇ, Sakarya University
Dr. Mohamed El Malki, Mohamed First University

ANKARA
INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV

CONGRESS PROGRAM

October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031
Zoom Passcode: 123456

Join Zoom Meeting
https://us02web.zoom.us/j/82955956031?pwd=7QZCl8zPMkI48bltTarmo4zaKHiRUa.1

PARTICIPANT COUNTRIES (32):

Türkiye, Albania, Algaria, Azerbaijan, Bulgaria, China, Croatia, Ethiopia, Hungary, India, Indonesia, Iran, Iraq, Italy, Korea, Kosovo, Malaysia, Moldova, Morocco, Nigeria, Pakistan, Philippines, Poland, Portugal, Romania, Saudi Arabia, South Africa, Tunisia, TRNC, Ukraine, USA, Vietnam

Önemli, Dikkatle Okuyunuz Lütfen

- ❖ Kongremizde Yazım Kurallarına uygun gönderilmiş ve bilim kurulundan geçen bildiriler için online (video konferans sistemi üzerinden) sunum imkanı sağlanmıştır.
- ❖ Online sunum yapabilmek için **https://zoom.us/join** sitesi üzerinden giriş yaparak "Meeting ID or Personal Link Name" yerine ID numarasını girerek oturuma katılabilirsiniz.
- ❖ Zoom uygulaması ücretsizdir ve hesap oluşturmaya gerek yoktur.
- ❖ Zoom uygulaması kaydolmadan kullanılabilir.
- ❖ Uygulama tablet, telefon ve PC'lerde çalışıyor.
- ❖ Her oturumdaki sunucular, sunum saatinden 5 dk öncesinde oturuma bağlanmış olmaları gerekmektedir.
- ❖ Tüm kongre katılımcıları canlı bağlanarak tüm oturumları dinleyebilir.
- ❖ Moderatör – oturumdaki sunum ve bilimsel tartışma (soru-cevap) kısmından sorumludur.

Dikkat Edilmesi Gerekenler- TEKNİK BİLGİLER

- ♦ Bilgisayarınızda mikrofon olduğuna ve çalıştığına emin olun.
- ♦ Zoom'da ekran paylaşma özelliğine kullanabilmelisiniz.
- ♦ Kabul edilen bildiri sahiplerinin mail adreslerine Zoom uygulamasında oluşturduğumuz oturuma ait ID numarası gönderilecektir.
- ♦ Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir
- ♦ Kongre programında yer ve saat değişikliği gibi talepler dikkate alınmayacaktır

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- ❖ To be able to attend a meeting online, login via **https://zoom.us/join** site, enter ID "Meeting ID or Personal Link Name" and solidify the session.
- ❖ The Zoom application is free and no need to create an account.
- ❖ The Zoom application can be used without registration.
- ❖ The application works on tablets, phones and PCs.
- ❖ The participant must be connected to the session 5 minutes before the presentation time.
- ❖ All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- ❖ Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

Points to Take into Consideration - TECHNICAL INFORMATION

- ♦ Make sure your computer has a microphone and is working.
- ♦ You should be able to use screen sharing feature in Zoom.
- ♦ Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.
- ♦ Requests such as change of place and time will not be taken into consideration in the congress program.

IN-PERSON

03.10.2026, Saturday

Ankara Büyükşehir Belediyesi Ulus Genç Akademi

Ankara Time

$10^{00} : 11^{45}$

Session-1

HEAD OF SESSION: Mahmut ÇELİK

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Dima BIRKDAR Emre Bahadir AL	*Sivas Cumhuriyet University, Türkiye*	INVESTIGATION OF ENERGY LEVEL AND ELECTRON DENSITY DISTRIBUTION UNDER DIFFERENT ELECTRIC FIELD ORIENTATIONS IN A HELICAL QUANTUM DOT
Mahmut ÇELİK Muhammed İkbal KARA Emine ŞİRİN	*Erciyes University, Türkiye* *Düzce University, Türkiye*	INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BALL-ON-DISK TEST PARAMETERS ON THE FRICTION BEHAVIOR OF THE 100CR6/WC TRIBOLOGICAL PAIR
Mahmut ÇELİK Muhammed İkbal KARA Emine ŞİRİN	*Erciyes University, Türkiye* *Düzce University, Türkiye*	INVESTIGATION OF THE TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF ADDITIVELY MANUFACTURED AlSi10Mg ALLOY UNDER DIFFERENT COUNTERBODY MATERIALS AND NORMAL LOADS
Burak ÇAKIL Ozan İNCE Erkut SAYIN Mesut GÖR Elif Gökçe İNCE	*Fırat University, Türkiye* *Erzincan Binali Yıldırım University, Türkiye*	INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT SOIL CLASSES ON THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS
Burak ÇAKIL Ozan İNCE Erkut SAYIN Mesut GÖR Elif Gökçe İNCE	*Fırat University, Türkiye* *Erzincan Binali Yıldırım University, Türkiye*	EFFECT OF GROUND-STORY COLUMN SIZE ON THE PERFORMANCE OF SOFT-STORY RC BUILDINGS
Muhammed ULUCAN Ibrahim CEBECI	*Fırat University, Türkiye* *SEBIZA Technology Limited Company, Türkiye*	EFFECT OF SUPPLEMENTARY CEMENTITIOUS MATERIAL TYPE ON THE ULTRASONIC PULSE VELOCITY–COMPRESSIVE STRENGTH CALIBRATION OF CONCRETE
Muhammed ULUCAN Ibrahim CEBECI	*Fırat University, Türkiye* *SEBIZA Technology Limited Company, Türkiye*	EVALUATION OF EXISTING UPV, REBOUND AND SONREB MODELS FOR STRENGTH PREDICTION IN METAKAOLIN CONCRETE

IN-PERSON

03.10.2026, Saturday

Ankara Büyükşehir Belediyesi Ulus Genç Akademi

Ankara Time

12^{00} : 13^{45}

Session-2

HEAD OF SESSION: Savaş ATASEVER

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Yurdaer ŞAHIN Yağmur AKYOL Mükerrem KAYA	*Atatürk University, Türkiye*	HEAT-TREATED SUCUK: FERMENTATION, HEAT TREATMENT, AND DRYING CONDITIONS
Özlem TAYANÇ Güzin KABAN	*Atatürk University, Türkiye*	POTENTIAL USE OF PROPOLIS AS A FUNCTIONAL INGREDIENT IN FERMENTED SAUSAGE PRODUCTION
İlknur ORTAYOL DİNDER Güzin KABAN	*Atatürk University, Türkiye*	THE ROLE OF DEBARYOMYCES HANSENII IN FERMENTED SAUSAGES AND ITS EFFECT ON QUALITY
Hilal ORTADOGRU Yağmur AKYOL Mükerrem KAYA	*Atatürk University, Türkiye*	POSSIBILITIES OF USING PROBIOTIC STRAINS AS STARTER CULTURES IN FERMENTED SAUSAGES
Savaş ATASEVER	*University of Ondokuz Mayis, Türkiye*	IMPORTANCE OF ENSURING THE UNIFORMITY OF SOMATIC CELL COUNT OF COW MILK
Alper DEMİRBUGAN	*Türkiye*	SUSTAINABLE REHABILITATION OF MINE SITES
Alper DEMİRBUGAN	*Türkiye*	EVALUATION OF INVESTMENT PROJECTS WITH POINT OF STAEKEHOLDERS EFFECTS

IN-PERSON

03.10.2026, Saturday

Ankara Büyükşehir Belediyesi Ulus Genç Akademi

Ankara Time

14^{00} : 15^{45}

Session-3

HEAD OF SESSION: Bülent EVRE

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Furkan SAKIZ Hanefi GEZER Muhammed BEŞİR	*Eskişehir Technical University, Türkiye*	FROM TEXT MINING TO PORTFOLIO MANAGEMENT: A FinBERT AND DCC-GARCH ENHANCED BLACK-LITTERMAN MODEL
Beyza ŞİMŞEK Eylül Sude ÖZBAYLAR Furkan TÜZÜN	*Ankara Social Sciences University, Türkiye* *Hacettepe University, Türkiye*	THE RELATIONSHIP OF HIGHER EDUCATION INFLATION WITH LABOR MARKER AND EDUCATIONAL DECISIONS OF INDIVIDUALS: A INVESTIGATION FROM SOCIOLOGICAL AND ECONOMICS PERSPECTIVES
Fatma ÖZBİÇKİ	*Gaziantep University, Türkiye*	THE FOUNDATIONS OF POLITICAL AUTHORITY'S LEGITIMACY: FROM TRADITIONAL GOVERNANCE TO THE MODERN STATE
Özgür MENGİLER	*Ankara University, Türkiye*	THE DICHOTOMY OF VALUES AND INTERESTS IN EUROPEAN UNION FOREIGN POLICY
Bülent EVRE	*Bahçeşehir Cyprus University, TRNC*	FROM PARLIAMENTARY MAJORITIES TO COALITION GOVERNANCE: DETERMINANTS OF GOVERNMENT STABILITY IN NORTHERN CYPRUS, 1983–2026
Ali İhsan MIHÇI S. Bilge KARAÖZ	*Hacı Bayram Veli University, Türkiye*	ANALYSIS OF THE INTERIOR ORNAMENTATION OF A GROUP OF ILLUSTRATED SHAHNAMEH MANUSCRIPTS IN THE TOPKAPI PALACE

IN-PERSON

03.10.2026, Saturday

Ankara Büyükşehir Belediyesi Ulus Genç Akademi

Ankara Time

16^{00} : 17^{45}

Session-4

HEAD OF SESSION: Cihandar HASANHANOĞLU

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Cihandar HASANHANOĞLU	*Başkent University, Türkiye*	PSYCHOSOCIAL RISKS AND TECHNOSTRESS MANAGEMENT IN OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A PROACTIVE APPROACH FROM THE PERSPECTIVE OF INDUSTRY 5.0
Cihandar HASANHANOĞLU	*Başkent University, Türkiye*	THE ROLE OF INDIVIDUAL DIFFERENCES IN OCCUPATIONAL SAFETY PERFORMANCE: A CONCEPTUAL MODEL PROPOSAL FOR THE RELATIONSHIPS AMONG PERSONALITY TRAITS, RISK PERCEPTION, AND ACCIDENT PRONENESS
Salih KIRKAN	*Başkent University, Türkiye*	THE ROLE OF WORKER AGE AND JOB TENURE IN OCCUPATIONAL ACCIDENTS: AN ANALYSIS BASED ON SGK DATA
Salih KIRKAN	*Başkent University, Türkiye*	THE EFFECT OF SHIFT WORK AND NIGHT SHIFTS ON THE RISK OF WORK-RELATED ACCIDENTS IN TURKEY: A STUDY BASED ON SGK DATA AND NATIONAL/INTERNATIONAL LITERATURE
Hatice Sena BÜLBÜL Muhammed KÖSTEKCİ	*Kırşehir Ahi Evran University, Türkiye*	THE POWER OF THE INVISIBLE BOND: DEVELOPMENTAL TRACES OF FATHER–INFANT ATTACHMENT
Beran FERIDUN	*Gazi University, Türkiye*	DETERMINATION OF DETAILED AMINO ACID PROFILES OF THREE POTENTIAL EDIBLE INSECTS AT THE LAST LARVAL STAGE
Serap IŞIK SEYLAN Esra ÇAKIRLAR ALTUNTAŞ	*Hacettepe University, Türkiye*	AN EXAMINATION OF THE BOTANY TOPICS IN THE 2018 AND 2024 SECONDARY EDUCATION BIOLOGY CURRICULA
Özlem BAKIR BOĞA Esabi Başaran KURBANOĞLU	*Atatürk University, Türkiye*	THE EFFECT OF BACILLUS WIEDMANNII ON THE MICROBIOTA OF POLYPHYLLA FULLO LARVAE
Özlem BAKIR BOĞA Esabi Başaran KURBANOĞLU	*Atatürk University, Türkiye*	WHOLE GENOME ANALYSIS OF BACILLUS WIEDMANNII ISOLATED FROM POLYPHYLLA FULLO BEETLE LARVAE

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
10^{00} : 12^{00}

Session-1
Hall-1

HEAD OF SESSION: Pınar AYYILDIZ

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Mevsim ZENGİN	*Mersin University, Türkiye*	MANAGING DIVERSITY IN SCHOOLS: A REVIEW OF POSTGRADUATE THESES
Abuzer YEŞİL	*Malatya Turgut Özal University, Türkiye*	THE CULTURE OF INQUIRY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A CONCEPTUAL APPROACH TO THE TRANSFORMATION OF KNOWLEDGE CULTURE
Pınar AYYILDIZ	*Yüksek İhtisas University, Türkiye*	POSITIONING SOCIAL TRANSCRIPTS AND MICRO-CREDENTIALS WITHIN UNIVERSITY LEARNING ECOSYSTEMS
Mustafa KURUL Halil ERSOY	*Süleyman Demirel University, Türkiye*	THE IMPACT OF RESTORATION INTERVENTIONS ON THE LEGIBILITY OF HISTORIC MINARETS: THE CASE OF THE GELENDOST AFŞAR MOSQUE
Aydan ERARSLAN TURHAN	*Anadolu University, Türkiye*	DEMOCRATIZING GRAPHIC DESIGN: ERROR PATTERNS FROM DESKTOP PUBLISHING TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE
Remziye KÖSE ÖZELÇİ	*İstanbul Kültür University, Türkiye*	THE UNBEARABLE ALLURE OF AGING IN JAPAN: PLAN 75 AND THE ADVERTISED RIGHT TO EUTHANASIA

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
10^{00} : 12^{00}

Session-1
Hall-2

HEAD OF SESSION: Emel GÖNENÇ GÜLER

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Hakan ÖNDES	*Bandırma Onyedi Eylül University, Türkiye*	THE DYNAMIC VOLATILITY DEPENDENCE BETWEEN GLOBAL MARITIME TRANSPORT AND ENERGY MARKETS AND THE TURKISH TRANSPORTATION SECTOR
Ceren Nur ÖZBEN Melike ALKAN Mehmet Zahid ECEVİT	*Bursa Technical University, Türkiye*	THE EFFECT OF BRAND INFORMATION PRESENTATION FORMAT ON PURCHASE INTENTION: THE MEDIATING ROLE OF NARRATIVE TRANSPORTATION
Furkan ÖZKAN Özge DEMİRCİ Mehmet Zahid ECEVİT	*Bursa Technical University, Türkiye*	DATA COLLECTION INTENSITY AND PERCEIVED SURVEILLANCE IN SMARTWATCHES: PRIVACY CONCERNS AND USAGE INTENTION
Ceylan Merve BİNİCİ	*Atlas University, Türkiye*	THE EVOLUTION OF DIGITAL LEADERSHIP SCALES: A FRAMEWORK FOR NEXT-GENERATION SCALE DEVELOPMENT
Ersin YENİSU	*Uşak University, Türkiye*	HOW DO R&D EXPENDITURES AFFECT SUSTAINABILITY (ESG) SCORES? AN EMPIRICAL STUDY
Emel GÖNENÇ GÜLER	*Trakya University, Türkiye*	THE CONTRIBUTION OF EUROPEAN UNION CROSS-BORDER COOPERATION PROJECTS TO EDIRNE: AN ECONOMIC, SOCIAL, CULTURAL, AND ENVIRONMENTAL EVALUATION
Muhittin İlhan UZ Togan KARATAŞ	*Marmara University, Türkiye*	THE 2023 EYT REGULATION ON THE RETIREMENT-AGE REQUIREMENT IN THE CONTEXT OF DEBATES ON ECONOMIC POPULISM: TAKING STOCK

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
10^{00} : 12^{00}

Session-1
Hall-3

HEAD OF SESSION: Neslihan BALCI

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Merve GÜLER Nuri Murat YAĞMURLU	*İnönü University, Türkiye*	AN INNOVATIVE PARADIGM FOR NUMERICAL SOLUTIONS: A CUBIC HERMITE LEAST SQUARES APPROACH
Hasan Suay TANIN Davut KESEN Memet ŞAHİN	*Gaziantep University, Türkiye*	IMPROVING QUALITY IN NEUTROSOPHIC GRAY AND COLOR IMAGE CONVERSION
Hasan Suay TANIN Memet ŞAHİN Davut KESEN	*Gaziantep University, Türkiye*	HILBERT SPACES: A FRAMEWORK FROM THE FOUNDATIONS OF FUNCTIONAL ANALYSIS TO QUANTUM COMPUTING APPLICATIONS
Hasan Suay TANIN Memet ŞAHİN Davut KESEN	*Gaziantep University, Türkiye*	OBTAINING IMAGE NEGATIVES VIA QUANTUM PROGRAMMING AND HYBRID QUANTUM EDGE DETECTION: TECHNICAL INFRASTRUCTURE
Hasan Suay TANIN Davut KESEN Memet ŞAHİN	*Gaziantep University, Türkiye*	QUANTUM MACHINE LEARNING BASED ON QISKIT 2.X: FUNDAMENTAL CONCEPTS, APPLICATIONS AND LIMITATIONS
Şükrü ŞAFAK Mustafa ÖNDER	*Eskşehir Osmangazi University, Türkiye*	STATISTICAL PERFORMANCE ANALYSIS IN MINING OPERATIONS

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
10^{00} : 12^{00}

Session-1
Hall-4

HEAD OF SESSION: Raghad Nassif Jassim

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Raghad Nassif Jassim	*University of Baghdad, Iraq*	THE MIDDLE EAST AND THE RECONFIGURATION OF THE GLOBAL BALANCE OF POWER
Ratna Septiyanti Harsono Edwin Puspita Doni Sagitarian Warganegara Agus Zahron Idris	*University of Lampung, Indonesia*	HOUSEHOLD EXPENDITURE AND REGIONAL ECONOMIC WELFARE: EVIDENCE FROM WEST JAVA, INDONESIA
Alhassan Yunusa Alkali Mohammed Jibril Abubakar A. Ejiko Mohammed Maishera	*Minna Institute of Technology and Innovations, Nigeria*	ASSESSING AUTO-TRICYCLE AND MOTORCYCLE OPERATORS' AWARENESS OF ROAD SIGN SYMBOLS AND COMPLIANCE WITH SAFETY RULES IN NIGER STATE, NIGERIA
Muhammed Mustafa İZGEÇ	*Energy Market Regulatory Authority, Türkiye*	A MULTIDIMENSIONAL TRANSITION READINESS METHOD FOR R&D AND PRODUCT-DEVELOPMENT PILOT PROJECTS IN THE ENERGY SECTOR
Murat Berker ÖZBEK Yasamin AKRAMİ	*Wingie Enuygun, Türkiye*	WHEN IS VIRTUAL INTERLINING COMPETITIVE? PRICE AND FEASIBILITY EVIDENCE FROM ONE MILLION CANDIDATE CONNECTIONS
Asim Alamssi Ahmad Azmi M. Ariffin Nur Wafaa Abdullah Shaimi	*Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia*	DOES TRAVELLING MODE MATTER? EXPERIENCE QUALITY AND PLACE ATTACHMENT AMONG INDEPENDENT AND PACKAGE MUSLIM TRAVELLERS IN KUALA LUMPUR
Huynh Thi Cam Le Pham Thi Hong Nhung Nguyen Thi Nga Dao Hoang Lan Anh	*Nha Trang University, Vietnam*	FACTORS INFLUENCING GENERATION Z'S INTENTION TO USE ECO-FRIENDLY PERSONAL BAGS WHEN SHOPPING FOR GOODS
Amit Kumar Singh Lovleen Gupta Utkarsh Kumar Singh Mamta Dhanda	*University of Delhi, India*	FINANCING URBAN INDIA GREEN: GREEN MUNICIPAL BOND ISSUANCE AND ITS INFLUENCE ON MUNICIPAL CORPORATIONS' FINANCIAL STRUCTURE

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
10^{00} : 12^{00}

Session-1
Hall-5

HEAD OF SESSION: FANU Abimbola Theresa

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Venkata Nagaraj Kakaraparthi	*King Khalid University, Saudi Arabia*	EFFECT OF PILATES EXERCISE PROGRAM COMBINED WITH ERGONOMIC ADVICE VERSUS ERGONOMIC ADVICE ALONE ON WORK RELATED MUSCULOSKELETAL DISORDERS AMONG PHYSIOTHERAPISTS A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL
Ghada Mohamed Hamouda Khadijah Ali Alshawush, Badriah Mohammed Ahmed Kadomi	*King Abdulaziz University, Saudi Arabia*	THE EFFECT OF NURSING MANAGERS' SELF-COMPASSION ON NURSES' PERCEPTION REGARDING LEADERSHIP EFFECTIVENESS, SAUDI ARABIA
Fatma Hammami Makram Koubaa Sirine Chtourou Ranim Toumi Chakib Marrakchi Mounir Ben Jemaa	*Hedi Chaker University Hospital, Tunisia*	FACTORS ASSOCIATED WITH MULTIDRUG-RESISTANT ESCHERICHIA COLI URINARY TRACT INFECTIONS
Fatma Hammami Makram Koubaa Sirine Chtourou Ranim Toumi Chakib Marrakchi Mounir Ben Jemaa	*Hedi Chaker University Hospital, Tunisia*	CLINICAL FEATURES, MANAGEMENT, AND OUTCOMES OF ABDOMINAL ABSCESSES IN THE ELDERLY
Maryam Arif Hina Afzal Mahrunisa Atif	*Hajvery University, Pakistan*	PREVALENCE AND DETERMINANTS OF DRUG ABUSE AMONG YOUTH IN LAHORE, PUNJAB, PAKISTAN
Andrea Lehoczki Diána Görög Mónika Fekete	*Institute of Preventive Medicine and Public Health, Hungary*	BEYOND COLORECTAL CANCER: MEDITERRANEAN DIET ADHERENCE AND THE RISK OF HEAD AND NECK, GASTRIC, AND LIVER CANCERS
Maryem Arraji Mohamed Khalis Mohamed Chahboune	*Mohammed VI University, Morocco*	USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR MEDICATION ADHERENCE ASSESSMENT IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES: AN EXPLORATORY STUDY IN MOROCCO USING CHATGPT AND THE VALIDATED GENERAL MEDICATION ADHERENCE SCALE
Omoirri, M A Iboro I Ifeanyi P O Udom, GJ Oyepata JS Janefrancis IO	*Federal University Oye-Ekiti, Nigeria*	TRADITIONAL MEDICINE USE, MEDICINE SAFETY AND HEALTH-SEEKING BEHAVIOUR IN NIGERIA: BRIDGING BIOMEDICAL EVIDENCE AND PUBLIC HEALTH PRACTICE
FANU Abimbola Theresa	*Federal University Oye Ekiti, Nigeria*	EFFECT OF ENVIRONMENTAL CHANGES ON THE HEALTH OF RURAL DWELLERS IN SOUTHWEST, NIGERIA
Yusuf Olanrewaju Lateef Onifade Aliyah Adeola	*Lagos State University, Nigeria*	EXAMINING THE HEALTH IMPLICATIONS OF POOR ENVIRONMENTAL PRACTICES AND REGULATORY NON-COMPLIANCE IN LAGOS STATE

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
10^{00} : 12^{00}

Session-1
Hall-6

HEAD OF SESSION: Ion PETRE

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Sorin BURLICA, Stela IURCIUC Tiberiu BULEU Oana TOADER Ion PETRE ROXANA FURAU Izabella PETRE	*"Victor Babes" University, Romania*	ASSOCIATION OF SERUM ESTRADIOL AND VITAMIN D WITH MENOPAUSAL SYMPTOM SEVERITY: A CROSS-SECTIONAL STUDY
Ion PETRE Daian Ionel POPA Tiberiu BULEU Elena Ramona DRAGOMIR Marina MERCIONI Maryam KRROSHEN	*Victor Babes" University, Romania*	MACHINE LEARNING-BASED PREDICTION OF SEVERE MENOPAUSAL SYMPTOMS: AN EXPLAINABLE RANDOM FOREST APPROACH
Adrian LOICHITA Ion PETRE Narcisa Carmen MLADIN Daian Ionel POPA Florina BULEU Alexandru – Marius FURAU Izabella PETRE	*Victor Babes" University, Romania*	LONGITUDINAL CHANGES IN ARTERIAL STIFFNESS IN HYPERTENSIVE PREGNANCIES: A COMPARATIVE STUDY
Ioana ARDELEAN Ion PETRE Stela IURCIUC Tiberiu BULEU Maryam KRROSHEN Laurantiu Cezar TOMESCU Oana TOADER Izabella PETRE	*Victor Babes" University, Romania*	MATERNAL VASCULAR DYSFUNCTION AND ADVERSE OBSTETRIC AND NEONATAL OUTCOMES IN HYPERTENSIVE PREGNANCIES
Alexandru – Marius FURAU Razvan BOBORA Florina BULEU Ion PETRE ROXANA FURAU Daian Ionel POPA Izabella PETRE	*Victor Babes" University, Romania*	BASELINE HEMATOLOGICAL PARAMETERS AND SUBSEQUENT HEMOGLOBIN DECLINE IN WOMEN WITH CERVICAL CANCER: A RETROSPECTIVE COHORT STUDY
Madalina SOROP Ion PETRE Bogdan SOROP Florina BULEU Tiberiu BULEU Narcisa Carmen MLADIN Izabella PETRE	*Victor Babes" University, Romania*	AORTIC PULSE WAVE VELOCITY AND CENTRAL HEMODYNAMICS IN HYPERTENSIVE PREGNANCY: LONGITUDINAL ASSOCIATIONS AND VASCULAR PHENOTYPING
Mihai LOICHITA Ion PETRE Maryam KRROSHEN Razvan BOBORA Alexandru – Marius FURAU Carina BOGDAN Izabella PETRE	*Victor Babes" University, Romania*	FIGO STAGE AND TREATMENT-RELATED FACTORS ASSOCIATED WITH HEMOGLOBIN DECLINE IN WOMEN WITH CERVICAL CANCER: A REAL-WORLD STUDY
Razvan BOBORA Alexandru – Marius FURAU Florina BULEU Ion PETRE ROXANA FURAU Elena Ramona DRAGOMIR Izabella PETRE	*Victor Babes" University, Romania*	EXPLAINABLE MACHINE LEARNING FOR PREDICTING HEMOGLOBIN DECLINE IN WOMEN WITH CERVICAL CANCER: A REAL-WORLD STUDY

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
12^{30} : 14^{30}

Session-2
Hall-1

HEAD OF SESSION: Sabahattin TEKİNGÜNDÜZ

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Serap YILMAZ Funda Gülay KADIOĞLU	*Çukurova University, Türkiye*	PROCESSES CONTRIBUTING TO THE CONCEPTUAL DEVELOPMENT OF BIOETHICS
Sümeyye KOÇ	*Konya City Hospital, Türkiye*	PAPILLARY THYROID CARCINOMA DETECTED DURING PERIODIC OCCUPATIONAL HEALTH SURVEILLANCE IN AN INTERVENTIONAL RADIOLOGY NURSE: A CASE REPORT
Rahmiye Nur AKTAN YILMAZ Ali KARAAĞAÇ Başak GÖKSEL KARAAĞAÇ	*İstanbul Gelişim University, Türkiye*	RELATIONSHIPS BETWEEN PERCEIVED STRESS, PSYCHOLOGICAL ADJUSTMENT, AND PARENTAL SELF-EFFICACY IN CHILDREN WITH HEARING LOSS
Ali KARAAĞAÇ Rahmiye Nur AKTAN YILMAZ Başak GÖKSEL KARAAĞAÇ	*İstanbul Gelişim University, Türkiye*	VESTIBULAR SYMPTOMS AND CLINICAL BALANCE PERFORMANCE IN CHILDREN WITH COCHLEAR IMPLANTS: A COMPARATIVE STUDY
Beyhan Özge YERSEL	*Başkent University, Türkiye*	CONTINGENCY CONTRACTS FOR REDUCING PROBLEM BEHAVIORS IN CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER
Hayat BUCAK Müge BÖLÜKKAYA Sabahattin TEKİNGÜNDÜZ	*Mersin University, Türkiye*	THE APPLICABILITY OF CHANGE MANAGEMENT MODELS IN HEALTHCARE INSTITUTIONS: A COMPARATIVE CASE SCENARIO ANALYSIS OF LEWIN AND KOTTER MODELS
Zeliha YAMAN TOPDEMIR Müge BÖLÜKKAYA Sabahattin TEKİNGÜNDÜZ	*Mersin University, Türkiye*	THE IMPLICATIONS OF TECHNOSTRESS FOR PSYCHOSOCIAL HEALTH AMONG HEALTHCARE WORKERS

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
12^{30} : 14^{30}

Session-2
Hall-2

HEAD OF SESSION: Neslihan BALCI

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Herkail ÖZEN Arzu Simnem SATILMIŞ Bahadır KAYA	*ASOS Process Machinery Inc., Türkiye*	DEVELOPMENT OF A SUSTAINABLE PROCESS FOR THE PRODUCTION OF HIGH-PURITY SODIUM SULFATE FROM IRON AND STEEL INDUSTRY-DERIVED SODIUM SULFATE WASTES VIA A ZERO LIQUID DISCHARGE APPROACH
Pelin ÇAKIR	*Danone, Türkiye*	ACHIEVING TARGET RHEOLOGICAL PROPERTIES THROUGH STARCH AND GUAR GUM OPTIMIZATION IN CHOCOLATE PUDDING FORMULATION
Kevser BAL Özlem KAPLAN Mehmet Koray GÖK	*Istanbul University-Cerrahpaşa, Türkiye* *Alanya Alaaddin Keykubat University, Türkiye*	PREPARATION and CHARACTERIZATION of OCTANOIC ACID–GELATIN CONJUGATE-BASED NANOCARRIERS
Özgü Nur KAHRAMAN	*DİMES A.Ş., Türkiye*	FOOD FRAUD AND ADULTERATION RISKS AND CONTROL APPROACHES IN THE FRUIT JUICE INDUSTRY
Hilal TÜFENK TEKERCİOĞLU	*DİMES A.Ş., Türkiye*	RISK-BASED ASSESSMENT AND MANAGEMENT OF ALLERGEN RISKS IN THE FRUIT JUICE INDUSTRY
Ayse YİLDİRİM	*Selçuk University, Türkiye*	SENSOR APPLICATION OF 1,8-NAPHTHALIMIDE-FUNCTIONALIZED MIL-101-NH_2 METAL-ORGANIC FRAMEWORK FOR HG^{2+} ION DETECTION

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
12^{30} : 14^{30}

Session-2
Hall-3

HEAD OF SESSION: Veda BİLİCAN GÖKKAYA

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Özlem Özden TUNCA Yasemin GÜNDOĞMUŞ	*Fenerbahçe University, Türkiye*	EMOTIONAL INTIMACY IN ROMANTIC RELATIONSHIPS DURING EMERGING ADULTHOOD: THE ROLE OF ATTACHMENT STYLES AND RELATIONSHIP SABOTAGE
Akif Furkan ALEMDAR Fulya YÜKSEL ŞAHİN	*Yıldız Technical University, Türkiye*	THE PREDICTIVE ROLE OF LIFE SKILLS AND VIRTUAL ENVIRONMENT LONELINESS LEVELS IN PHUBBING LEVELS AMONG YOUNG ADULTS
Veda BILICAN GOKKAYA Meral ÖZTÜRK	*Sivas Cumhuriyet University, Türkiye*	CHANGING FAMILY STRUCTURES AND THE RISE OF GRAY DIVORCE
Mehmet ULAŞ	*İnönü University, Türkiye*	THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS IN BUILDING CORPORATE REPUTATION
Ahmed Hamza ALPAY	*Bayburt University, Türkiye*	HISTORICAL CHANGE AND CAUSALITY: THE PROBLEM OF EXPLANATION IN HISTORICAL SOCIOLOGY
İsmail ÖZDEMİR	*İstanbul Gerik University, Türkiye*	GENDER AND INEQUALITY OF OPPORTUNITY IN THE CONTEXT OF REMOTE AND HYBRID WORK

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
12^{30} : 14^{30}

Session-2
Hall-4

HEAD OF SESSION: Jignasa V. Gohel

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Shoaib Akhtar Ansar Rafeeq	*Government Graduate College for Boys, Pakistan*	FACILE FABRICATION OF Zinc ALUMINIUM SULPHIDE REDUCED GRAPHENE OXIDE NANOCOMPOSITE FOR HIGH-PERFORMANCE SUPERCAPACITOR APPLICATIONS
Moses Adeolu AGOI Samuel Olayiwola AJAGA Olajuwon Victor OLAYINKA Oluwanifemi Opeyemi AGOI	*Lagos State University of Education, Nigeria*	THE ROLE OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DESIGNING NEXT-GENERATION MATERIALS FOR SUSTAINABLE ENGINEERING APPLICATIONS
Muhammad Asim Nawaz Shahid Adeel Mahwish Salman Muhammad Usama	*Government College University Faisalabad, Pakistan*	VALORIZATION OF AGRICULTURE WASTE INTO SUSTAINABLE COLORANTS FOR TEXTILES
Jignasa V. Gohel Aliva Manjari Lenka	*Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology, India*	ENHANCED TRANSPARENT MODIFIED ENCAPSULANTS FOR NEXT-GENERATION PEROVSKITE SOLAR CELLS
Jignasa V. Gohel Jigish S. Chopda Pallavi S. Gharat Vineet Rathore	*Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology, India*	BEYOND THE LEAD PARADIGM: ENHANCED PROPERTIES OF NEXT GENERATION LEAD-FREE PEROVSKITE SOLAR CELLS WITH GREENER ARCHITECTURE
Jignasa V. Gohel Swaraj Kumar	*Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology, India*	COMPREHENSIVE REVIEW OF RUBIDIUM ENGINEERING IN PEROVSKITE SOLAR CELLS: STRATEGIES FOR ENHANCING EFFICIENCY AND STABILITY
Belarbi Faten	*Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem, Algeria*	CHARACTERIZATION AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF GREEN CU_2SNS_3 MATERIALS FOR SOLAR ENERGY CONVERSION
Oday Ali Chiachen Radhiyah M. Aljarrah	*University of Kufa, Iraq*	HIGH EFFICIENCY MYCOTOXIN DETECTION BASED ON ADVANCED LOCAL SURFACE PLASMON
Ikechukwu P. Ejidike	*Anchor University, Nigeria*	TRIVALENT METAL–SCHIFF BASE COMPLEXES WITH BIOLOGICAL ASSESSMENT: EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL STUDIES

ONLINE

02.10.2026, Friday

Ankara Time

$12^{30} : 14^{30}$

Session-2

Hall-5

HEAD OF SESSION: Raghav Sivakumar

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Elena STRELNIKOVA Kirill DEGTYAREV Denys KRIUTCHENKO Andry KOLODIAZHNY Yury NAUMENKO	*National Kharkiv University, Ukraine*	SUPPRESSION OF LIQUID SLOSHING IN TANKS USING FLOATING COVERS
J.Jeyavarshana B.Kopika S.Selvam	*Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College Nagamalai, India*	AI-BASED PREDICTIVE MAINTENANCE FOR MINI COOPER
S. Selvam J. Aparna	*Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College Nagamalai, India*	PLANT DISEASE DETECTION USING AI BASED VGG-16 MODEL
Malik Shaheryar Muhammad Ali Nasir Muhammad Azeem Rehman Khan	*University of Engineering and Technology Taxila, Pakistan*	EFFECT OF IMPACT STRENGTH OF 3D PRINTED CARBON FIBER-REINFORCED POLYLACTIC ACID (CF-PLA) ON DIFFERENT PRINTING PARAMETERS
Rehman KHAN Mıan DANIYAL GUL Muhammad SHARIQ Sagheer AHMED	*Swedish College of Engineering and Technology Wah, Pakistan*	DESIGN AND FABRICATION OF SOLAR E-TRIKE
Raghav Sivakumar	*United World Academy, India*	AI-POWERED ROBOTIC WELDING IN AUTOMOBILE MANUFACTURING: ENHANCING PRECISION, QUALITY, AND MANUFACTURING EFFICIENCY
Mohamed Dhia Massoudi Mohamed Bechir Ben Hamida	*Imam Mohammad Ibn Saud Islamic University, Saudi Arabia*	HYBRID THERMAL ENHANCEMENT OF NATURAL-CONVECTION HEAT SINKS USING AERODYNAMIC WINGLETS AND SWCNT-WATER NANOFLUIDS

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
12^{30} : 14^{30}

Session-2
Hall-6

HEAD OF SESSION: Erdem GÜLÜMSER

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Sema LEBLEBİCİ Erdem GÜLÜMSER	*Bilecik Şeyh Edebali University, Türkiye*	ALLELOPATHIC EFFECT OF HOP EXTRACT ON EARLY DEVELOPMENT CHARACTERISTICS OF BUCKWHEAT (FAGOPYRUM ESCULENTUM MOENCH)
Sema LEBLEBİCİ Erdem GÜLÜMSER	*Bilecik Şeyh Edebali University, Türkiye*	EFFECTS OF DIFFERENT DOSES OF HOP EXTRACTS ON GERMINATION AND EARLY SEEDLING GROWTH OF GRASS PEA (LATHYRUS SATIVUS L.)
Tuğba Betül TEMIREL Serap YALÇIN AZARKAN	*Kırşehir Ahi Evran University, Türkiye*	MICRO- AND NANOPLASTIC ACCUMULATION IN HUMAN POSTMORTEM BRAIN TISSUE
Tuğba Betül TEMIREL Serap YALÇIN AZARKAN	*Kırşehir Ahi Evran University, Türkiye*	IN SILICO INVESTIGATION OF CISPLATIN-INDUCED CELLULAR SENESCENCE IN BREAST CANCER
Nagihan SEKİ Arife Nur CİHAN	*Karabük University, Türkiye*	EVALUATION OF POISONOUS ORNAMENTAL PLANTS AND PHYTOTOXICOLOGICAL RISKS IN URBAN GREEN SPACES OF SAFRANBOLU (KARABUK)
Pınar İrem ATA Erhan ÖZDİLER Ayşe Tuba ALTUĞ DEMİRALP Orhan ÖZDİLER Hakkı TAŞTAN	*Gazi University, Türkiye* *Kıbrıs Health and Social Sciences University, TRCN* *Ankara University, Türkiye*	INVESTIGATION OF THE MSX1 GENE G267C POLYMORPHISM IN TURKISH PATIENTS WITH NONSYNDROMIC CLEFT LIP AND PALATE
Rüveyda YÜZBAŞIOĞLU	*Tokat Gaziosmanpaşa University, Türkiye*	SOCIOECONOMIC DETERMINANTS OF MARGARINE CONSUMPTION PREFERENCE IN VEGETABLE OIL CONSUMPTION: A BINARY LOGIT MODEL APPROACH

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
15^{00} : 17^{00}

Session-3
Hall-1

HEAD OF SESSION: Charles-Owaba, Tekenate

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Peter Ayuba MELLEMUT Peter Tavershima KUMAGA	*National Open University Of Nigeria, Nigeria*	FORGIVENESS, MERCY AND JUSTICE: A CHRISTIAN PERSPECTIVE
Hadiyanto Raden Muhammad Ali Yulhenli Thabran	*Universitas Jambi, Indonesia*	ALIGNING UNIVERSITY ENGLISH WITH WORKPLACE NEEDS: EVIDENCE FROM GRADUATES ACROSS EMPLOYMENT SECTORS
Rahem Samiya	*University of Hassiba Benbouali-Chlef, Algeria*	ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ENHANCED PROBLEM-BASED LEARNING IN HIGHER EDUCATION: PEDAGOGICAL APPLICATIONS, CHALLENGES, AND FUTURE DIRECTIONS
Mark Anthony N. Polinar	*University of the Visayas, Philippines*	ARRIBA PEER TUTORING PROGRAM AS A STRATEGY IN ENHANCING MATH PROBLEM-SOLVING SKILLS OF GRADE 12 ACCOUNTANCY, BUSINESS, AND MANAGEMENT (ABM) STUDENTS
Charles-Owaba, Tekenate	*Federal University, Nigeria*	HUMAN OVERSIGHT AND ACADEMIC INTEGRITY IN AI-ASSISTED MATHEMATICS ASSESSMENT: A POLICY ANALYSIS AND GOVERNANCE FRAMEWORK FOR NIGERIAN HIGHER EDUCATION
Sagaya Aurelia	*Christ University, India*	DIGITAL STORYTELLING: AN APPROPRIATE MEDIUM FOR INCLUSIVE EDUCATION FOR KIDS WITH SPECIAL NEEDS

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
15^{00} : 17^{00}

Session-3
Hall-2

HEAD OF SESSION: Çiğdem CEYLAN

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Ali SAKALLI Ercan ŞENYİĞİT	*Erciyes University, Türkiye*	SELECTION OF THE MOST SUITABLE MAINTENANCE AND REPAIR CENTER FOR MODERN MILITARY CARGO AIRCRAFT: A TOPSIS AND SPOTIS APPLICATION TO THE C-130J CASE
Yusuf ÖZEN	*Koluman Automotive Industry Inc., Türkiye*	ANALYSIS OF THE IMPACT OF VEHICLE MODIFICATIONS UNECE R107 COMPLIANCE IN MULTI-STAGE BUS MANUFACTURING
Emre İLHAN Oğuzhan ERBAŞ	*Kütahya Dumlupınar University, Türkiye*	DYNAMIC MODELING OF PHOTOVOLTAIC-ASSISTED GROUND-SOURCE HEAT PUMP SYSTEMS VIA BUILDING ENERGY SIMULATION
Emre İLHAN Oğuzhan ERBAŞ	*Kütahya Dumlupınar University, Türkiye*	ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL IMPACTS IN RENEWABLE ENERGY-INTEGRATED LOW-CARBON BUILDING SYSTEMS
Sermin GÜNASLAN Baybars Ali FİL Zeynep GÖKTAŞ	*Kastamonu University, Türkiye* *Balıkesir University, Türkiye*	EFFECT OF INITIAL DYE CONCENTRATION AND CURRENT DENSITY ON REMOVAL EFFICIENCY AND ENERGY CONSUMPTION IN THE ELECTRO-OXIDATIVE DECOLORIZATION OF A CATIONIC DYE
Çiğdem CEYLAN	*Malatya Turgut Özal University, Türkiye*	DETERMINATION OF GEOTECHNICAL AND INDEX PROPERTIES OF BENTONITE COMPOSITES WITH WASTE COFFEE AND MARBLE DUST ADDITIVES
Hülya BİRGİ	*İzmir Kavram University, Türkiye*	THE EFFECT OF FORMATION IN THE QUANTUM FIELD ON GRAVITY THROUGH THE FOUR ELEMENTS

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
15^{00} : 17^{00}

Session-3
Hall-3

HEAD OF SESSION: Haad AKMAL

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Muhammad SAYYAM Khaliq Nazir Hassan JOYIA Faraz AHMED Zeeshan SAEED Haad AKMAL	*Bahria University, Pakistan*	INTELLIGENT BATTERY AWARE AERIAL DRONE PATH PLANNING FOR THE AUTONOMOUS TRANSPORTATION OF MEDICINE AND FOOD DELIVERIES IN ANKARA
Duaa KAWAL Muhammad Zarq AMIN Shariq MEHBOOB Muhammad USMAN Haad AKMAL	*Bahria University, Pakistan*	AI-BASED SMART ANKLE STRAP FOR ELDERLY GAIT MONITORING AND FALL DETECTION
Masroor AHMED Mahum NAFEES Muhammad Hasan Danish KHAN Muhammad USMAN Haad AKMAL	*Bahria University, Pakistan*	INTELLIGENT WEARABLE REHABILITATION MONITORING USING MULTI-POINT IMU SENSING AND MACHINE LEARNING
Muhammad Sameer AAMIR Saad QURESHI Haad AKMAL Kubilay AYTURAN Fırat HARDALAÇ	*Bahria University, Pakistan* *Gazi University, Türkiye*	EXPLAINABLE MACHINE LEARNING FOR INFLATION FORECASTING IN TÜRKIYE: ASSESSING THE PREDICTIVE ROLE OF TURKISH LIRA DEPRECIATION
Muhammad Yaman HAIDER Mehwish ISHFAQ Saad Bashir ALVI Haad AKMAL Kubilay AYTURAN Fırat HARDALAÇ	*Bahria University, Pakistan* *Gazi University, Türkiye*	AN ENSEMBLE LEARNING APPROACH IN EVALUATING THE IMPACT OF ACADEMIC PRESSURE AND LIFESTYLE ON STUDENT DEPRESSION
Abdul Ahad Kamran ANSARI Mehwish ISHFAQ Saad Bashir ALVI Haad AKMAL Kubilay AYTURAN Fırat HARDALAÇ	*Bahria University, Pakistan* *Gazi University, Türkiye*	A MULTI-MODAL AI FRAMEWORK FOR ASSESSING MENTAL HEALTH AND SOCIAL MEDIA ADDICTION AMONG UNIVERSITY STUDENTS
Zainab BATOOL Amna BATOOL Muhammad Hasan Danish KHAN Haad AKMAL Kubilay AYTURAN Fırat HARDALAÇ	*Bahria University, Pakistan* *Gazi University, Türkiye*	NON-INVASIVE FETAL ECG RECONSTRUCTION UNDER LOW SNR CONDITIONS USING DIGITAL FILTERING AND STACKING META-LEARNERS
Hafiz Farzam KHAN Syed Atif Ali SHAH Haad AKMAL Kubilay AYTURAN Fırat HARDALAÇ	*Bahria University, Pakistan* *Gazi University, Türkiye*	DATA FUSION-BASED PREDICTION OF FUEL PRICES AND CONSUMER PRICE INDEX IN TÜRKİYE
Alina TAHIR Abdullah MIRDAD Zainab MIRDAD Samina AKMAL Haad AKMAL	*Bahria University, Pakistan*	GENERATION VERSE: AUTOMATED GENERATIONAL CLASSIFICATION VIA SEMANTIC ANALYSIS OF CONTEMPORARY SLANG AND MEME CULTURE
Abdul Sammad KHAN Imran AHMAD Haad AKMAL Kubilay AYTURAN Fırat HARDALAÇ	*Bahria University, Pakistan* *Gazi University, Türkiye*	CLIMATE-ADAPTIVE SOH/RUL PREDICTION FOR EVs WITH SHAP EXPLAINABILITY FOR ANATOLIAN THERMAL CONDITIONS

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
15^{00} : 17^{00}

Session-3
Hall-4

HEAD OF SESSION: Marija Šiško Kuliš

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Muhammad FAISAL	*Joint Director (AICU) at Ministry of IT & Telecommunication, Pakistan*	RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION FOR ENTERPRISE KNOWLEDGE MANAGEMENT ENHANCING ORGANIZATIONAL INTELLIGENCE THROUGH CONTEXT-AWARE ARTIFICIAL INTELLIGENCE
Putu Septian Primadewa I Made Sukarsa Anak Agung Kompiang Oka Sudana	*Udayana University, Indonesia*	LEVERAGING METADATA AND HEURISTIC SCORING AS A SOLUTION FOR STATIC ENDPOINT ACCESS
E. Rajendran Sushmitha S Berry Sugandh Surya A Aparnaa M Gopinath V Arlisa Winifred A	*SKP Engineering College, India*	DAAS-V2V: PREDICTIVE DENSITY-AWARE ADAPTATION FOR SAFETY-PRESERVING VEHICLE-TO-VEHICLE COMMUNICATION
E. Rajendran Sushmitha S Berry Sugandh Surya A Aparnaa M Gopinath V Arlisa Winifred A	*SKP Engineering College, India*	INTELLIGENT HOME CONTROL USING ELECTROOCULOGRAPHY (EOG) SIGNALS FOR ASSISTIVE HUMAN-COMPUTER INTERACTION
Lavanya Meiyammai P Kalaiselvan S Nalin Prashant Poddar	*SR University, India*	CORROSION–INTERFACE ENGINEERING IN HYBRID ENERGY STORAGE DEVICES: MECHANISMS, DEGRADATION PATHWAYS, AND STRATEGIES FOR ENHANCED ELECTROCHEMICAL STABILITY
Sani Solomon	*Federal University of Agriculture, Nigeria*	IMAGE TYPE RECOGNITION SYSTEM USING MACHINE-LEARNING ALGORITHMS
Vedat ÇAVLU	*University of İgdir, Turkiye*	DESIGNING MINIATURIZED WI-FI / 5G ANTENNA FOR JAMMING APPLICATIONS
Marija Šiško Kuliš	*University of Split, Croatia*	FROM WATER POWER TO FORGOTTEN HERITAGE: THE ŠVICA HYDROELECTRIC POWER PLANT ON THE GACKA RIVER IN CROATIA
Akash C S Anandha Balan K Ananth S Ariharan S Aswin Y B Joel A. Vijayalakshmi	*R.M.K. Engineering College, India*	CHARGE AHEAD: THE ELECTRIC VEHICLE REVOLUTION
Ammineni Sudeepthi Anthati Bhavesshya Bathmavathy S Beri Dharani Reddy Boyilla Pranathi A. Vijayalakshmi	*R.M.K. Engineering College, India*	FROM MEASUREMENT TO MITIGATION: THE VALUE OF CARBON FOOTPRINT CALCULATION

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
15^{00} : 17^{00}

Session-3
Hall-5

HEAD OF SESSION: Aditi Singh

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Özlem TOKUŞOĞLU Burak DEMİRCİ	*Manisa Celal Bayar University, Türkiye* *Dokuz Eylül University, Türkiye*	KINETIC MODELING OF LAMBERTIANIN-C DEGRADATION AND THE IMPACT OF PROBIOTIC- PHENOLIC INTERACTIONS ON THE SHELF LIFE OF PROBIOTIC RASPBERRY JAM
Özlem TOKUŞOĞLU	*Manisa Celal Bayar University, Türkiye* *Dokuz Eylül University, Türkiye*	FUNCTIONAL CHEWING GELS FORTIFIED WITH SPIRULINA PLATENSIS BIOMASS BY CORE-SHELL HYDROGEL TECHNOLOGIES
Muhammad Usama Mahwish Salman Muhammad Asim Nawaz	*Government College University Faisalabad, Pakistan*	SYSTEMATIC INSIGHTS INTO THE ROLE OF PLANT GROWTH-PROMOTING ENDOPHYTIC BACTERIA IN DROUGHT STRESS ALLEVIATION
Arli Aditya Parikesit	*i3L University, Indonesia*	RIBOGRAPH: A CURATED, LITERATURE-ANCHORED ATLAS OF THE HUMAN NONCODING RNA INTERACTOME FOR TEACHING AND EXPLORATORY ANALYSIS
Aditi Singh	*Amity University Uttar Pradesh, India*	EVALUATION OF THE ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF PLUMERIA FLOWER AND LEAF EXTRACTS AGAINST SELECTED BACTERIAL PATHOGENS
Iram Liaqat	*Government College University, Pakistan*	HONEY AS ANTIBIOFILM AGENT AGAINST MULTISPECIES BACTERIAL BIOFILM
Ahmed IBRAHIM Samuel Akinola OGUNDARE	*Bayero University, Nigeria* *Federal University of Kashere, Nigeria*	EFFECT OF 7E LEARNING CYCLE ON INTEREST AND RETENTION IN CELL CONCEPTS AMONG SENIOR SECONDARY SCHOOL SLOW LEARNERS IN KATSINA METROPOLIS, NIGERIA
Elona Shllaku Arieta Camaj Ibrahimi	*University of Peja "Haxhi Zeka, Kosovo*	AFLATOXIN M1 CONTAMINATION IN RAW MILK: A FOOD SAFETY PERSPECTIVE
Huong Thi My Nguyen	*Nha Trang University, Vietnam*	EFFECT OF DEGREE OF HYDROLYSIS ON THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF PROTEIN HYDROLYSATE FROM BARRAMUMDI TRIMMINGS

ONLINE
02.10.2026, Friday

Ankara Time
15^{00} : 17^{00}

Session-3
Hall-6

HEAD OF SESSION: Yuri KROTENKO

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Gia-Hao TU Ngoc-Huy NGUYEN Kim-Uyen TO Gia-Anh Dat NGUYEN Thai-Phong Vuong NGUYEN Truong-Huy HUYNH	*Can Tho University, Vietnam*	EVALUATING THE SERVICE QUALITY OF THE CAI RANG FLOATING MARKET TOUR PROGRAM IN CAN THO CITY
Amit Kumar Singh Rohit Kumar Shrivastav Deepak Kumar Mishra Utkarsh Kumar Singh	*University of Delhi, India*	GLOBAL TRADE POLICY UNCERTAINTY AND STOCK MARKET RESILIENCE IN BRICS ECONOMIES: AN AUGMENTED VAR FRAMEWORK
Yuri KROTENKO	*Free International University of Moldova, Moldova*	CHANGES IN THE GLOBAL ECONOMY DURING THE SHADOW OF WAR PHASE
Irina KROTENKO	*Free International University of Moldova, Moldova*	METHODOLOGICAL ASPECTS OF COMPARATIVE MANAGEMENT
BOYI, ENERO SAMUEL	*Federal University Lokoja, Nigeria*	PARTY SYSTEM INSTITUTIONALIZATION AND ELECTORAL OUTCOMES IN NIGERIA AND GHANA, 2019-2023
Lovleen Gupta Santosh Kumar Utkarsh Kumar Singh	*University of Delhi, India*	RISK PARITY ALLOCATION IN AN EMERGING MULTI-ASSET MARKET: EVIDENCE FROM INDIA
Sinan ERTEMEL	*Istanbul Technical University, Türkiye*	CONSTRAINED EQUAL AWARDS UNDER UNCERTAIN CLAIMS: EX-ANTE AND EX-POST APPROACHES
Sinan ERTEMEL	*Istanbul Technical University, Türkiye*	RATIONING WITH STATE-CONTINGENT BASELINES

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

10^{00} : 12^{00}

Session-1
Hall-1

HEAD OF SESSION: Muhittin ELİAÇIK

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Ceyda ELGÜL ERDEM	*Boğaziçi University, Türkiye*	CULTURAL TRANSLATION IN "A VERY OLD MAN WITH ENORMOUS WINGS" AND "THE HANDSOMEST DROWNED MAN IN THE WORLD" BY GABRIEL GARCÍA MÁRQUEZ
Muhittin ELİAÇIK	*Kırıkkale University, Türkiye*	THE INTERTWINING OF TOPICS IN OTTOMAN FATWAS
Muhittin ELİAÇIK	*Kırıkkale University, Türkiye*	TA'ZÎR and HABS IN OTTOMAN FATWAS
Nülüfer ÇELİK	*Osmaniye Korkut Ata University, Türkiye*	ON THE STATUS WORDS IN THE CONCEPTUAL FIELDS OF FAITH AND THE AFTERLIFE IN TEFSÎR-İ (YAʿḲŪB -İ) ÇERHÎ
Serenay ÇAĞLAR Burcu GÖKÖZKUT	*Afyon Kocatepe University, Türkiye*	THE DEVELOPMENT AND SUSTAINABILITY OF MUSEUM TOURISM: THE CASE OF ODUNPAZARI, ESKİŞEHİR
Aynur SAVAŞ Kader REYHAN	*Eskişehir Osmangazi University, Türkiye*	TRANSLATING THE READING OF THE SPIRIT OF A PLACE IN CULTURAL HERITAGE BUILDINGS THROUGH ARCHITECTURAL FEATURES INTO A DIGITAL NARRATIVE: THE CAPANOĞLU MOSQUE EXAMPLE

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

10^{00} : 12^{00}

Session-1
Hall-2

HEAD OF SESSION: Hikmet KIZTANIR

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Berzin DELİKTAŞ Burcu ÇAKI DÖNER	*Gaziantep Islamic Science and Technology University*	PRIMARY HEALTH CARE SERVICES IN ELDER NEGLECT AND ABUSE
Pınar TAŞ Burcu ÇAKI DÖNER	*Gaziantep Islamic Science and Technology University*	APPROACHES TO PROTECTING CHILD HEALTH AND PARENTAL DECISION MAKING PROCESSES
Gonca AKTAY Zeynep ERSAY ÖNAL	*Yüksek İhtisas Üniversitesi* *Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi*	ENHANCING INNOVATION COMPETENCE IN NURSING STUDENTS: A SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOAL 9 PERSPECTIVE
Zeynep ERSAY ÖNAL Gonca AKTAY	*Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi* *Yüksek İhtisas Üniversitesi*	QUIET QUITTING IN NURSING MANAGEMENT: A REVIEW OF ORGANIZATIONAL AND INDIVIDUAL DETERMINANTS
Süleyman AKILLI Sinem KARAKAYA Murat Özcan YAY	*Aydın Adnan Menderes Üniversitesi*	CLINICAL AWARENESS, SELF-EFFICACY, AND EDUCATIONAL NEEDS REGARDING NEUROSURGICAL PATIENT CARE AMONG HOSPITAL NURSES: A CROSS-SECTIONAL STUDY
Hikmet KIZTANIR	*Recep Tayyip Erdogan Üniversitesi*	EVALUATION OF THE DIAGNOSTIC SPECIFICITY AND POSITIVE PREDICTIVE VALUE OF PRE-SPORT SCREENING STRATEGIES (AHA 14-ITEM PROTOCOL AND PEDIATRIC ECG CRITERIA) IN THE PEDIATRIC POPULATION IN CARDIOLOGY REFERRALS
Dilek ASİLTÜRK Zeynep OKTAY	*Ankara Bilkent Şehir Hastanesi*	SIMPLE CLINICAL AND LABORATORY INDICATORS FOR THE EARLY IDENTIFICATION OF COMPLICATED BRUCELLOSIS: A TWO-CENTER RETROSPECTIVE STUDY
Esra BULBUL Aydın RÜSTEMOĞLU	*Aksaray Üniversitesi*	EMERGING MOLECULAR PLAYERS IN PARKINSON'S DISEASE: circRNAs

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

10^{00} : 12^{00}

Session-1
Hall-3

HEAD OF SESSION: Kubra DEGIRMENCI

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Türkan TIRYAKI Yasemin BEYHAN	*Hasan Kalyoncu University, Türkiye*	EVALUATION OF DAILY MINERAL INTAKE IN PRESCHOOL CHILDREN
Kubra DEGIRMENCI	*Bolu Abant Izzet Baysal University, Türkiye*	COMPARATIVE DESCRIPTIVE ANALYSIS OF FINITE ELEMENT STUDIES IN THE DISCIPLINE OF DENTISTRY
Huriye İŞCI ULUIŞIK Mehmet ÜNAL	*Afyonkarahisar Health Sciences University, Türkiye*	APEXOGENESIS ACHIEVED AFTER PULPOTOMY WITH MTA IN IMMATURE TEETH: 2 CASE REPORTS
Huriye İŞCI ULUIŞIK Mehmet ÜNAL	*Afyonkarahisar Health Sciences University, Türkiye*	SPONTANEOUS MESIALIZATION OF SECOND PERMANENT MOLARS FOLLOWING EXTRACTION OF FIRST PERMANENT MOLARS: A CASE REPORT WITH TWO-YEAR FOLLOW-UP
Ali Niyazi KURTCEBE Uğur ŞAKAR	*Gölbaşı State Hospital, Türkiye* *Dışkapı Yıldırım Beyazıt Training and Research Hospital, Türkiye*	OCCUPATIONAL MUSCULOSKELETAL COMPLAINTS AMONG 112 EMERGENCY HEALTH SERVICE PERSONNEL: EVALUATION OF FUNCTIONAL IMPAIRMENT AND ACCESS TO REHABILITATION SERVICES
Nurten Gizem TORE	*Gazi University, Türkiye*	DOES STRUCTURED PROMPTING IMPROVE THE COMPLETENESS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-GENERATED HAND AND FACIAL EXERCISE ADVICE FOR SYSTEMIC SCLEROSIS? A GEMINI-BASED EVALUATION
Mahmut GÜLLE Abdullah SEMERCİ	*Hatay Mustafa Kemal University, Türkiye*	EVALUATION OF THE NUMBER OF COACHES WORKED WITH IN TERMS OF PROSOCIAL AND ANTISOCIAL BEHAVIORS
Safiye Kübra ÇETİNDAĞ KARATLI	*Ankara Yıldırım Beyazıt University, Türkiye* *Ankara Bilkent City Hospital, Türkiye*	THE 25-YEAR TRANSFORMATION OF FERTILITY IN TÜRKİYE: DECLINING BIRTHS, INCREASING MATERNAL AGE, AND POTENTIAL IMPLICATIONS FOR PRIMARY CARE SERVICES

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

10^{00} : 12^{00}

Session-1
Hall-4

HEAD OF SESSION: Fatima Zahra FALAH

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Javad Rouzegar	*Islamic Azad University, Iran*	HYDRAULIC PERFORMANCE IMPROVEMENT OF MORNING GLORY SPILLWAYS USING VORTEX BREAKERS AND SEMI-ELLIPTICAL NOTCHES: A THREE-DIMENSIONAL NUMERICAL INVESTIGATION FRAMEWOR
Javad Rouzegar	*Islamic Azad University, Iran*	HYDRAULIC PERFORMANCE IMPROVEMENT OF MORNING GLORY SPILLWAYS WITH PYRAMIDAL VORTEX BREAKERS: AN INTEGRATED FRAMEWORK FOR DISCHARGE EFFICIENCY AND HYDRAULIC SAFETY
Javad Rouzegar	*Islamic Azad University, Iran*	EXPLAINABLE MACHINE LEARNING FOR PREDICTING SCOUR DEPTH DOWNSTREAM OF SPILLWAYS USING PUBLISHED EXPERIMENTAL DATA
Masroor Malikyar Payam Tarighi Mehdi Shalchi Toosi	*Ahlul Bayt International University, Iran*	NUMERICAL EVALUATION OF SEISMIC PERFORMANCE OF REPLACEABLE CLAMPED CONNECTION WITH DAMAGE CONCENTRATION IN PSEUDO-GUTTER FUSE
Fatima Zahra FALAH Hasna HAMDANE Bilal EL. BAKKARI Touria EL. GHAILASSI	*Hassan II University of Casablanca, Morocco*	EFFECT OF INDUSTRIAL WASTE COMPOSITION ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SUSTAINABLE GEOPOLYMER MATRICES
T.Kalaiselvi Yegnanarayanan Venkataraman	*CMR University, India*	CAPTIVE DOMINATION-DEPENDENT RESOURCE ALLOCATION TO COMPUTER NETWORKS WITH GRID STRUCTURE
Khursheed Alam	*Sharda University, India*	BRIDGING INDIA'S ECONOMIC DEVELOPMENT DIVIDE: INTER-STATE DISPARITIES, HUMAN DEVELOPMENT AND INCLUSIVE GROWTH
Petro Kosobutskyy Vladyslav Herus	*Lviv Polytechnic National University, Ukraine*	BINARY DIVISION IN THE AFFINE CONJECTURE PROBLEM OF NATURAL NUMBERS
Alabi Remilekun Enitan Ilugbusi, Ayokunle Oluwatosin	*School of Pure and Applied Sciences, Nigeria*	APPLICATION OF HOLT'S LINEAR EXPONENTIAL SMOOTHING AND ARIMA MODEL IN FORECASTING JAMB REGISTRATION AT FEDERAL POLYTECHNIC ADO-EKITI

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

10^{00} : 12^{00}

Session-1
Hall-5

HEAD OF SESSION: Jaafaru Hashimu Bawa

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Mahmood, M.M. Muhammad M. Tayo, I.Y. Ishaku, I.	*Federal University, Nigeria*	THERMAL-MOISTURE STRESS AND AGRO-CLIMATIC VULNERABILITY OF CEREAL CROP PRODUCTION AREAS IN THE GUINEA SAVANNAH ECOLOGICAL ZONE OF NIGERIA: A MULTI-TEMPORAL REMOTE-SENSING ASSESSMENT (1993–2023)
Laiba Hameed Syed Mohsan Raza Shah Sania Abid Fateh Asia Kainat Tauseef Nawaz Aqsa Mahnoor Muhammad Farooq	*University of Education, Pakistan*	NEEM LEAF EXTRACT-MEDIATED MITIGATION OF DROUGHT STRESS IN ZEA MAYS L.: STRUCTURAL AND FUNCTIONAL RESPONSES
Oluwafemi Abel Agbetuyi Olugbenga David Oloruntola	*Federal University, Nigeria*	SUSTAINABLE POULTRY NUTRITION THROUGH CIRCULAR BIO-ECONOMY TECHNIQUES
Rabia Ghaffar Hira Mehboob	*University of Education, Pakistan*	APPLICATION OF ORGANIC PLANT EXTRACTS FOR LETTUCE GROWTH AND YIELD IN ALKALINE SOIL
Jaafaru Hashimu Bawa	*Federal University, Nigeria*	FROM VIGILANTISM TO INSURGENT GOVERNANCE: THE TRANSFORMATION OF LAKURAWA IN NORTHWESTERN NIGERIA
Olakunle Deborah Erenola	*Federal University, Nigeria*	TITLE OF THE SOIL & ECOSYSTEMS ENTOMOLOGY: INSECTS AS EGINEERS OF SOIL HEALTH AND BIOGECHEMICAL CYCLES
Shimelis Tedila Ahmed Hassen Mekete Bekele	*Debre Berhan University, Ethiopia*	EFFECT OF VARIETY AND ORGANIC FERTILIZER ON AGRONOMIC PERFORMANCE AND CHEMICAL COMPOSITION OF ELEPHANT GRASSES (PENNISETUM PURPUREUM)
Nikolay Tsandev Pamela Sarova Angel Vodenicharov	*Trakia University, Bulgaria* *Medical University, Bulgaria*	DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A TECHNIQUE FOR POLYESTER EMBEDDING OF TOPOGRAPHICAL SECTIONS OF EQUINE LIMBS

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

10^{00} : 12^{00}

Session-1
Hall-6

HEAD OF SESSION: Bouchakour R.

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Vítor João Pereira Domingues Martinho	*University of Viseu, Portugal*	SALINE AGRICULTURE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS: A REGIONAL PERSPECTIVE
Vítor João Pereira Domingues Martinho	*University of Viseu, Portugal*	STAKEHOLDER MAPPING AND ANALYSIS: PERCEPTIONS AND ATTITUDES TOWARDS WASTEWATER REUSE
Bouchakour R.	*University of Blida 1, Algeria*	BARRIERS AND DRIVERS OF AGRICULTURAL INNOVATION IN ALGERIA
Komolafe, A. F. AyanfeOluwa, O. E. Kayode, C. O. Samuel, E. A.	*Federal College of Agriculture, Nigeria*	RESPONSE OF CAULIFLOWER (Brassica oleracea var. botrytis) TO DIFFERENT VOLUMES OF SOIL AND RATES OF COMPOST
Njoku Joachim IkpeohaKakie	*Michael Okpara University of Agriculture, Nigeria*	EFFECT OF ADOPTION OF IMPROVED PIG PRODUCTION TECHNOLOGIES ON HOUSEHOLDS' FOOD SECURITY OF FARMERS IN ABIA STATE NIGERIA
Njoku Joachim Ikpeoha Kakie Ukpai Kalu	*Michael Okpara University of Agriculture, Nigeria*	CLIMATE-SMART TECHNOLOGIES USE AMONG SMALLHOLDER GOAT FARMERS IN IMO STATE, NIGERIA
Adio, M. O. Oloniyo, R. B. Abdulaleem, M. A. Olayanju, E. K. Olayanju, J. T. Jatto, N. A. Ogunkunle, A. A. Ayeni, M. D. Omoboyejo, O. O. Ajibola, S. O.	*Federal University, Nigeria*	EFFECTS OF FARMING INNOVATIONS ON THE INCOME OF SMALLHOLDER FARMERS IN EKITI STATE
Atsehe Iorlumun Innocent	*Joseph Sarwuan Tarka University, Nigeria*	INFLUENCE OF DIFFERENT PLANT SPACING ON INSECT PESTS INFESTATION AND YIELD OF AMARANTHUS HABRIDUS IN MAKURDI, NIGERIA

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

$12^{30} : 14^{30}$

Session-2
Hall-1

HEAD OF SESSION: İlhan DANACI

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Sezgin Güven SARI Celal ÖZTÜRK	*Erciyes University, Türkiye*	A MULTI-GAME PLAYABILITY GRAPH REPRESENTATION AND EDGE-VERIFIABLE LEVEL GENERATION
Muharrem BALCI Ahmet ALKAN	*Gaziantep University, Türkiye* *Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Türkiye*	MODULE-IOT: DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MODULAR AND WIRELESS STEM EDUCATION KIT TO INCREASE ACCESS TO EDUCATION IN DISADVANTAGED AREAS
Muharrem BALCI Ahmet ALKAN	*Gaziantep University, Türkiye* *Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Türkiye*	CLASSIFICATION OF RETINAL DISEASES BY COMPARING EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED MODERN DEEP LEARNING ARCHITECTURES
Barış Görkem ASLAN Murat AKSOY	*Bursa Technical University, Türkiye*	CONTACT VOLTAGE DETECTION IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH FAULT EXAMPLES AND SENSING SIMULATION
Güven NERGİZ K. Turgut GÜRSEL	*Dokuz Eylül University, Türkiye*	WIND FARM LAYOUT OPTIMIZATION APPROACH BASED ON WAKE FIELDS AND MACHINE LEARNING

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

12^{30} : 14^{30}

Session-2
Hall-2

HEAD OF SESSION: Süleyman AKKAYA

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Hasan BATAR	*Malatya Turgut Özal University, Türkiye*	THE POLITICAL ECONOMY OF LIKES: YOUTH SOCIAL MEDIA USE AND THE COMMODIFICATION OF FREE CONTENT PRODUCTION
Yunus ŞAHBAZ	*Ankara Social Sciences University, Türkiye*	COALITION POLITICS WITHOUT COALITION GOVERNMENT: THE EMERGENCE OF COALITIONAL PRESIDENTIALISM IN TURKEY
Seçil KAYA Sezai ÇAĞLAYAN	*Ondokuz Mayıs University, Türkiye*	INTERNATIONAL LAW EDUCATION IN TÜRKİYE: ONE DISCIPLINE, TWO APPROACHES
Mesut ERTANHAN	*Antalya Bilim University, Türkiye*	LITIGATION FOR THE ANNULMENT OF AN OBJECTION IN ENFORCEMENT LAW AND ITS LEGAL NATURE
Süleyman AKKAYA	*Dicle University, Türkiye*	THE CIVIL AND CRIMINAL LIABILITY OF EXPERT WITNESSES: AN EXAMINATION UNDER LAW NO. 6754, THE CODE OF CIVIL PROCEDURE AND THE TURKISH PENAL CODE
Şevval FURUNCU Kemal Cem BAYKAL	*Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye*	PRINCIPLES REGULATING COMMERCIAL COMMUNICATION WITHIN THE FRAMEWORK OF LAW NO. 6112 AND VIOLATIONS OF THESE PRINCIPLES
İnanç ALİKILIÇ	*Muş Alparslan University, Türkiye*	CULTURAL DISTANCE AND INTERNATIONAL NEWS FLOW: A RESEARCH DESIGN AND PRELIMINARY FINDINGS ON THE CASE OF Türkiye USING GDELT EVENT DATA
İrem Ayşe ÖZPAMUK Esra KESKİN ÇAKMAK	*Alanya Alaaddin Keykubat University, Türkiye*	THE ROLE OF TAX POLICIES IN ACHIEVING ECONOMIC STABILITY: AN ASSESSMENT WITHIN THE FRAMEWORK OF ECONOMIC SCHOOLS OF THOUGHT
Ece Büşra İŞLER	*Başkent University, Türkiye*	EXAMINING ACADEMIC PROMOTION PROCESSES IN THE CONTEXT OF GENDER IN THE FIELD OF MANAGEMENT AND ORGANIZATION IN TÜRKİYE

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

$12^{30} : 14^{30}$

Session-2
Hall-3

HEAD OF SESSION: Neslihan BALCI

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Yağmur KIVRAK Serkan YILMAZSÖNMEZ Seda AYGÜL	*Marshall Paint and Varnish Industry Inc., Türkiye*	EFFECT OF SOLVENT CARBON CHAIN LENGTH ON DRYING AND FILM PERFORMANCE IN ALKYD SYSTEMS
Sümeyra İBİŞ Onur KÖFTECİ Durmuş DARAKLI	*Nurdil Technical Refrigeration Inc., Türkiye*	COMPARATIVE ANALYSIS OF ANTI-CONDENSATION COATING TYPES AND THEIR APPLICATIONS IN INDUSTRIAL REFRIGERATION SYSTEMS
Melis Buse BULUT Onur Can BODUR Halit ARSLAN Fatma ARSLAN	*Gazi University, Türkiye*	DESIGN OF A PALLADIUM NANOPARTICLE-BASED AMPEROMETRIC BIOSENSOR FOR L-PHENYLALANINE DETERMINATION TOWARDS THE DIAGNOSIS OF PHENYLKETONURIA
İsmail İPEK Sercan YAZ Öner GÜNDÜZ Rıza ATAV	*Erak Clothing, Türkiye* *Tekirdağ Namık Kemal University, Türkiye*	INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ALTERNATIVE CHEMICAL SYSTEMS ON COLOUR STRIPPING PERFORMANCE AND FABRIC DAMAGE IN SULPHUR-DYED DENIM FABRICS
Çağla SÜLÜN Uğur KARAASLAN	*Marine and Grease Oils, Türkiye* *Belgin Lubricants Industry and Trade Inc., Türkiye*	EFFECT OF HEXAGONAL BORON NITRIDE ON TRIBOLOGICAL PERFORMANCE IN LITHIUM COMPLEX GREASES
Melisa ŞAHINDOKUYUCU ALIÇ Ersin GÜLER	*Selçuk University, Türkiye*	OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY PRACTICES IN THE PHARMACEUTICAL AND CHEMICAL INDUSTRY: RISK MANAGEMENT IN CHEMISTRY LABORATORIES AND FACILITY-WIDE

ONLINE
03.10.2026, Saturday

Ankara Time
12^{30} : 14^{30}

Session-2
Hall-4

HEAD OF SESSION: Elena Mărgineanu

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Muhammad Safyan	*COMSATS University, Pakistan*	HOW PAKISTAN FRAMES CLIMATE CHANGE: A DIACHRONIC CORPUS-ASSISTED ECOLINGUISTIC STUDY OF OFFICIAL GOVERNMENT ECONOMIC DISCOURSE (2011–2026)
Elena Mărgineanu	*Academy of Economic Studies of Moldova, Moldova*	MICRO- AND MACROECONOMIC IMPLICATIONS OF ADOPTING AN EMISSIONS TRADING SYSTEM (ETS) IN DEVELOPING COUNTRIES
Nguyen Thi Phuong Anh Le Phuong Vy Vo Thi Ngoc Khue Nguyen Thi Kieu Ly Vo Kha Anh Nhi	*Can Tho University, Vietnam*	ASSESSING THE IMPACT OF BRAND AWARENESS ON BRAND ASSOCIATIONS OF OCOP PRODUCTS AT CANTHO ECO RESORT
Thanh-Phuc TRAN Nam-Khang Tri NGUYEN	*Can Tho University, Vietnam*	CUSTOMER TOUCHPOINTS AND CUSTOMER EXPERIENCE: A STATE-OF-THE-ART STUDY OF DOMESTIC TOURISTS IN THE HOTEL SECTOR OF CAN THO CITY
Yen-Nha Thi NGUYEN Dai-Trang Thi PHAM My-Thao TRAN Tram-Ngoc Thi PHAM Y-Huynh LE Nam-Khang Tri NGUYEN	*Can Tho University, Vietnam*	ANALYSIS OF TOURISTS' EXPERIENCES OF ECOTOURISM AT TRA SU MELALEUCA FOREST, AN GIANG PROVINCE
Dang VINH Phan Thi YEN	*University of Danang, Vietnam*	ASSESSING LOCAL READINESS TO ATTRACT FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN THE DIGITAL ECONOMY: THE CASE OF DA NANG, VIETNAM
Tran Thanh Nguyen Nguyen Thi Nhu Huynh Nguyen Nhat Nhu Quynh Thai Nguyen Tue Ngan Chiem Hue Man Ho Le Thu Trang	*Can Tho University, Vietnam*	THE IMPACT OF TOURISM HUMAN RESOURCE TRAINING SERVICE QUALITY ON TOURISM STUDENTS' INTENTION TO WORK IN THE TOURISM INDUSTRY AT THE SCHOOL OF ECONOMICS, CAN THO UNIVERSITY
Xuan-Mai Thi DAO My-Nhu Thi PHAN My-Huong Thi NGUYEN Mong-Chuc TRAN Phuong-Thao Le VO Truong-Huy HUYNH	*Can Tho University, Vietnam*	ASSESSMENT OF THE CURRENT AVERAGE EXPENDITURE STRUCTURE OF TOURISTS VISITING CAN THO, VIETNAM

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

$12^{30} : 14^{30}$

Session-2
Hall-5

HEAD OF SESSION: Kavirayani Srikanth

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Akbar Ali	*Government College University Faisalabad, Pakistan*	A GREENER 1,3-DIPOLAR CYCLOADDITION APPROACH FOR THE PEPTOID MODIFICATION CHEMISTRY
Dwadasi Venkata Sushma Chandra Kavirayani Srikanth	*GVP College, India*	SCIENTIFIC IDENTIFICATION OF BLACK PEPPER FOR MEDICINE
Hyo Jeong Lee Youngjoo Na	*Inha University, Korea*	A STUDY ON DYES AND MORDANTS OF KHAN-GEUM (韓錦), ANCIENT SILK TEXTILES EXCAVATED FROM THE TAKLAMAKAN DESERT
Rashna Mirza Asim Ur Rehman Aqeedat Javed Salman Khan Naveed Ahmed Naz Dilawar Weisheng Guo Kifayat Ullah Shah	*Quaid-i-Azam University, China*	BIOGENIC HYBRID NANOPARTICLES OF GEMCITABINE AND IRON OXIDE FOR THE TREATMENT OF COLORECTAL CANCER AND ASSOCIATED ANEMIA
A.O. Ebune N.M. Bello I.G. Osigbemhe A.U. Atumeyi K.B. Ahamad M. Raji W.O. Anthony S.A. Audu	*Federal University Lokoja, Nigeria University of Benin, Nigeria*	ANTITUBERCULAR ACTIVITY OF BIOPOLYMER CONJUGATES OF ACID HYDRAZIDES AND N-PROTECTED PARA AMINOBENZOIC ACID: MECHANISTIC INSIGHTS FROM MOLECULAR DOCKING AND IN VITRO SUSCEPTIBILITY TESTING
Shubham Sharma Fowad Khurshid	*Mangalayatan University, India*	EVALUATION OF ANTIFUNGAL ACTIVITY OF MELALEUCA ALTERNIFOLIA AND CURCUMA LONGA OILS AGAINST CANDIDA ALBICANS
Jyoti Dattatray Anap Vaishnavi Dnyandeo Charmal	*M pharm, India*	STRUCTURE–ACTIVITY RELATIONSHIP (SAR) OF QUINOLINE DERIVATIVES AS POTENTIAL ANTICANCER AGENTS
HarunaAbubakar Danyaya Ismail Abdullahi Abdulrashid Yusuf	*Sa'adu Zungur University, Nigeria*	PHYTOCHEMICALS SCREENING AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF AQUEOUS LEAVES EXTRACT OF Hura crepitans (SANDBOX)

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

15^{00} : 17^{00}

Session-3
Hall-1

HEAD OF SESSION: Ruslan Valieiev

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
AMUSA, Taofeeq Ade NWANKWO, Ezekiel Ndubuisi	*Michael Okpara University of Agriculture, Nigeria*	GENDER DIFFERENTIALS OF THE EFFECTS OF STONE QUARRYING ACTIVITIES ON LIVELIHOOD AND COPING CAPACITY OF FARMERS IN EBONYI STATE, NIGERIA
Kusum Rani Anju Thapa Ankita Sharma	*Central University of Jammu, India*	GREEN TRANSPORTATION SOLUTIONS AND URBAN LIVEABILITY: A LITERATURE REVIEW
Zahraa Ali Hashim Abdul Hamid bin Eid Al-Moussawi	*Imam Al-Kadhim College, Iraq*	RUSSIA'S ENERGY STRATEGY AND RUSSIA–CHINA RELATIONS: STRATEGIC DIMENSIONS, GEOPOLITICAL IMPLICATIONS, AND FUTURE PROSPECTS
Hassan Attahiru Gwandu	*Federal University Birnin Kebbi, Nigeria*	FROM GEOPOLITICAL COMPETITION TO STRATEGIC UNCERTAINTY: REGIONAL CONFLICT AND THE CHANGING SECURITY CHOICES OF SECONDARY POWERS IN THE MIDDLE EAST
Ruslan Valieiev	*Dnipro State University of Internal Affairs, Ukraine*	ENHANCING DISTANCE LEARNING FOR POLICE OFFICERS THROUGH THE FLIPPED CLASSROOM MODEL AND INTERACTIVE LEARNING RESOURCES
Federal University Lokoja	*Anda Usman Obansa, Nigeria*	CHILD TRAFFICKING IN NORTH-CENTRAL NIGERIA: EXAMINING ITS SOCIOECONOMIC AND SOCIOCULTURAL DRIVERS, TRAFFICKING DYNAMICS, AND ANTI-TRAFFICKING INTERVENTIONS, 2015–2026
Anuja Misra Akriti Gupta Anwesha Ghosh	*Galgotias University, India*	ENVIRONMENTALLY SOUND TECHNOLOGIES AND THE TRIPS BIND: RETHINKING IPR FLEXIBILITIES FOR CLIMATE TECHNOLOGY TRANSFER IN THE GLOBAL SOUTH
Arjan Tushaj Esmeraldo Xhakolli Valentina Sinaj	*University of Tirana, Albania*	THE PROPENSITY OF GOVERNMENT SPENDING COMPOSITION DURING ELECTORAL CYCLES IN ALBANIA

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

$15^{00} : 17^{00}$

Session-3
Hall-2

HEAD OF SESSION: Irina BALINA

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Amit Kumar Singh Mr. Mukesh Kumar Utkarsh Kumar Singh	*University of Delhi, India*	ENTRY FILTERS OR PRICE DISCOVERY? EVIDENCE FROM INDIA'S SME IPO REFORM
Irina BALINA	*Academy of Economic Studies of Moldova, Moldova*	ADAPTING ECONOMIC THEORY TO THE NEW REALITIES OF THE DIGITAL ECONOMY
Lovleen Gupta Sweta Kumari	*University of Delhi, India*	A BIBLIOMETRIC MAPPING OF STOCK MARKET RESEARCH ON INDIA AND SOUTH AFRICA
Aditya Vikram Utkarsh Kumar Singh	*University of Delhi, India*	TRENDS AND FUTURE DIRECTIONS IN KNOWLEDGE MANAGEMENT: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS
Wahiba Henniche Chahd Algahtane	*KKU, Saudi Arabia*	THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON AUDIT QUALITY: AN APPLIED STUDY ON THE GENERAL COURT OF AUDIT IN KSA
Sandeep Kumar Goel Shahad Alqhtani	*University of Delhi, India*	A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF FINANCIAL LITERACY AMONG YOUNG ADULTS AND MILLENNIALS
Anil Kumar	*Shri Ram College of Commerce, India*	EARNINGS MANAGEMENT, FIRM FINANCIAL PERFORMANCE AND CORPORATE GOVERNANCE: A REVIEW OF EVIDENCE FROM INDIAN LISTED COMPANIES
Abdul Latif Hungoro	*University of Siena, Italy*	ASSESSING THE QUALITY OF MATERIALITY ASSESSMENT DISCLOSURES IN SUSTAINABILITY REPORTS OF SEAPORT TERMINAL OPERATORS

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

15^{00} : 17^{00}

Session-3
Hall-3

HEAD OF SESSION: Laila AFIA

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Ahlem CHEBEL	*Skikda University, Algeria*	ENHANCING URBAN PHOTOVOLTAIC ENERGY RESILIENCE THROUGH AN AUTONOMOUS DUAL-AXIS SOLAR TRACKING SYSTEM: DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION UNDER CLIMATE CHANGE-INDUCED POWER OUTAGES
Sonakhanim SALİMOVA Bunyad KAZYMOV	*Institute of Geology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Azerbaijan*	EFFECT OF WELLBORE VOLUME ON THE DEVELOPMENT PERFORMANCE OF A DEEP-LYING GAS-CONDENSATE RESERVOIR
Muzamal Hussain	*University of Rasul, Pakistan*	COMPATIBILIZATION WITH RAPID EVALUATION OF DENSITY VARIATION FOR VIBRATING HONEYCOMB SANDWICH STRUCTURES: HIGH STRENGTH AND EXCELLENT PERFORMANCE OF CNTS
Nafis AHMAD	*King Khalid University, Saudi Arabia*	SELF-FOCUSING OF INTENSE LASER BEAMS IN PLASMAS
Mohd Shkir	*King Khalid University, Saudi Arabia*	MICROWAVE-ASSISTED SYNTHESIS OF PURE AND NI-DOPED PBI2 NANOSTRUCTURES AND THEIR CHARACTERIZATION
Shumaila Naz	*University of Karachi, Pakistan*	SANDY SHORE
M. Oudahman M. Houmad R. Masrour A. Rezzouk	*Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco*	EFFECT OF BIAXIAL STRAIN ON THE ELECTRONIC AND OPTICAL PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL MATERIAL T-GEC: A DFT STUDY
Mohamed EL MORSY Laila AFIA	*Ibnou Zohr University, Morocco*	PFAS IN WASTEWATER TREATMENT: OCCURRENCE, FATE AND REMOVAL
Mr. Chetan Sunil Kumar Vijay kumar Manik Basu	*Goenka University, India* *Indira Gandhi University, India* *Chaudhary Devi Lal University, India*	BINDER-FREE HYDROTHERMALLY SYNTHESIZED $ZnMn_2O_4$ ON NICKEL FOAM FOR SUPERCAPACITOR APPLICATION

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

15^{00} : 17^{00}

Session-3
Hall-4

HEAD OF SESSION: Valentina MARINESCU

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Sorina Corman	*Lucian Blaga University of Sibiu, Romania*	BETWEEN ABANDONMENT AND CARE: GERIATRIC REHABILITATION EXPERIENCES OF INSTITUTIONALIZED OLDER ADULTS IN ROMANIA
Ananda Majumdar	*Harvard University, USA*	EVOLVING KINSHIP AND COMMUNITY DYNAMICS IN INDO-ASIAN SOCIETIES: AN ANALYTICAL STUDY OF FAMILY RELATIONSHIPS AND CARE PRACTICES
Ananda Majumdar	*Harvard University, USA*	CROSSING BORDERS, SHIFTING NORMS: RURAL-URBAN MIGRATION AND THE TRANSFORMATION OF GENDER ORDER IN THE CONTEXT OF GLOBAL URBANIZATION, 1940–1970
Valentina MARINESCU Ramona MARINACHE	*University of Bucharest, Romania*	ON FREEDOM OF MOVEMENT
Ramona MARINACHE Valentina MARINESCU	*University of Bucharest, Romania*	SOCIAL ACCELERATION & THE END OF AUTOMOBILITY
Major Gheorghe GIURGIU Manole COJOCARU	*Titu Maiorescu University, Romania*	THE ASSOCIATION BETWEEN THE CUTANEOUS MICROBIOME AND HIDRADENITIS SUPPURATIVA
Sheetal Vinay Jadhav	*Yashoda College of Pharmacy, India*	FIBROADENOMA OF THE BREAST: MOLECULAR MECHANISMS, BIOMARKERS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AND EMERGING PRECISION MEDICINE
Ilochi N. Ogadinma	*Federal University, Nigeria*	NEUROPROTECTIVE TENDENCY OF ALLIUM CEPA IN HEAVY METAL-INDUCED TOXICITY IN WISTAR RATS
Oyepata Simeon Joseph	*Federal University, Nigeria*	UNDERSTANDING THE AFRICA 'VIRO-ALLERGY' PHENOMENON IN IMMUNOLOGY: ANALYSING INCIDENCE AND MORTALITY CASES OF COVID -19 PANDEMIC ACROSS THE GLOBE

ONLINE

03.10.2026, Saturday

Ankara Time

$15^{00} : 17^{00}$

Session-3
Hall-5

HEAD OF SESSION: Agata Pierscieniak

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Akhtar Ali	*Warsaw University of Technology, Poland*	NAVIGATING THE TRI-FRAMEWORK LANDSCAPE: A LONGITUDINAL ANALYSIS OF GRI, TCFD, AND ESRS IN THE TOP FIVE EUROPEAN FIRMS
Agata Pierscieniak	*Warsaw University of Technology, Poland*	MODERN ORGANIZATIONAL WISDOM: A MODEL OF KNOWLEDGE TRANSFORMATION INTO SUCCESSFUL ACTION
Nguyen Thi Hong Phuoc	*Sai Gon University, Vietnam*	DEVELOPING THE INTERNATIONAL FINANCIAL CENTER IN HO CHI MINH CITY UNDER THE ORIENTATIONS OF THE 2026 URBAN DEVELOPMENT LAW
Ikwuoma Sunday Udochukwu Saheed Ayinla OGUNDARE	*Federal University Oye Ekiti, Nigeria*	CLIMATE CHANGE, BANDITRY AND FOOD SECURITY IN NIGERIA: ASSESSING THE INTERCONNECTED DRIVERS OF AGRICULTURAL VULNERABILITY AND RURAL INSECURITY
K.R.Padma K.R.Don	*Bharath University, India*	THE EFFECT OF DIGITAL ECONOMY ON HIGH-QUALITY DEVELOPMENT OF ECONOMIC GROWTH AND INDUSTRIAL RESTRUCTURING: POST-COVID-19 STRATEGIES
Philemon Paul Wambani Hamidu Umar Amos Samuel Sule Hussaini Abubakar	*Nigeria*	ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) AND SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT IN NIGERIA
Bhavana Bhardwaj Anurag Shakya	*Mangalayatan University, India*	ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE TRANSFORMATION OF HUMAN RESOURCE MANAGEMENT WITH REFERENCE TO THE IT COMPANIES IN UTTAR PRADESH
Bailey Saleh Albert Bailey Saleh	*University of Maiduguri, Nigeria*	EMPIRICAL ANALYSIS OF MARKETED NATURAL GAS PRODUCTION OF AFRICAN COUNTRIES, 2020-2025

PHOTO GALLERY






İKSAD ENSTİTÜSÜ
ANKARA KONGRESİ
14. ULUSLARARASI ANKARA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ
2-4 Ekim 2026 / Ankara

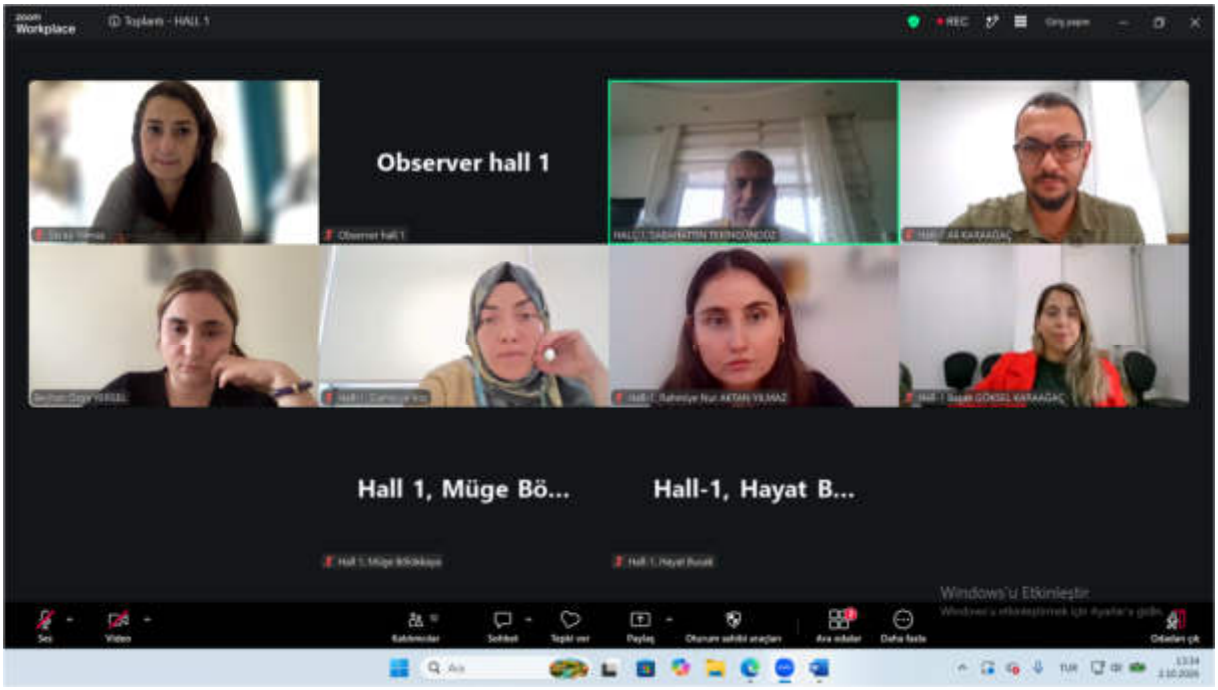

İKSAD ENSTİTÜSÜ
ANKARA KONGRESİ
14. ULUSLARARASI ANKARA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ
2-4 Ekim 2026 / Ankara


İKSAD ENSTİTÜSÜ
ANKARA KONGRESİ
14. ULUSLARARASI ANKARA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ


İKSAD ENSTİTÜSÜ
ANKARA KONGRESİ
14. ULUSLARARASI ANKARA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ
2-4 Ekim 2026 / Ankara
WWW.ANKARAKONGRESI.ORG


İRSAD ENSTİTÜSÜ
ANKARA KONGRESİ
14. ULUSLARARASI ANKARA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR


Observer hall 1
Doç. Dr. Remziy...

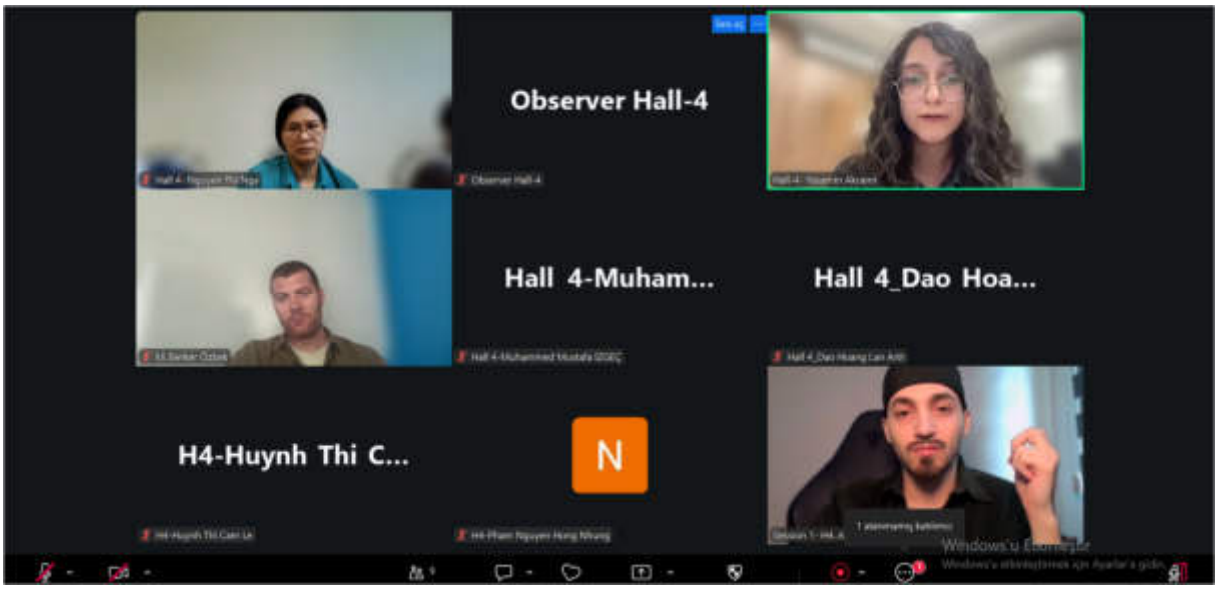

Observer hall 1
Hall 1, Müge Bö...
Hall-1, Hayat B...

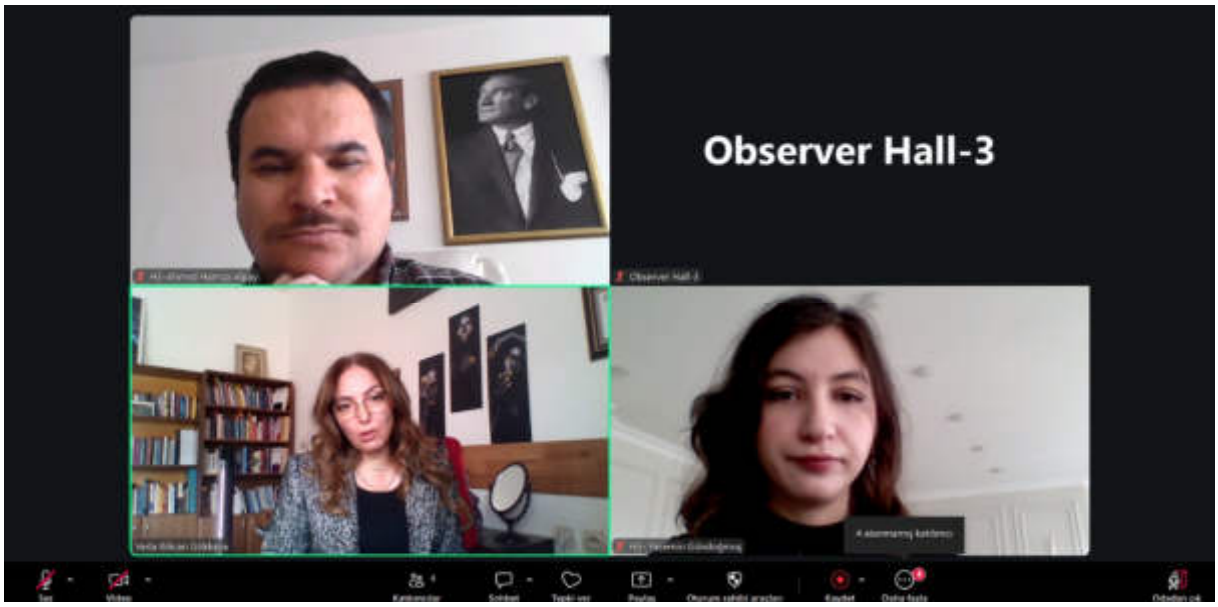

Observer hall 2

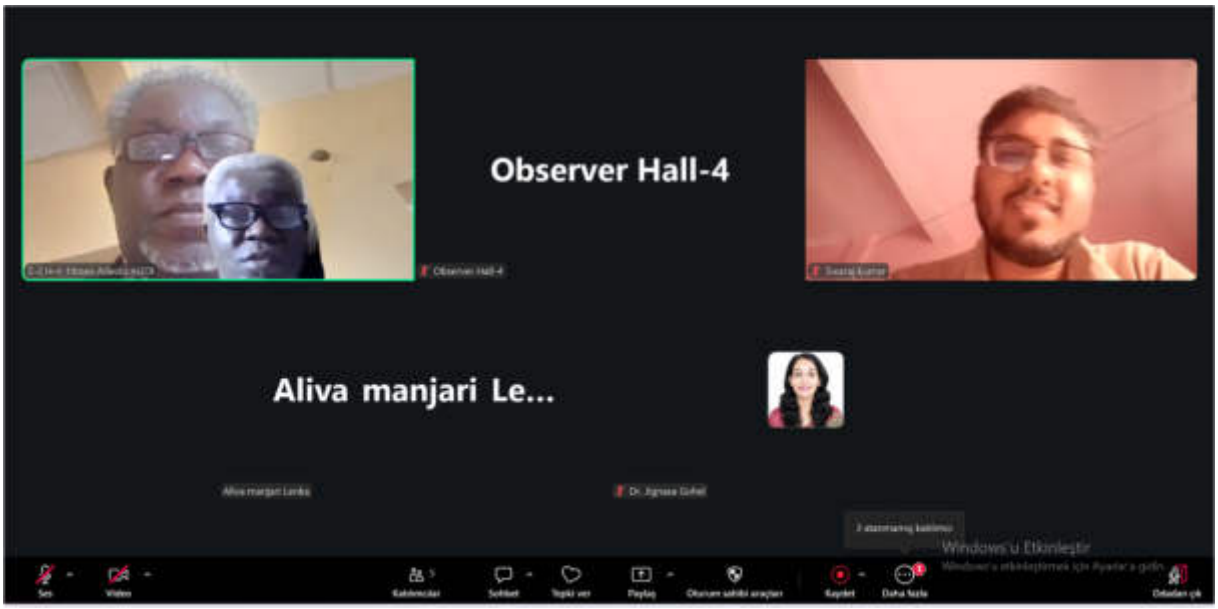

Observer hall 2
Dr. AYŞE YILDIR...
İlknur Dinder
Özlem TAYANÇ

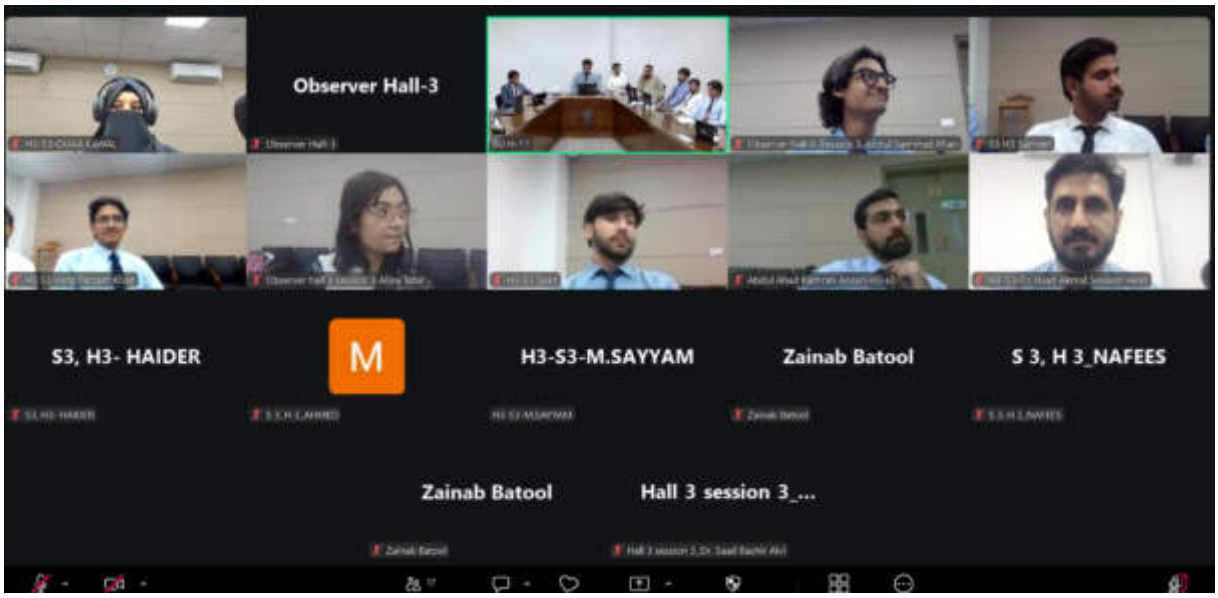

Observer hall 2
Hall - 2, Yusuf Ö...
A

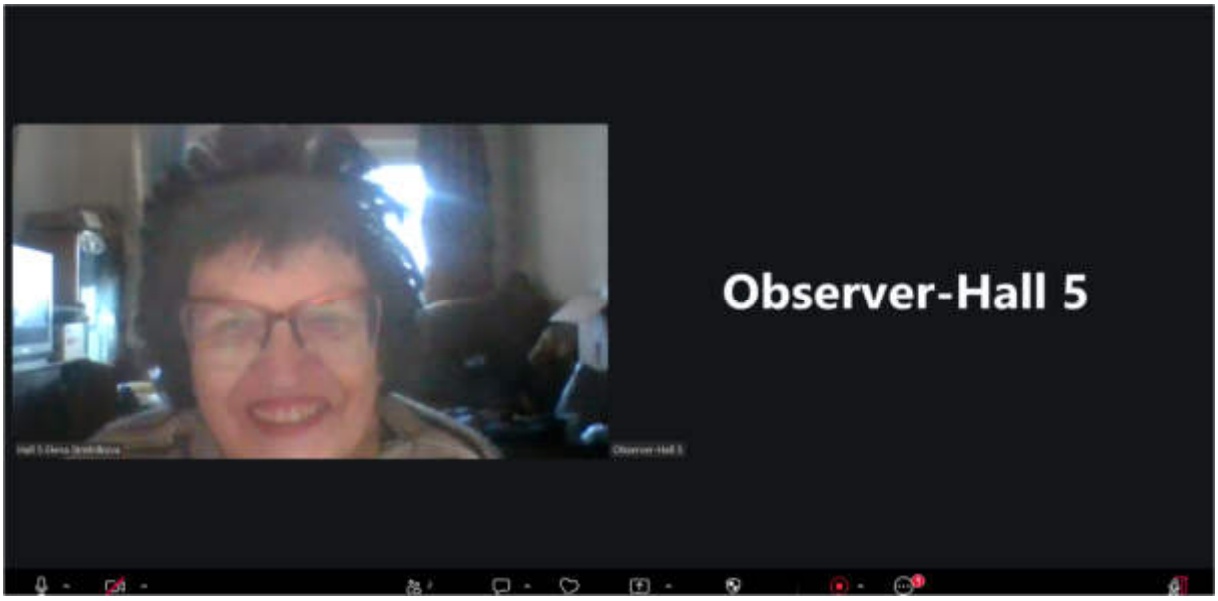

Observer Hall-3

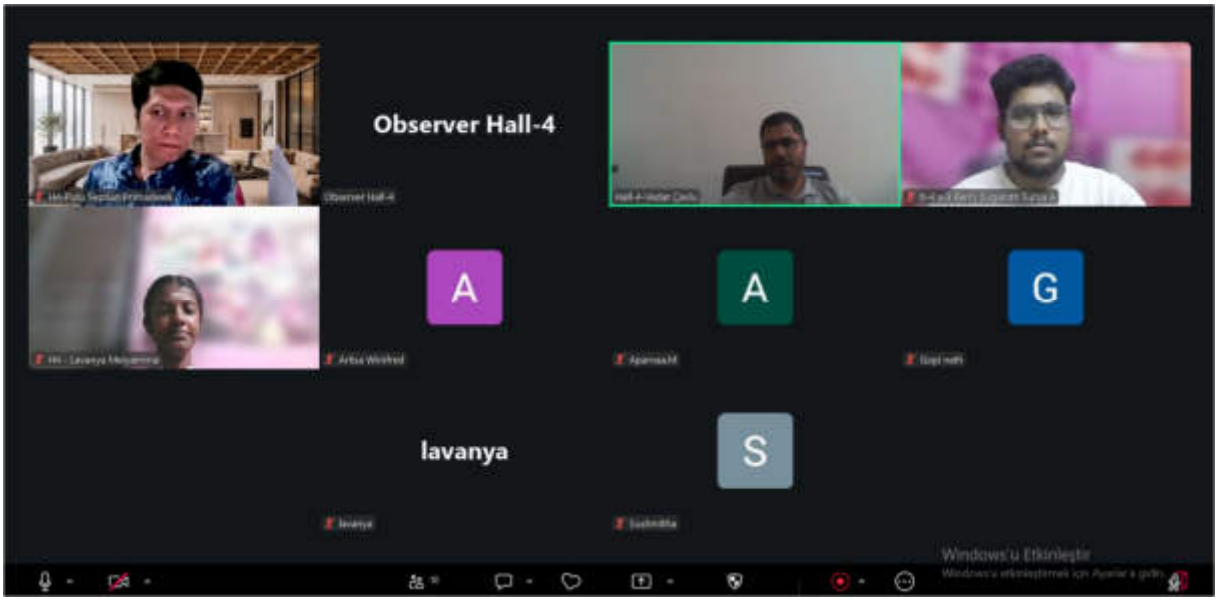

Observer Hall-4
Hall 4-Muham...
Hall 4_Dao Hoa...
H4-Huynh Thi C...
N

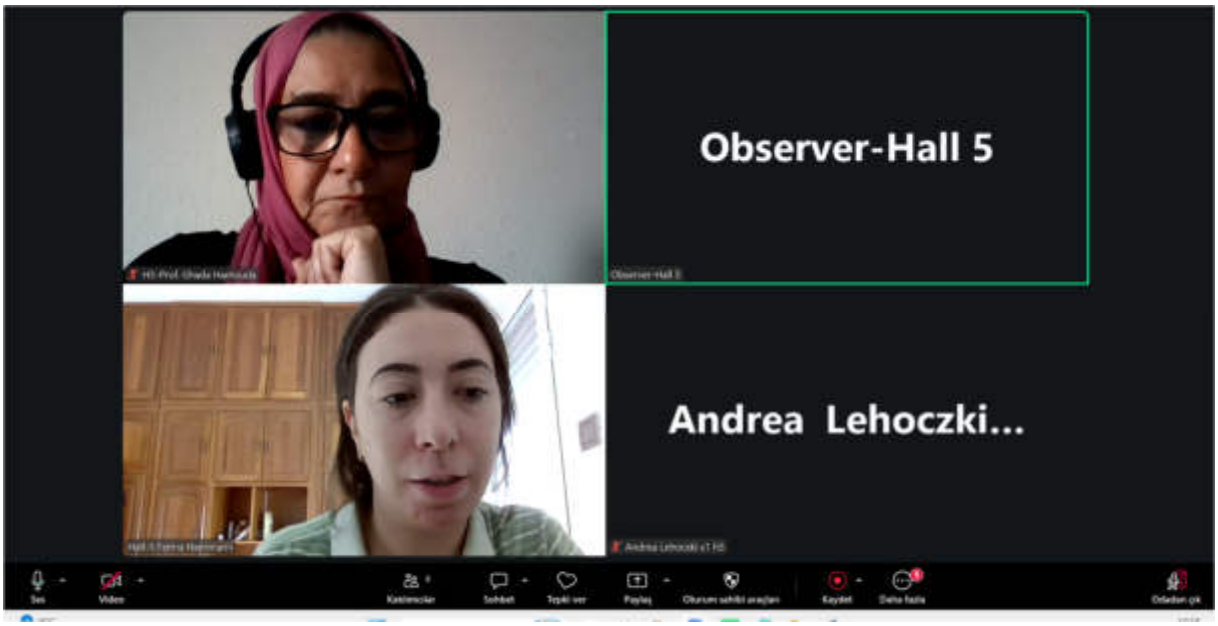

Observer Hall-3

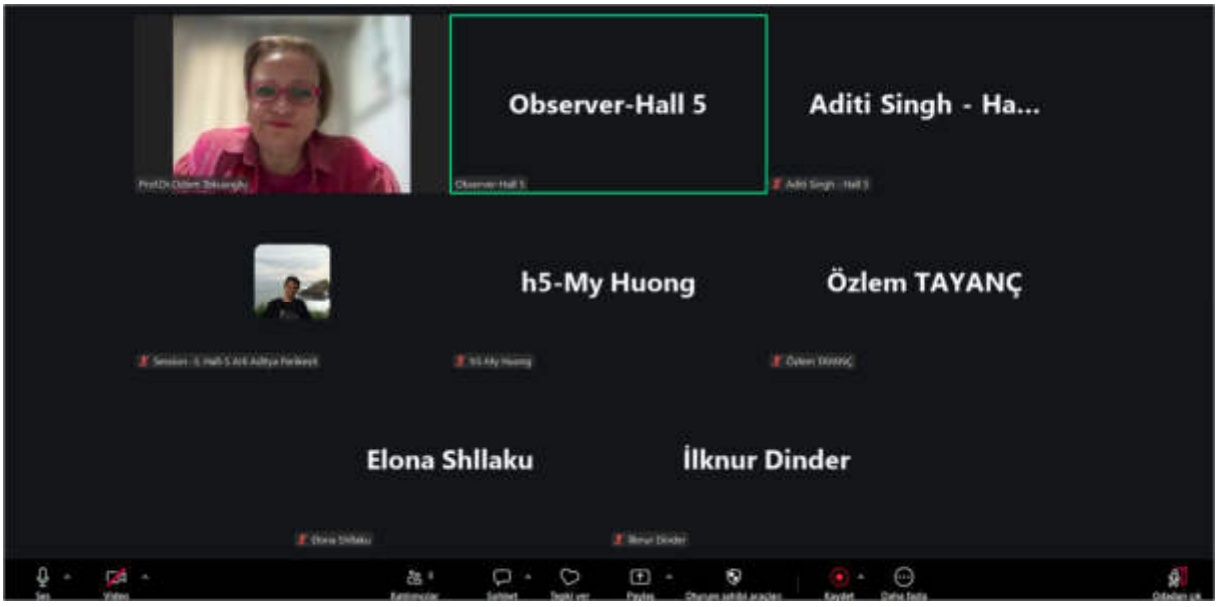

Observer Hall-4
Aliva manjari Le...


Observer Hall-3
S3, H3- HAIDER
M
H3-S3-M.SAYYAM
Zainab Batool
S 3, H 3_NAFEES
Zainab Batool
Hall 3 session 3_...

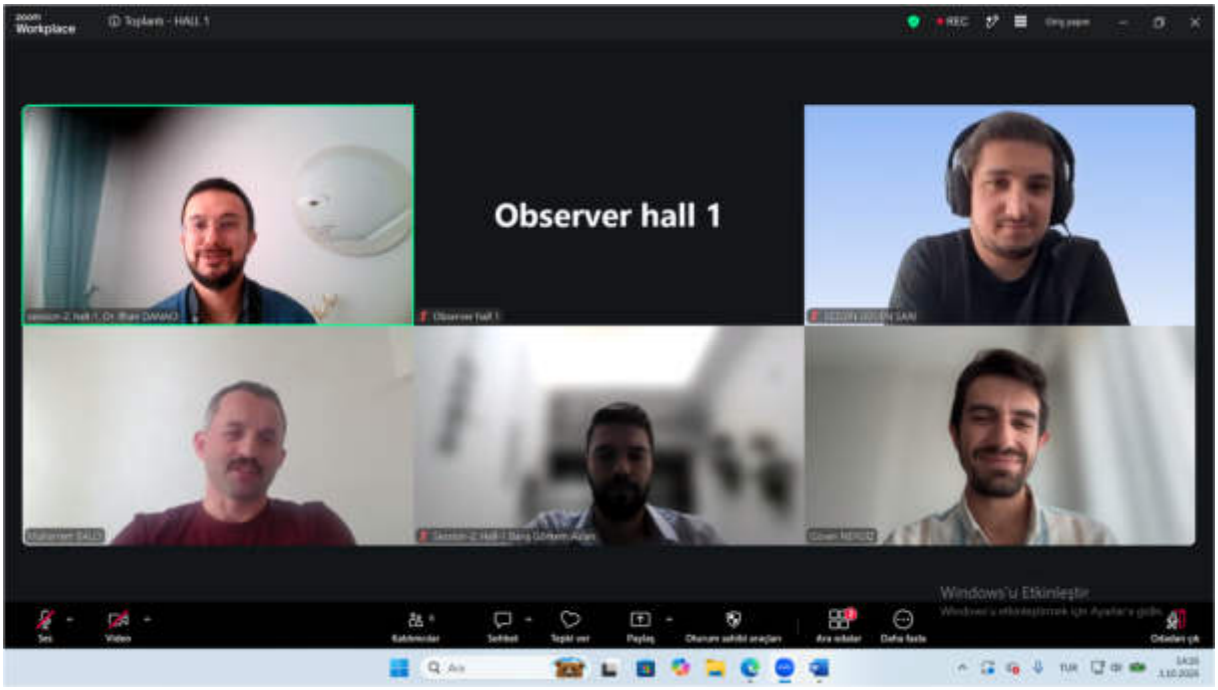

Observer-Hall 5

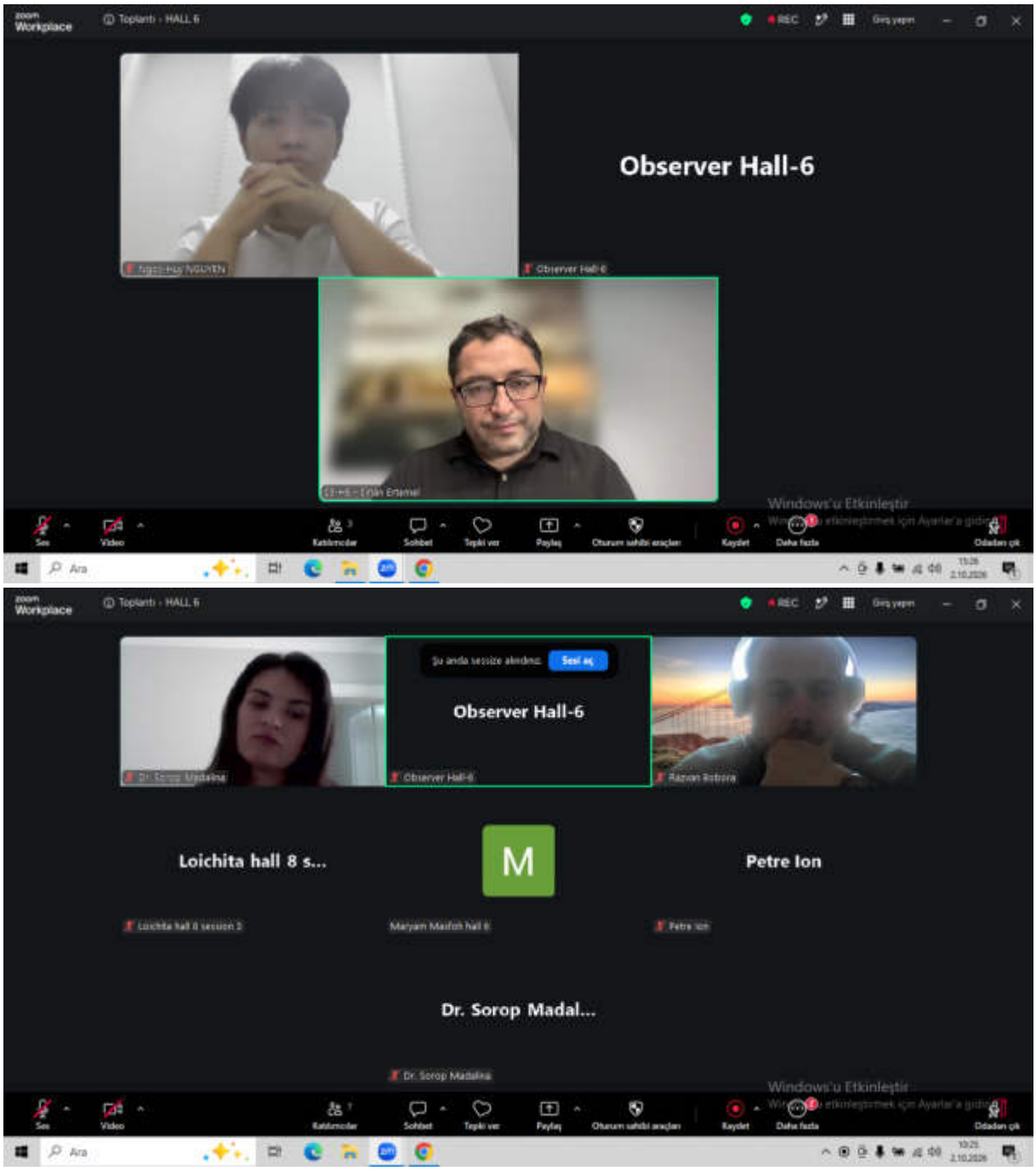

Observer Hall-4
A
A
G
lavanya
S

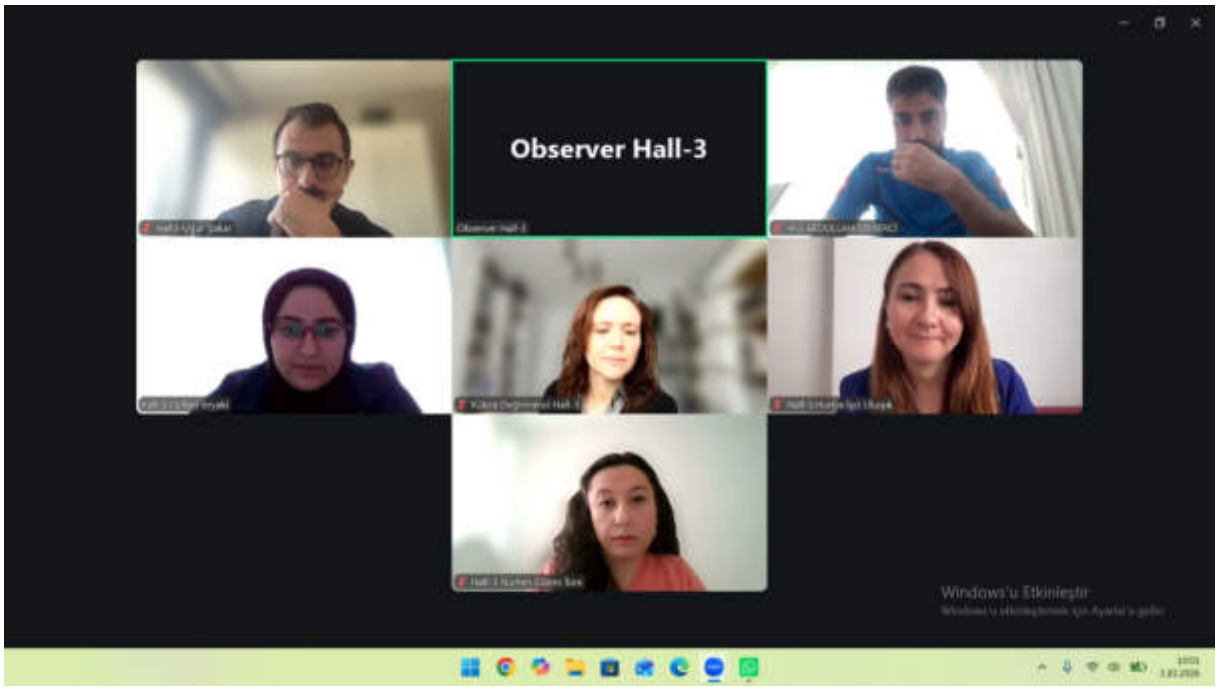

Observer-Hall 5
Andrea Lehoczki...

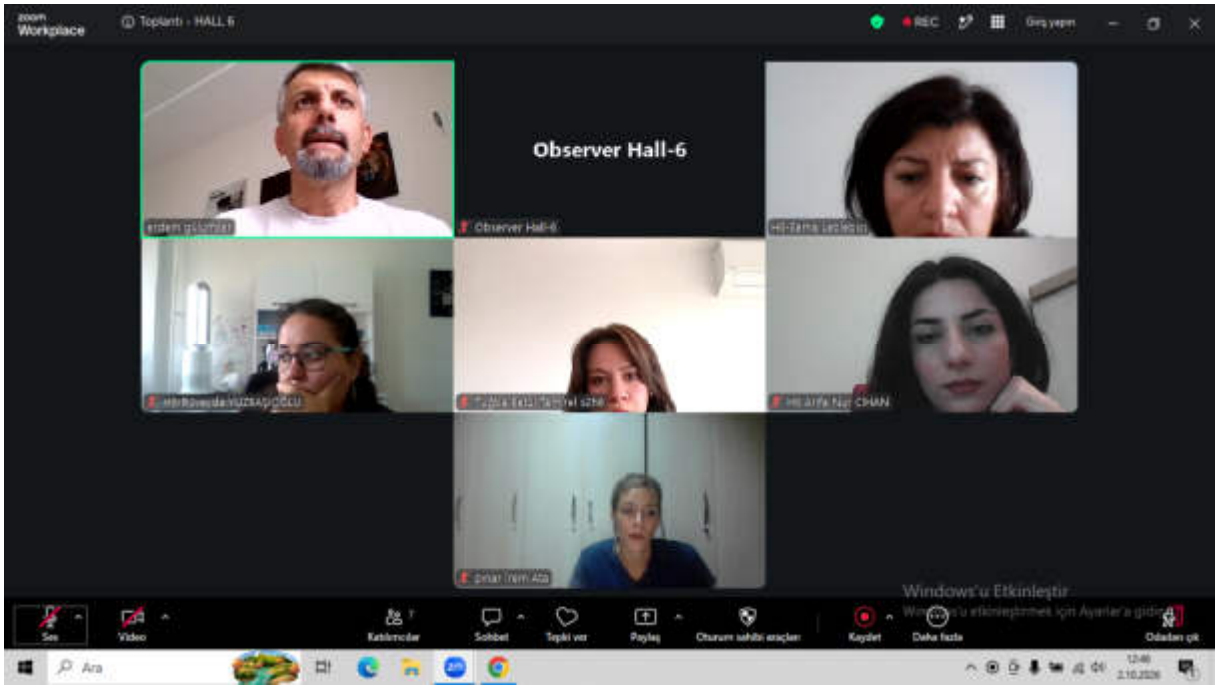

Observer-Hall 5
Aditi Singh - Ha...
h5-My Huong
Özlem TAYANÇ
Elona Shllaku
İlknur Dinder

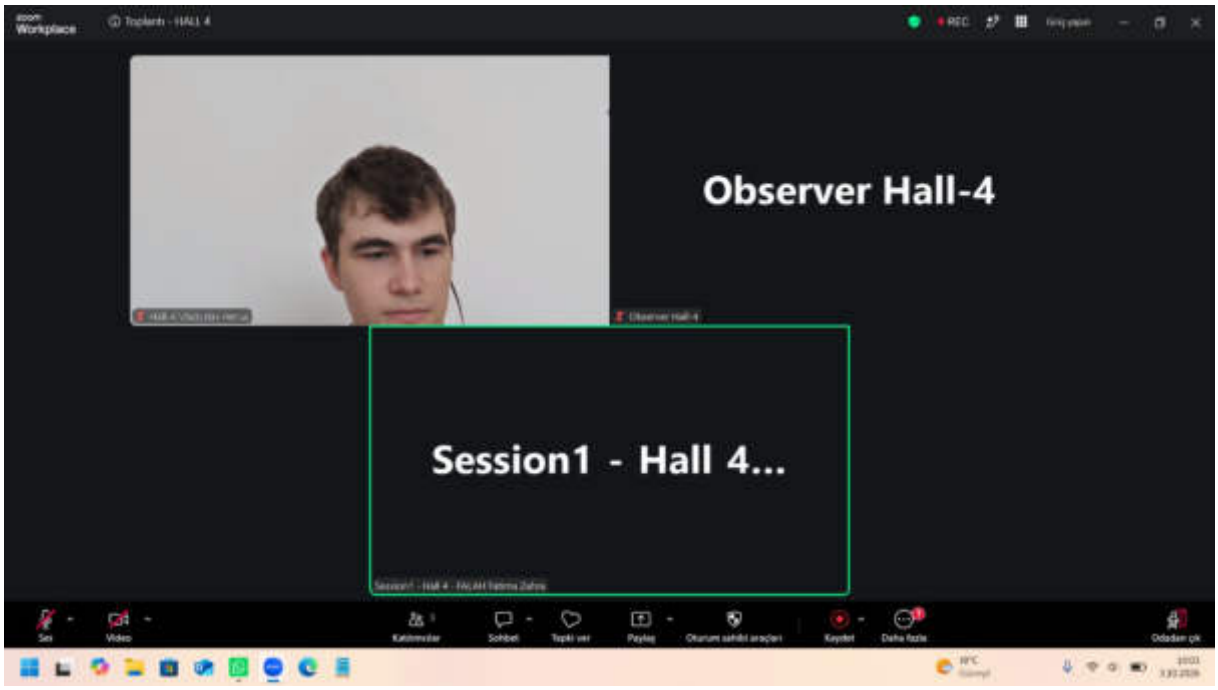

Observer hall 1

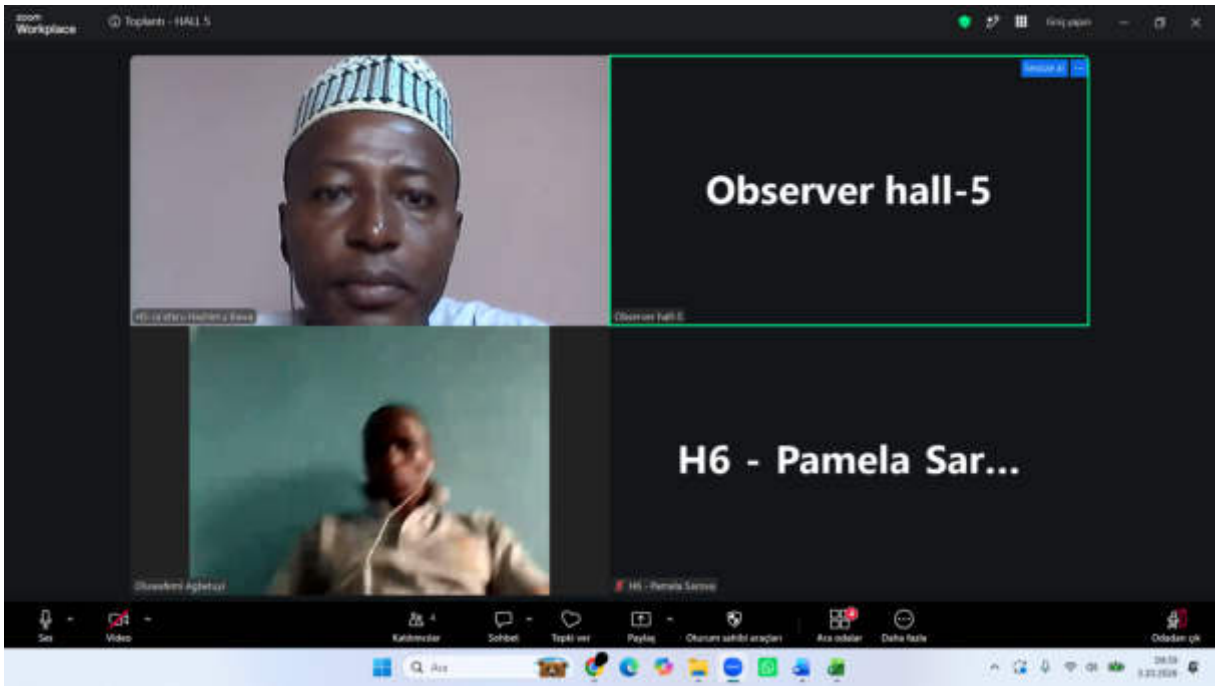

Observer hall 1

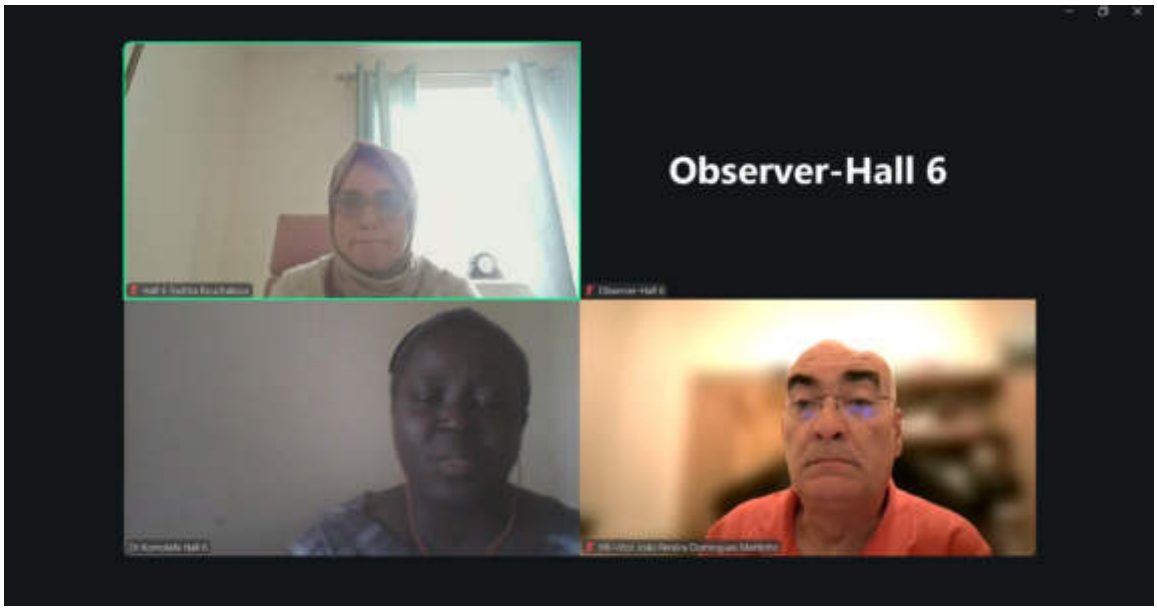

Observer Hall-6
Observer Hall-6
Loichita hall 8 s...
Petre Ion
Dr. Sorop Madal...

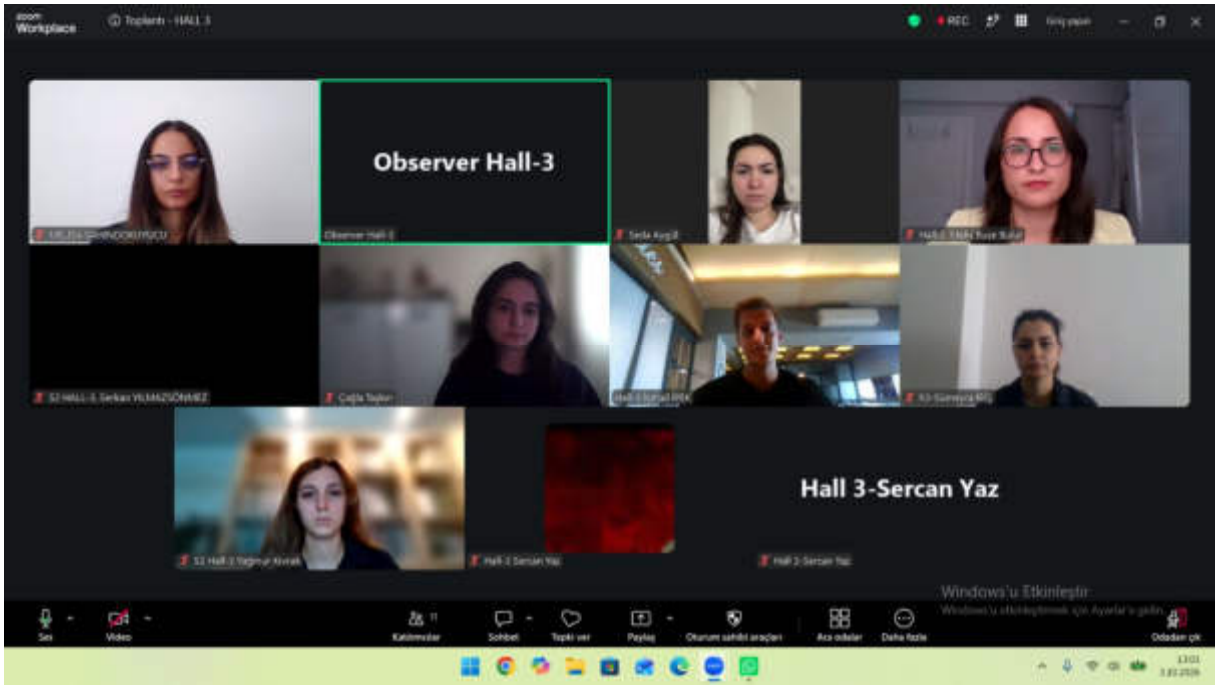

Observer Hall-3
Windows'u Etkinleştir

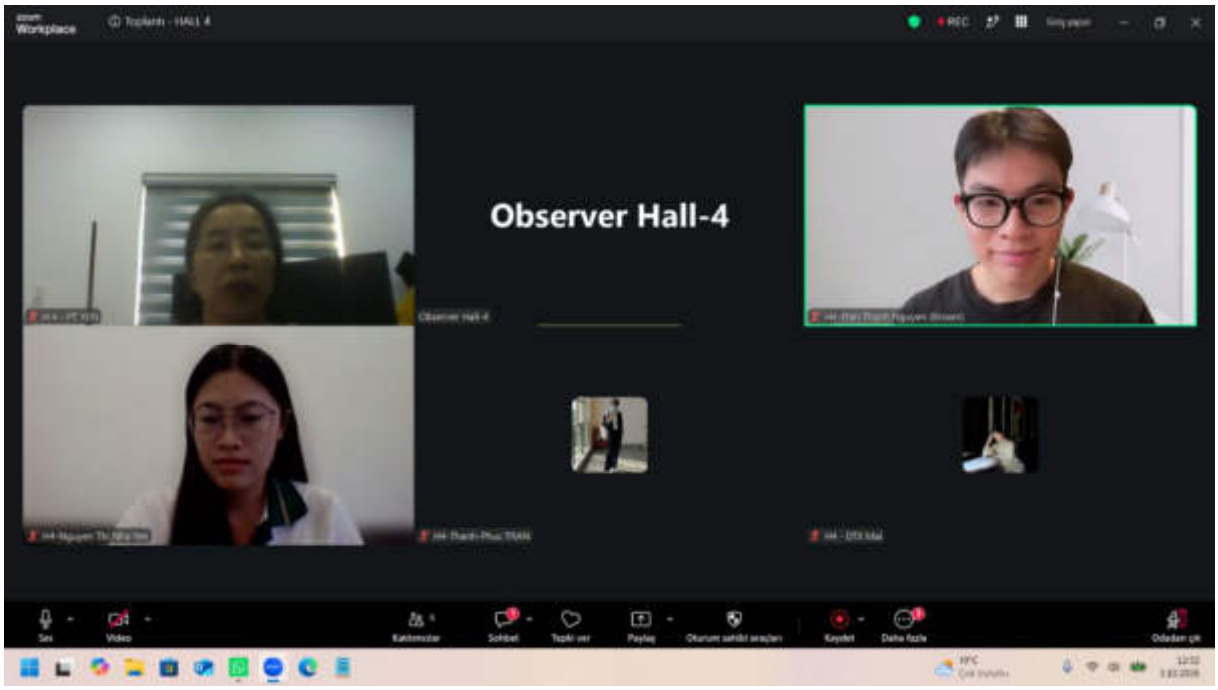

Workplace
Toplantı - HALL 6
REC
Observer Hall-6
Windows'u Etkinleştir
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Kaydet
Daha fazla
Odadan çık
Ara

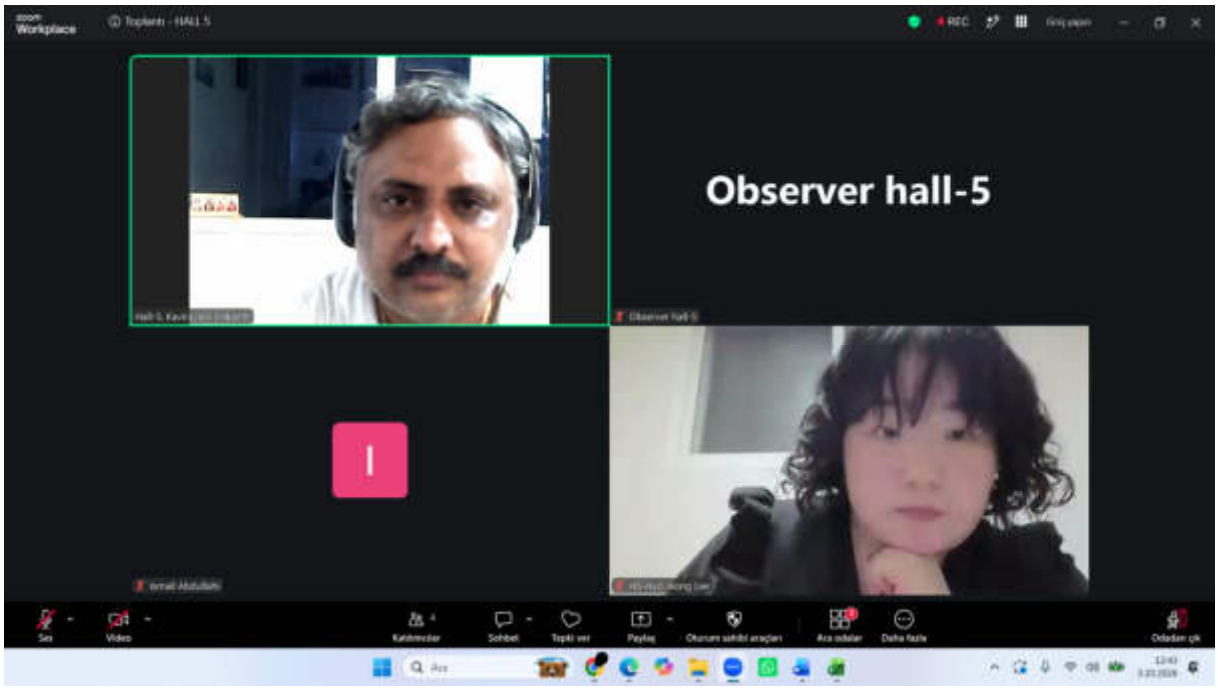

Observer Hall-4
Session1 - Hall 4...

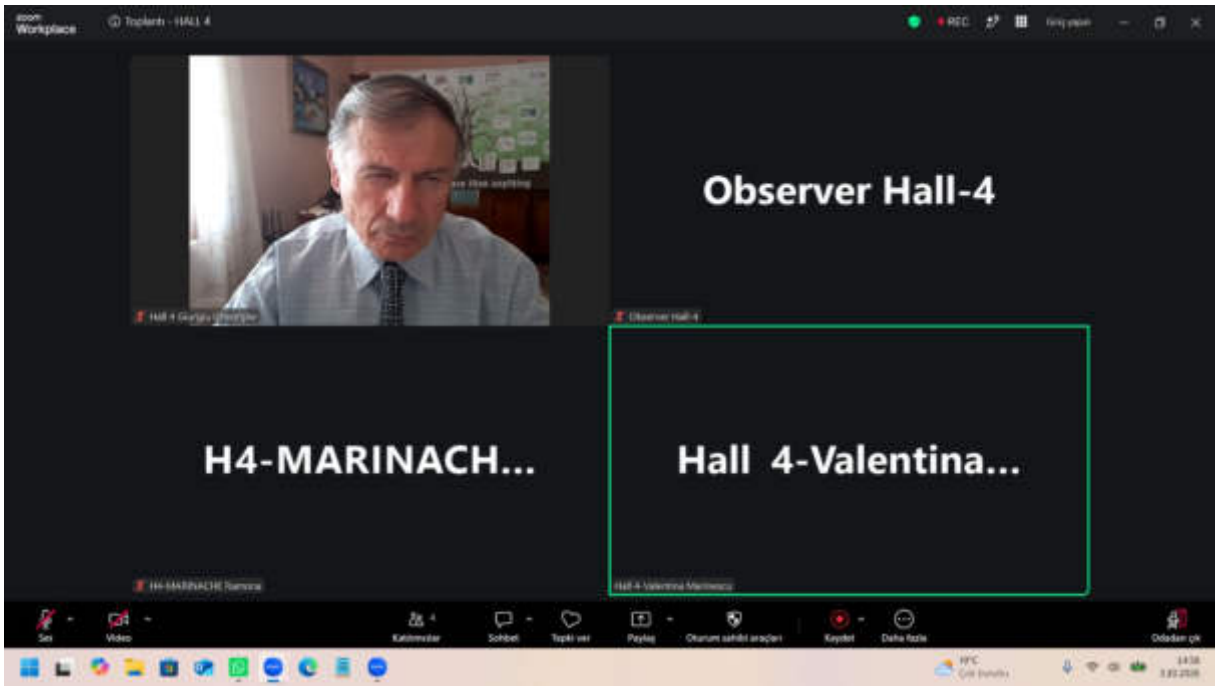

Observer hall-5
H6 - Pamela Sar...


Observer-Hall 6


Observer Hall-3
Hall 3-Sercan Yaz


Observer Hall-4


Observer hall-5


Observer Hall-4
H4-MARINACH...
Hall 4-Valentina...


Observer hall-5

CONTENTS

AUTHORS	PRESENTATION TITLE	NO
Dima BIRKDAR Emre Bahadir AL	INVESTIGATION OF ENERGY LEVEL AND ELECTRON DENSITY DISTRIBUTION UNDER DIFFERENT ELECTRIC FIELD ORIENTATIONS IN A HELICAL QUANTUM DOT	1-17
Mahmut ÇELİK Muhammed İkbal KARA Emine ŞİRİN	INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BALL-ON-DISK TEST PARAMETERS ON THE FRICTION BEHAVIOR OF THE 100CR6/WC TRIBOLOGICAL PAIR	18-29
Mahmut ÇELİK Muhammed İkbal KARA Emine ŞİRİN	INVESTIGATION OF THE TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF ADDITIVELY MANUFACTURED AlSi10Mg ALLOY UNDER DIFFERENT COUNTERBODY MATERIALS AND NORMAL LOADS	30-43
Burak ÇAKIL Ozan İNCE Erkut SAYIN Mesut GÖR Elif Gökçe İNCE	INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT SOIL CLASSES ON THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS	44-54
Burak ÇAKIL Ozan İNCE Erkut SAYIN Mesut GÖR Elif Gökçe İNCE	EFFECT OF GROUND-STORY COLUMN SIZE ON THE PERFORMANCE OF SOFT-STORY RC BUILDINGS	55-63
Muhammed ULUCAN Assist. Ibrahim CEBECI	EFFECT OF SUPPLEMENTARY CEMENTITIOUS MATERIAL TYPE ON THE ULTRASONIC PULSE VELOCITY–COMPRESSIVE STRENGTH CALIBRATION OF CONCRETE	64-75
Muhammed ULUCAN Ibrahim CEBECI	EVALUATION OF EXISTING UPV, REBOUND AND SONREB MODELS FOR STRENGTH PREDICTION IN METAKAOLIN CONCRETE	76-87
Yurdaer ŞAHİN Yağmur AKYOL Mükerrem KAYA	HEAT-TREATED SUCUK: FERMENTATION, HEAT TREATMENT, AND DRYING CONDITIONS	88-96
Özlem TAYANÇ Güzin KABAN	POTENTIAL USE OF PROPOLIS AS A FUNCTIONAL INGREDIENT IN FERMENTED SAUSAGE PRODUCTION	97-103

İlknur ORTAYOL DİNDER Güzin KABAN	THE ROLE OF DEBARYOMYCES HANSENII IN FERMENTED SAUSAGES AND ITS EFFECT ON QUALITY	104-110
Hilal ORTADOĞRU Yağmur AKYOL Mükerrem KAYA	POSSIBILITIES OF USING PROBIOTIC STRAINS AS STARTER CULTURES IN FERMENTED SAUSAGES	111-117
Savaş ATASEVER	IMPORTANCE OF ENSURING THE UNIFORMITY OF SOMATIC CELL COUNT OF COW MILK	118-122
Alper DEMİRBUGAN	SUSTAINABLE REHABILITATION OF MINE SITES	123-128
Alper DEMİRBUGAN	EVALUATION OF INVESTMENT PROJECTS WITH POINT OF STAEKEHOLDERS EFFECTS	129-132
Furkan SAKIZ Hanefi GEZER Muhammed BEŞİR	FROM TEXT MINING TO PORTFOLIO MANAGEMENT: A FinBERT AND DCC-GARCH ENHANCED BLACK-LITTERMAN MODEL	133-160
Beyza ŞİMŞEK Eylül Sude ÖZBAYLAR Furkan TÜZÜN	THE RELATIONSHIP OF HIGHER EDUCATION INFLATION WITH LABOR MARKER AND EDUCATIONAL DECISIONS OF INDIVIDUALS: A INVESTIGATION FROM SOCIOLOGICAL AND ECONOMICS PERSPECTIVES	161-178
Fatma ÖZBİÇKİ	THE FOUNDATIONS OF POLITICAL AUTHORITY'S LEGITIMACY: FROM TRADITIONAL GOVERNANCE TO THE MODERN STATE	179-186
Özgür MENGİLER	THE DICHOTOMY OF VALUES AND INTERESTS IN EUROPEAN UNION FOREIGN POLICY	187-188
Bülent EVRE	FROM PARLIAMENTARY MAJORITIES TO COALITION GOVERNANCE: DETERMINANTS OF GOVERNMENT STABILITY IN NORTHERN CYPRUS, 1983–2026	189-190

Ali İhsan MIHCI S. Bilge KARAÖZ	ANALYSIS OF THE INTERIOR ORNAMENTATION OF A GROUP OF ILLUSTRATED SHAHNAMEH MANUSCRIPTS IN THE TOPKAPI PALACE	191-202
Cihandar HASANHANOĞLU	PSYCHOSOCIAL RISKS AND TECHNOSTRESS MANAGEMENT IN OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A PROACTIVE APPROACH FROM THE PERSPECTIVE OF INDUSTRY 5.0	203-212
Cihandar HASANHANOĞLU	THE ROLE OF INDIVIDUAL DIFFERENCES IN OCCUPATIONAL SAFETY PERFORMANCE: A CONCEPTUAL MODEL PROPOSAL FOR THE RELATIONSHIPS AMONG PERSONALITY TRAITS, RISK PERCEPTION, AND ACCIDENT PRONENESS	213-220
Salih KIRKAN	THE ROLE OF WORKER AGE AND JOB TENURE IN OCCUPATIONAL ACCIDENTS: AN ANALYSIS BASED ON SGK DATA	221-229
Salih KIRKAN	THE EFFECT OF SHIFT WORK AND NIGHT SHIFTS ON THE RISK OF WORK-RELATED ACCIDENTS IN TURKEY: A STUDY BASED ON SGK DATA AND NATIONAL/INTERNATIONAL LITERATURE	230-236
Hatice Sena BÜLBÜL Muhammed KÖSTEKCİ	THE POWER OF THE INVISIBLE BOND: DEVELOPMENTAL TRACES OF FATHER–INFANT ATTACHMENT	237-248
Beran FERIDUN	DETERMINATION OF DETAILED AMINO ACID PROFILES OF THREE POTENTIAL EDIBLE INSECTS AT THE LAST LARVAL STAGE	249-250
Serap IŞIK SEYLAN Esra ÇAKIRLAR ALTUNTAŞ	AN EXAMINATION OF THE BOTANY TOPICS IN THE 2018 AND 2024 SECONDARY EDUCATION BIOLOGY CURRICULA	251-252
Özlem BAKIR BOĞA Esabi Başaran KURBANOĞLU	THE EFFECT OF BACILLUS WIEDMANNII ON THE MICROBIOTA OF POLYPHYLLA FULLO LARVAE	253-254

Özlem BAKIR BOĞA Esabi Başaran KURBANOĞLU	WHOLE GENOME ANALYSIS OF BACILLUS WIEDMANNII ISOLATED FROM POLYPHYLLA FULLO BEETLE LARVAE	255-256
Mevsim ZENGİN	MANAGING DIVERSITY IN SCHOOLS: A REVIEW OF POSTGRADUATE THESES	257-268
Abuzer YEŞİL	THE CULTURE OF INQUIRY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A CONCEPTUAL APPROACH TO THE TRANSFORMATION OF KNOWLEDGE CULTURE	269-270
Pınar AYYILDIZ	POSITIONING SOCIAL TRANSCRIPTS AND MICRO-CREDENTIALS WITHIN UNIVERSITY LEARNING ECOSYSTEMS	271
Mustafa KURUL Halil ERSOY	THE IMPACT OF RESTORATION INTERVENTIONS ON THE LEGIBILITY OF HISTORIC MINARETS: THE CASE OF THE GELENDOST AFŞAR MOSQUE	272-273
Aydan ERARSLAN TURHAN	DEMOCRATIZING GRAPHIC DESIGN: ERROR PATTERNS FROM DESKTOP PUBLISHING TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE	274-275
Remziye KÖSE ÖZELÇİ	THE UNBEARABLE ALLURE OF AGING IN JAPAN: PLAN 75 AND THE ADVERTISED RIGHT TO EUTHANASIA	276-277
Hakan ÖNDES	THE DYNAMIC VOLATILITY DEPENDENCE BETWEEN GLOBAL MARITIME TRANSPORT AND ENERGY MARKETS AND THE TURKISH TRANSPORTATION SECTOR	278-297
Ceren Nur ÖZBEN Melike ALKAN Mehmet Zahid ECEVİT	THE EFFECT OF BRAND INFORMATION PRESENTATION FORMAT ON PURCHASE INTENTION: THE MEDIATING ROLE OF NARRATIVE TRANSPORTATION	298-310
Furkan ÖZKAN Özge DEMİRCİ Mehmet Zahid ECEVİT	DATA COLLECTION INTENSITY AND PERCEIVED SURVEILLANCE IN SMARTWATCHES: PRIVACY CONCERNS AND USAGE INTENTION	311-327

Ceylan Merve BİNİCİ	THE EVOLUTION OF DIGITAL LEADERSHIP SCALES: A FRAMEWORK FOR NEXT-GENERATION SCALE DEVELOPMENT	328-346
Ersin YENİSU	HOW DO R&D EXPENDITURES AFFECT SUSTAINABILITY (ESG) SCORES? AN EMPIRICAL STUDY	347-354
Emel GÖNENÇ GÜLER	THE CONTRIBUTION OF EUROPEAN UNION CROSS-BORDER COOPERATION PROJECTS TO EDIRNE: AN ECONOMIC, SOCIAL, CULTURAL, AND ENVIRONMENTAL EVALUATION	355-359
Muhittin İlhan UZ Togan KARATAŞ	THE 2023 EYT REGULATION ON THE RETIREMENT-AGE REQUIREMENT IN THE CONTEXT OF DEBATES ON ECONOMIC POPULISM: TAKING STOCK	360-373
Merve GÜLER Nuri Murat YAĞMURLU	AN INNOVATIVE PARADIGM FOR NUMERICAL SOLUTIONS: A CUBIC HERMITE LEAST SQUARES APPROACH	374-382
Hasan Suay TANIN Davut KESEN Memet ŞAHİN	IMPROVING QUALITY IN NEUTROSOPHIC GRAY AND COLOR IMAGE CONVERSION	383-393
Hasan Suay TANIN Memet ŞAHİN Davut KESEN	HILBERT SPACES: A FRAMEWORK FROM THE FOUNDATIONS OF FUNCTIONAL ANALYSIS TO QUANTUM COMPUTING APPLICATIONS	394-402
Hasan Suay TANIN Memet ŞAHİN Davut KESEN	OBTAINING IMAGE NEGATIVES VIA QUANTUM PROGRAMMING AND HYBRID QUANTUM EDGE DETECTION: TECHNICAL INFRASTRUCTURE	403-409
Hasan Suay TANIN Davut KESEN Memet ŞAHİN	QUANTUM MACHINE LEARNING BASED ON QISKIT 2.X: FUNDAMENTAL CONCEPTS, APPLICATIONS AND LIMITATIONS	410-416
Şükrü ŞAFAK Mustafa ÖNDER	STATISTICAL PERFORMANCE ANALYSIS IN MINING OPERATIONS	417-424

Raghad Nassif Jassim	THE MIDDLE EAST AND THE RECONFIGURATION OF THE GLOBAL BALANCE OF POWER	425-426
Ratna Septiyanti Harsono Edwin Puspita Doni Sagitarian Warganegara Agus Zahron Idris	HOUSEHOLD EXPENDITURE AND REGIONAL ECONOMIC WELFARE: EVIDENCE FROM WEST JAVA, INDONESIA	427
Alhassan Yunusa Alkali Mohammed Jibril Abubakar A. Ejiko Mohammed Maishera	ASSESSING AUTO-TRICYCLE AND MOTORCYCLE OPERATORS' AWARENESS OF ROAD SIGN SYMBOLS AND COMPLIANCE WITH SAFETY RULES IN NIGER STATE, NIGERIA	428-431
Muhammed Mustafa İZGEÇ	A MULTIDIMENSIONAL TRANSITION READINESS METHOD FOR R&D AND PRODUCT-DEVELOPMENT PILOT PROJECTS IN THE ENERGY SECTOR	432-442
Murat Berker ÖZBEK Yasamin AKRAMİ	WHEN IS VIRTUAL INTERLINING COMPETITIVE? PRICE AND FEASIBILITY EVIDENCE FROM ONE MILLION CANDIDATE CONNECTIONS	443-444
Asim Alamssi Ahmad Azmi M. Ariffin Nur Wafaa Abdullah Shaimi	DOES TRAVELLING MODE MATTER? EXPERIENCE QUALITY AND PLACE ATTACHMENT AMONG INDEPENDENT AND PACKAGE MUSLIM TRAVELLERS IN KUALA LUMPUR	445-449
Huynh Thi Cam Le Pham Thi Hong Nhung Nguyen Thi Nga Dao Hoang Lan Anh	FACTORS INFLUENCING GENERATION Z'S INTENTION TO USE ECO-FRIENDLY PERSONAL BAGS WHEN SHOPPING FOR GOODS	450-460
Amit Kumar Singh Lovleen Gupta Utkarsh Kumar Singh Mamta Dhanda	FINANCING URBAN INDIA GREEN: GREEN MUNICIPAL BOND ISSUANCE AND ITS INFLUENCE ON MUNICIPAL CORPORATIONS' FINANCIAL STRUCTURE	461
Venkata Nagaraj Kakaraparthi	EFFECT OF PILATES EXERCISE PROGRAM COMBINED WITH ERGONOMIC ADVICE VERSUS ERGONOMIC ADVICE ALONE ON WORK RELATED MUSCULOSKELETAL DISORDERS AMONG PHYSIOTHERAPISTS A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL	462

Ghada Mohamed Hamouda Khadijah Ali Alshawush, Badriah Mohammed Ahmed Kadomi	THE EFFECT OF NURSING MANAGERS' SELF-COMPASSION ON NURSES' PERCEPTION REGARDING LEADERSHIP EFFECTIVENESS, SAUDI ARABIA	463-464
Fatma Hammami Makram Koubaa Sirine Chtourou Ranim Toumi Chakib Marrakchi Mounir Ben Jemaa	FACTORS ASSOCIATED WITH MULTIDRUG-RESISTANT ESCHERICHIA COLI URINARY TRACT INFECTIONS	465-466
Fatma Hammami Makram Koubaa Sirine Chtourou Ranim Toumi Chakib Marrakchi Mounir Ben Jemaa	CLINICAL FEATURES, MANAGEMENT, AND OUTCOMES OF ABDOMINAL ABSCESSES IN THE ELDERLY	467-468
Maryam Arif Hina Afzal Mahrunisa Atif	PREVALENCE AND DETERMINANTS OF DRUG ABUSE AMONG YOUTH IN LAHORE, PUNJAB, PAKISTAN	469
Andrea Lehoczki Diána Görög Mónika Fekete	BEYOND COLORECTAL CANCER: MEDITERRANEAN DIET ADHERENCE AND THE RISK OF HEAD AND NECK, GASTRIC, AND LIVER CANCERS	470-478
Maryem Arraji Mohamed Khalis Mohamed Chahboune	USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR MEDICATION ADHERENCE ASSESSMENT IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES: AN EXPLORATORY STUDY IN MOROCCO USING CHATGPT AND THE VALIDATED GENERAL MEDICATION ADHERENCE SCALE	479-480
Omoirri, M A Iboro I Ifeanyi P O Udom, GJ Oyepata JS Janefrancis IO	TRADITIONAL MEDICINE USE, MEDICINE SAFETY AND HEALTH-SEEKING BEHAVIOUR IN NIGERIA: BRIDGING BIOMEDICAL EVIDENCE AND PUBLIC HEALTH PRACTICE	481-482
FANU Abimbola Theresa	EFFECT OF ENVIRONMENTAL CHANGES ON THE HEALTH OF RURAL DWELLERS IN SOUTHWEST, NIGERIA	483
Yusuf Olanrewaju Lateef Onifade Aliyah Adeola	EXAMINING THE HEALTH IMPLICATIONS OF POOR ENVIRONMENTAL PRACTICES AND REGULATORY NON-COMPLIANCE IN LAGOS STATE	484

Sorin BURLICA Stela IURCIUC Tiberiu BULEU Oana TOADER Ion PETRE ROXANA FURAU Izabella PETRE	ASSOCIATION OF SERUM ESTRADIOL AND VITAMIN D WITH MENOPAUSAL SYMPTOM SEVERITY: A CROSS-SECTIONAL STUDY	485-486
Ion PETRE Daian Ionel POPA Tiberiu BULEU Elena Ramona DRAGOMIR Marina MERCIONI Maryam KRROSHEN	MACHINE LEARNING-BASED PREDICTION OF SEVERE MENOPAUSAL SYMPTOMS: AN EXPLAINABLE RANDOM FOREST APPROACH	487-488
Adrian LOICHITA Ion PETRE Narcisa Carmen MLADIN Daian Ionel POPA Florina BULEU Alexandru – Marius FURAU Izabella PETRE	LONGITUDINAL CHANGES IN ARTERIAL STIFFNESS IN HYPERTENSIVE PREGNANCIES: A COMPARATIVE STUDY	489-490
Ioana ARDELEAN Ion PETRE Stela IURCIUC Tiberiu BULEU Maryam KRROSHEN Laurantiu Cezar TOMESCU Oana TOADER Izabella PETRE	MATERNAL VASCULAR DYSFUNCTION AND ADVERSE OBSTETRIC AND NEONATAL OUTCOMES IN HYPERTENSIVE PREGNANCIES	491-492
Alexandru – Marius FURAU Razvan BOBORA Florina BULEU Ion PETRE ROXANA FURAU Daian Ionel POPA Izabella PETRE	BASELINE HEMATOLOGICAL PARAMETERS AND SUBSEQUENT HEMOGLOBIN DECLINE IN WOMEN WITH CERVICAL CANCER: A RETROSPECTIVE COHORT STUDY	493-494
Madalina SOROP Ion PETRE Bogdan SOROP Florina BULEU Tiberiu BULEU Narcisa Carmen MLADIN Izabella PETRE	AORTIC PULSE WAVE VELOCITY AND CENTRAL HEMODYNAMICS IN HYPERTENSIVE PREGNANCY: LONGITUDINAL ASSOCIATIONS AND VASCULAR PHENOTYPING	495-496
Mihai LOICHITA Ion PETRE Maryam KRROSHEN Razvan BOBORA Alexandru – Marius FURAU Carina BOGDAN Izabella PETRE	FIGO STAGE AND TREATMENT-RELATED FACTORS ASSOCIATED WITH HEMOGLOBIN DECLINE IN WOMEN WITH CERVICAL CANCER: A REAL-WORLD STUDY	497-498
Razvan BOBORA Alexandru – Marius FURAU Florina BULEU Ion PETRE ROXANA FURAU Elena Ramona DRAGOMIR Izabella PETRE	EXPLAINABLE MACHINE LEARNING FOR PREDICTING HEMOGLOBIN DECLINE IN WOMEN WITH CERVICAL CANCER: A REAL-WORLD STUDY	499-500

Serap YILMAZ Funda Gülay KADIOĞLU	PROCESSES CONTRIBUTING TO THE CONCEPTUAL DEVELOPMENT OF BIOETHICS	501-518
Sümeyye KOÇ	PAPILLARY THYROID CARCINOMA DETECTED DURING PERIODIC OCCUPATIONAL HEALTH SURVEILLANCE IN AN INTERVENTIONAL RADIOLOGY NURSE: A CASE REPORT	519-524
Rahmiye Nur AKTAN YILMAZ Ali KARAAĞAÇ Başak GÖKSEL KARAAĞAÇ	RELATIONSHIPS BETWEEN PERCEIVED STRESS, PSYCHOLOGICAL ADJUSTMENT, AND PARENTAL SELF-EFFICACY IN CHILDREN WITH HEARING LOSS	525-526
Ali KARAAĞAÇ Rahmiye Nur AKTAN YILMAZ Başak GÖKSEL KARAAĞAÇ	VESTIBULAR SYMPTOMS AND CLINICAL BALANCE PERFORMANCE IN CHILDREN WITH COCHLEAR IMPLANTS: A COMPARATIVE STUDY	527-528
Beyhan Özge YERSEL	CONTINGENCY CONTRACTS FOR REDUCING PROBLEM BEHAVIORS IN CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER	529-534
Hayat BUCAK Müge BÖLÜKKAYA Sabahattin TEKİNGÜNDÜZ	THE APPLICABILITY OF CHANGE MANAGEMENT MODELS IN HEALTHCARE INSTITUTIONS: A COMPARATIVE CASE SCENARIO ANALYSIS OF LEWIN AND KOTTER MODELS	535-540
Zeliha YAMAN TOPDEMİR Müge BÖLÜKKAYA Sabahattin TEKİNGÜNDÜZ	THE IMPLICATIONS OF TECHNOSTRESS FOR PSYCHOSOCIAL HEALTH AMONG HEALTHCARE WORKERS	541-550
Herkail ÖZEN Arzu Simnem SATILMIŞ Bahadır KAYA	DEVELOPMENT OF A SUSTAINABLE PROCESS FOR THE PRODUCTION OF HIGH-PURITY SODIUM SULFATE FROM IRON AND STEEL INDUSTRY-DERIVED SODIUM SULFATE WASTES VIA A ZERO LIQUID DISCHARGE APPROACH	551-552
Pelin ÇAKIR	ACHIEVING TARGET RHEOLOGICAL PROPERTIES THROUGH STARCH AND GUAR GUM OPTIMIZATION IN CHOCOLATE PUDDING FORMULATION	553-554

Kevser BAL Özlem KAPLAN Mehmet Koray GÖK	PREPARATION and CHARACTERIZATION of OCTANOIC ACID–GELATIN CONJUGATE-BASED NANOCARRIERS	555-556
Özgü Nur KAHRAMAN	FOOD FRAUD AND ADULTERATION RISKS AND CONTROL APPROACHES IN THE FRUIT JUICE INDUSTRY	557-558
Hilal TÜFENK TEKERCİOĞLU	RISK-BASED ASSESSMENT AND MANAGEMENT OF ALLERGEN RISKS IN THE FRUIT JUICE INDUSTRY	559-560
Ayse YİLDİRİM	SENSOR APPLICATION OF 1,8-NAPHTHALIMIDE-FUNCTIONALIZED MIL-101-NH_2 METAL-ORGANIC FRAMEWORK FOR HG^{2+} ION DETECTION	561-567
Özlem Özden TUNCA Yasemin GÜNDOĞMUŞ	EMOTIONAL INTIMACY IN ROMANTIC RELATIONSHIPS DURING EMERGING ADULTHOOD: THE ROLE OF ATTACHMENT STYLES AND RELATIONSHIP SABOTAGE	568-569
Akif Furkan ALEMDAR Fulya YÜKSEL ŞAHİN	THE PREDICTIVE ROLE OF LIFE SKILLS AND VIRTUAL ENVIRONMENT LONELINESS LEVELS IN PHUBBING LEVELS AMONG YOUNG ADULTS	570-571
Veda BİLİCAN GÖKKAYA Meral ÖZTÜRK	CHANGING FAMILY STRUCTURES AND THE RISE OF GRAY DIVORCE	572-579
Mehmet ULAŞ	THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS IN BUILDING CORPORATE REPUTATION	580-581
Ahmed Hamza ALPAY	HISTORICAL CHANGE AND CAUSALITY: THE PROBLEM OF EXPLANATION IN HISTORICAL SOCIOLOGY	582-591
İsmail ÖZDEMİR	GENDER AND INEQUALITY OF OPPORTUNITY IN THE CONTEXT OF REMOTE AND HYBRID WORK	592-600

Shoaib Akhtar Ansar Rafeeq	FACILE FABRICATION OF Zinc ALUMINIUM SULPHIDE REDUCED GRAPHENE OXIDE NANOCOMPOSITE FOR HIGH-PERFORMANCE SUPERCAPACITOR APPLICATIONS	601
Moses Adeolu AGOI Samuel Olayiwola AJAGA Olajuwon Victor OLAYINKA Oluwanifemi Opeyemi AGOI	THE ROLE OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DESIGNING NEXT-GENERATION MATERIALS FOR SUSTAINABLE ENGINEERING APPLICATIONS	602-615
Muhammad Asim Nawaz Shahid Adeel Mahwish Salman Muhammad Usama	VALORIZATION OF AGRICULTURE WASTE INTO SUSTAINABLE COLORANTS FOR TEXTILES	616
Jignasa V. Gohel Aliva Manjari Lenka	ENHANCED TRANSPARENT MODIFIED ENCAPSULANTS FOR NEXT-GENERATION PEROVSKITE SOLAR CELLS	617
Jignasa V. Gohel Jigish S. Chopda Pallavi S. Gharat Vineet Rathore	BEYOND THE LEAD PARADIGM: ENHANCED PROPERTIES OF NEXT GENERATION LEAD-FREE PEROVSKITE SOLAR CELLS WITH GREENER ARCHITECTURE	618
Jignasa V. Gohel Swaraj Kumar	COMPREHENSIVE REVIEW OF RUBIDIUM ENGINEERING IN PEROVSKITE SOLAR CELLS: STRATEGIES FOR ENHANCING EFFICIENCY AND STABILITY	619
Belarbi Faten	CHARACTERIZATION AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF GREEN CU_2SNS_3 MATERIALS FOR SOLAR ENERGY CONVERSION	620
Oday Ali Chiachen Radhiyah M. Aljarrah	HIGH EFFICIENCY MYCOTOXIN DETECTION BASED ON ADVANCED LOCAL SURFACE PLASMON	621
Ikechukwu P. Ejidike	TRIVALENT METAL–SCHIFF BASE COMPLEXES WITH BIOLOGICAL ASSESSMENT: EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL STUDIES	622
Elena STRELNIKOVA Kirill DEGTYAREV Denys KRIUTCHENKO Andry KOLODIAZHNY Yury NAUMENKO	SUPPRESSION OF LIQUID SLOSHING IN TANKS USING FLOATING COVERS	623-624

J.Jeyavarshana B.Kopika S.Selvam	AI-BASED PREDICTIVE MAINTENANCE FOR MINI COOPER	625-628
S. Selvam J. Aparna	PLANT DISEASE DETECTION USING AI BASED VGG-16 MODEL	629-644
Malik Shaheryar Muhammad Ali Nasir Muhammad Azeem Rehman Khan	EFFECT OF IMPACT STRENGTH OF 3D PRINTED CARBON FIBER-REINFORCED POLYLACTIC ACID (CF-PLA) ON DIFFERENT PRINTING PARAMETERS	645
Rehman KHAN Mıan DANIYAL GUL Muhammad SHARIQ Sagheer AHMED	DESIGN AND FABRICATION OF SOLAR E-TRIKE	646-654
Raghav Sivakumar	AI-POWERED ROBOTIC WELDING IN AUTOMOBILE MANUFACTURING: ENHANCING PRECISION, QUALITY, AND MANUFACTURING EFFICIENCY	655
Mohamed Dhia Massoudi Mohamed Bechir Ben Hamida	HYBRID THERMAL ENHANCEMENT OF NATURAL-CONVECTION HEAT SINKS USING AERODYNAMIC WINGLETS AND SWCNT-WATER NANOFLUIDS	656
Sema LEBLEBİCİ Erdem GÜLÜMSER	ALLELOPATHIC EFFECT OF HOP EXTRACT ON EARLY DEVELOPMENT CHARACTERISTICS OF BUCKWHEAT (FAGOPYRUM ESCULENTUM MOENCH)	657-663
Sema LEBLEBİCİ Erdem GÜLÜMSER	EFFECTS OF DIFFERENT DOSES OF HOP EXTRACTS ON GERMINATION AND EARLY SEEDLING GROWTH OF GRASS PEA (LATHYRUS SATIVUS L.)	664-670
Tuğba Betül TEMIREL Serap YALÇIN AZARKAN	MICRO- AND NANOPLASTIC ACCUMULATION IN HUMAN POSTMORTEM BRAIN TISSUE	671-679
Tuğba Betül TEMIREL Serap YALÇIN AZARKAN	IN SILICO INVESTIGATION OF CISPLATIN-INDUCED CELLULAR SENESCENCE IN BREAST CANCER	680-686
Nagihan SEKİ Arife Nur CİHAN	EVALUATION OF POISONOUS ORNAMENTAL PLANTS AND PHYTOTOXICOLOGICAL RISKS IN URBAN GREEN SPACES OF SAFRANBOLU (KARABUK)	687-688

Pınar İrem ATA Erhan ÖZDİLER Ayşe Tuba ALTUĞ DEMİRALP Orhan ÖZDİLER Hakkı TAŞTAN	INVESTIGATION OF THE MSX1 GENE G267C POLYMORPHISM IN TURKISH PATIENTS WITH NONSYNDROMIC CLEFT LIP AND PALATE	689-690
Rüveyda YÜZBAŞIOĞLU	SOCIOECONOMIC DETERMINANTS OF MARGARINE CONSUMPTION PREFERENCE IN VEGETABLE OIL CONSUMPTION: A BINARY LOGIT MODEL APPROACH	691-700
Peter Ayuba MELLEMUT Peter Tavershima KUMAGA	FORGIVENESS, MERCY AND JUSTICE: A CHRISTIAN PERSPECTIVE	701-711
Hadiyanto Raden Muhammad Ali Yulhenli Thabran	ALIGNING UNIVERSITY ENGLISH WITH WORKPLACE NEEDS: EVIDENCE FROM GRADUATES ACROSS EMPLOYMENT SECTORS	712
Rahem Samiya	ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ENHANCED PROBLEM-BASED LEARNING IN HIGHER EDUCATION: PEDAGOGICAL APPLICATIONS, CHALLENGES, AND FUTURE DIRECTIONS	713
Mark Anthony N. Polinar	ARRIBA PEER TUTORING PROGRAM AS A STRATEGY IN ENHANCING MATH PROBLEM-SOLVING SKILLS OF GRADE 12 ACCOUNTANCY, BUSINESS, AND MANAGEMENT (ABM) STUDENTS	714
Charles-Owaba, Tekenate	HUMAN OVERSIGHT AND ACADEMIC INTEGRITY IN AI-ASSISTED MATHEMATICS ASSESSMENT: A POLICY ANALYSIS AND GOVERNANCE FRAMEWORK FOR NIGERIAN HIGHER EDUCATION	715-731
Sagaya Aurelia	DIGITAL STORYTELLING: AN APPROPRIATE MEDIUM FOR INCLUSIVE EDUCATION FOR KIDS WITH SPECIAL NEEDS	732
Ali SAKALLI Ercan ŞENYİĞİT	SELECTION OF THE MOST SUITABLE MAINTENANCE AND REPAIR CENTER FOR MODERN MILITARY CARGO AIRCRAFT: A TOPSIS AND SPOTIS APPLICATION TO THE C-130J CASE	733-742

Yusuf ÖZEN	ANALYSIS OF THE IMPACT OF VEHICLE MODIFICATIONS UNECE R107 COMPLIANCE IN MULTI-STAGE BUS MANUFACTURING	743-757
Emre İLHAN Oğuzhan ERBAŞ	DYNAMIC MODELING OF PHOTOVOLTAIC-ASSISTED GROUND-SOURCE HEAT PUMP SYSTEMS VIA BUILDING ENERGY SIMULATION	758-764
Emre İLHAN Oğuzhan ERBAŞ	ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL IMPACTS IN RENEWABLE ENERGY-INTEGRATED LOW-CARBON BUILDING SYSTEMS	765-771
Sermin GÜNASLAN Baybars Ali FİL Zeynep GÖKTAŞ	EFFECT OF INITIAL DYE CONCENTRATION AND CURRENT DENSITY ON REMOVAL EFFICIENCY AND ENERGY CONSUMPTION IN THE ELECTRO-OXIDATIVE DECOLORIZATION OF A CATIONIC DYE	772-781
Çiğdem CEYLAN	DETERMINATION OF GEOTECHNICAL AND INDEX PROPERTIES OF BENTONITE COMPOSITES WITH WASTE COFFEE AND MARBLE DUST ADDITIVES	782-792
Hülya BİRGİ	THE EFFECT OF FORMATION IN THE QUANTUM FIELD ON GRAVITY THROUGH THE FOUR ELEMENTS	793-797
Muhammad SAYYAM Khaliq Nazir Hassan JOYIA Faraz AHMED Zeeshan SAEED Haad AKMAL	INTELLIGENT BATTERY AWARE AERIAL DRONE PATH PLANNING FOR THE AUTONOMOUS TRANSPORTATION OF MEDICINE AND FOOD DELIVERIES IN ANKARA	798
Duaa KAWAL Muhammad Zarq AMIN Shariq MEHBOOB Muhammad USMAN Haad AKMAL	AI-BASED SMART ANKLE STRAP FOR ELDERLY GAIT MONITORING AND FALL DETECTION	799
Masroor AHMED Mahum NAFEES Muhammad Hasan Danish KHAN Muhammad USMAN Haad AKMAL	INTELLIGENT WEARABLE REHABILITATION MONITORING USING MULTI-POINT IMU SENSING AND MACHINE LEARNING	800

Muhammad Sameer AAMIR Saad QURESHI Haad AKMAL Kubilay AYTURAN Fırat HARDALAÇ	EXPLAINABLE MACHINE LEARNING FOR INFLATION FORECASTING IN TÜRKIYE: ASSESSING THE PREDICTIVE ROLE OF TURKISH LIRA DEPRECIATION	801-802
Muhammad Yaman HAIDER Mehwish ISHFAQ Saad Bashir ALVI Haad AKMAL Kubilay AYTURAN Fırat HARDALAÇ	AN ENSEMBLE LEARNING APPROACH IN EVALUATING THE IMPACT OF ACADEMIC PRESSURE AND LIFESTYLE ON STUDENT DEPRESSION	803
Abdul Ahad Kamran ANSARI Mehwish ISHFAQ Saad Bashir ALVI Haad AKMAL Kubilay AYTURAN Fırat HARDALAÇ	A MULTI-MODAL AI FRAMEWORK FOR ASSESSING MENTAL HEALTH AND SOCIAL MEDIA ADDICTION AMONG UNIVERSITY STUDENTS	804
Zainab BATOOL Amna BATOOL Muhammad Hasan Danish KHAN Haad AKMAL Kubilay AYTURAN Fırat HARDALAÇ	NON-INVASIVE FETAL ECG RECONSTRUCTION UNDER LOW SNR CONDITIONS USING DIGITAL FILTERING AND STACKING META-LEARNERS	805
Hafiz Farzam KHAN Syed Atif Ali SHAH Haad AKMAL Kubilay AYTURAN Fırat HARDALAÇ	DATA FUSION-BASED PREDICTION OF FUEL PRICES AND CONSUMER PRICE INDEX IN TÜRKİYE	806
Alina TAHIR Abdullah MIRDAD Zainab MIRDAD Samina AKMAL Haad AKMAL	GENERATION VERSE: AUTOMATED GENERATIONAL CLASSIFICATION VIA SEMANTIC ANALYSIS OF CONTEMPORARY SLANG AND MEME CULTURE	807
Abdul Sammad KHAN Imran AHMAD Haad AKMAL Kubilay AYTURAN Fırat HARDALAÇ	CLIMATE-ADAPTIVE SOH/RUL PREDICTION FOR EVs WITH SHAP EXPLAINABILITY FOR ANATOLIAN THERMAL CONDITIONS	808
Muhammad FAISAL	RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION FOR ENTERPRISE KNOWLEDGE MANAGEMENT ENHANCING ORGANIZATIONAL INTELLIGENCE THROUGH CONTEXT-AWARE ARTIFICIAL INTELLIGENCE	809
Putu Septian Primadewa I Made Sukarsa Anak Agung Kompiang Oka Sudana	LEVERAGING METADATA AND HEURISTIC SCORING AS A SOLUTION FOR STATIC ENDPOINT ACCESS	810-818
E. Rajendran Sushmitha S Berry Sugandh Surya A Aparnaa M Gopinath V Arlisa Winifred A	DAAS-V2V: PREDICTIVE DENSITY-AWARE ADAPTATION FOR SAFETY-PRESERVING VEHICLE-TO-VEHICLE COMMUNICATION	819-820

E. Rajendran Sushmitha S Berry Sugandh Surya A Aparnaa M Gopinath V Arlisa Winifred A	INTELLIGENT HOME CONTROL USING ELECTROOCULOGRAPHY (EOG) SIGNALS FOR ASSISTIVE HUMAN-COMPUTER INTERACTION	821-822
Lavanya Meiyammai P Kalaiselvan S Nalin Prashant Poddar	CORROSION–INTERFACE ENGINEERING IN HYBRID ENERGY STORAGE DEVICES: MECHANISMS, DEGRADATION PATHWAYS, AND STRATEGIES FOR ENHANCED ELECTROCHEMICAL STABILITY	823-824
Sani Solomon	IMAGE TYPE RECOGNITION SYSTEM USING MACHINE-LEARNING ALGORITHMS	825
Vedat ÇAVLU	DESIGNING MINIATURIZED WI-FI / 5G ANTENNA FOR JAMMING APPLICATIONS	826-833
Marija Šiško Kuliš	FROM WATER POWER TO FORGOTTEN HERITAGE: THE ŠVICA HYDROELECTRIC POWER PLANT ON THE GACKA RIVER IN CROATIA	834-844
Akash C S Anandha Balan K Ananth S Ariharan S Aswin Y B Joel A. Vijayalakshmi	CHARGE AHEAD: THE ELECTRIC VEHICLE REVOLUTION	845
Ammineni Sudeepthi Anthati Bhavesshya Bathmavathy S Beri Dharani Reddy Boyilla Pranathi A. Vijayalakshmi	FROM MEASUREMENT TO MITIGATION: THE VALUE OF CARBON FOOTPRINT CALCULATION	846
Özlem TOKUŞOĞLU Burak DEMİRCİ	KINETIC MODELING OF LAMBERTIANIN-C DEGRADATION AND THE IMPACT OF PROBIOTIC- PHENOLIC INTERACTIONS ON THE SHELF LIFE OF PROBIOTIC RASPBERRY JAM	847-856
Özlem TOKUŞOĞLU	FUNCTIONAL CHEWING GELS FORTIFIED WITH SPIRULINA PLATENSIS BIOMASS BY CORE-SHELL HYDROGEL TECHNOLOGIES	857-864

Muhammad Usama Mahwish Salman Muhammad Asim Nawaz	SYSTEMATIC INSIGHTS INTO THE ROLE OF PLANT GROWTH-PROMOTING ENDOPHYTIC BACTERIA IN DROUGHT STRESS ALLEVIATION	865
Arli Aditya Parikesit	RIBOGRAPH: A CURATED, LITERATURE-ANCHORED ATLAS OF THE HUMAN NONCODING RNA INTERACTOME FOR TEACHING AND EXPLORATORY ANALYSIS	866-877
Aditi Singh	EVALUATION OF THE ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF PLUMERIA FLOWER AND LEAF EXTRACTS AGAINST SELECTED BACTERIAL PATHOGENS	878
Iram Liaqat	HONEY AS ANTIBIOFILM AGENT AGAINST MULTISPECIES BACTERIAL BIOFILM	879
Ahmed IBRAHIM Samuel Akinola OGUNDARE	EFFECT OF 7E LEARNING CYCLE ON INTEREST AND RETENTION IN CELL CONCEPTS AMONG SENIOR SECONDARY SCHOOL SLOW LEARNERS IN KATSINA METROPOLIS, NIGERIA	880
Elona Shllaku Arieta Camaj Ibrahimi	AFLATOXIN M1 CONTAMINATION IN RAW MILK: A FOOD SAFETY PERSPECTIVE	881
Huong Thi My Nguyen	EFFECT OF DEGREE OF HYDROLYSIS ON THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF PROTEIN HYDROLYSATE FROM BARRAMUMDI TRIMMINGS	882
Gia-Hao TU Ngoc-Huy NGUYEN Kim-Uyen TO Gia-Anh Dat NGUYEN Thai-Phong Vuong NGUYEN Truong-Huy HUYNH	EVALUATING THE SERVICE QUALITY OF THE CAI RANG FLOATING MARKET TOUR PROGRAM IN CAN THO CITY	883
Amit Kumar Singh Rohit Kumar Shrivastav Deepak Kumar Mishra Utkarsh Kumar Singh	GLOBAL TRADE POLICY UNCERTAINTY AND STOCK MARKET RESILIENCE IN BRICS ECONOMIES: AN AUGMENTED VAR FRAMEWORK	884-885
Yuri KROTENKO	CHANGES IN THE GLOBAL ECONOMY DURING THE SHADOW OF WAR PHASE	886

Irina KROTENKO	METHODOLOGICAL ASPECTS OF COMPARATIVE MANAGEMENT	887-888
BOYI, ENERO SAMUEL	PARTY SYSTEM INSTITUTIONALIZATION AND ELECTORAL OUTCOMES IN NIGERIA AND GHANA, 2019-2023	889-902
Lovleen Gupta Santosh Kumar Utkarsh Kumar Singh	RISK PARITY ALLOCATION IN AN EMERGING MULTI-ASSET MARKET: EVIDENCE FROM INDIA	903
Sinan ERTEMEL	CONSTRAINED EQUAL AWARDS UNDER UNCERTAIN CLAIMS: EX-ANTE AND EX-POST APPROACHES	904
Sinan ERTEMEL	RATIONING WITH STATE-CONTINGENT BASELINES	905
Ceyda ELGÜL ERDEM	CULTURAL TRANSLATION IN “A VERY OLD MAN WITH ENORMOUS WINGS” AND “THE HANDSOMEST DROWNED MAN IN THE WORLD” BY GABRIEL GARCÍA MÁRQUEZ	906-907
Muhittin ELİAÇIK	THE INTERTWINING OF TOPICS IN OTTOMAN FATWAS	908-910
Muhittin ELİAÇIK	TA'ZÎR and HABS IN OTTOMAN FATWAS	911-914
Nülüfer ÇELİK	ON THE STATUS WORDS IN THE CONCEPTUAL FIELDS OF FAITH AND THE AFTERLIFE IN TEFSÎR-İ (YAʿḲŪB -İ) ÇERHÎ	915-927
Serenay ÇAĞLAR Burcu GÖKÖZKUT	THE DEVELOPMENT AND SUSTAINABILITY OF MUSEUM TOURISM: THE CASE OF ODUNPAZARI, ESKİŞEHİR	928-942
Aynur SAVAŞ Kader REYHAN	TRANSLATING THE READING OF THE SPIRIT OF A PLACE IN CULTURAL HERITAGE BUILDINGS THROUGH ARCHITECTURAL FEATURES INTO A DIGITAL NARRATIVE: THE CAPANOĞLU MOSQUE EXAMPLE	943-968

Berzin DELİKTAŞ Burcu ÇAKI DÖNER	PRIMARY HEALTH CARE SERVICES IN ELDER NEGLECT AND ABUSE	969-976
Pınar TAŞ Burcu ÇAKI DÖNER	APPROACHES TO PROTECTING CHILD HEALTH AND PARENTAL DECISION MAKING PROCESSES	977-987
Gonca AKTAY Zeynep ERSAY ÖNAL	ENHANCING INNOVATION COMPETENCE IN NURSING STUDENTS: A SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOAL 9 PERSPECTIVE	988-989
Zeynep ERSAY ÖNAL Gonca AKTAY	QUIET QUITTING IN NURSING MANAGEMENT: A REVIEW OF ORGANIZATIONAL AND INDIVIDUAL DETERMINANTS	990-991
Süleyman AKILLI Sinem KARAKAYA Murat Özcan YAY	CLINICAL AWARENESS, SELF-EFFICACY, AND EDUCATIONAL NEEDS REGARDING NEUROSURGICAL PATIENT CARE AMONG HOSPITAL NURSES: A CROSS-SECTIONAL STUDY	992-1001
Hikmet KIZTANIR	EVALUATION OF THE DIAGNOSTIC SPECIFICITY AND POSITIVE PREDICTIVE VALUE OF PRE-SPORT SCREENING STRATEGIES (AHA 14-ITEM PROTOCOL AND PEDIATRIC ECG CRITERIA) IN THE PEDIATRIC POPULATION IN CARDIOLOGY REFERRALS	1002-1014
Dilek ASİLTÜRK Zeynep OKTAY	SIMPLE CLINICAL AND LABORATORY INDICATORS FOR THE EARLY IDENTIFICATION OF COMPLICATED BRUCELLOSIS: A TWO-CENTER RETROSPECTIVE STUDY	1015-1016
Esra BÜLBÜL Aydın RÜSTEMOĞLU	EMERGING MOLECULAR PLAYERS IN PARKINSON'S DISEASE: circRNAs	1017-1026
Türkan TİRYAKİ Yasemin BEYHAN	EVALUATION OF DAILY MINERAL INTAKE IN PRESCHOOL CHILDREN	1027-1034
Kubra DEGIRMENCI	COMPARATIVE DESCRIPTIVE ANALYSIS OF FINITE ELEMENT STUDIES IN THE DISCIPLINE OF DENTISTRY	1035-1048

Huriye İŞCI ULUIŞIK Mehmet ÜNAL	APEXOGENESIS ACHIEVED AFTER PULPOTOMY WITH MTA IN IMMATURE TEETH: 2 CASE REPORTS	1049-1050
Huriye İŞCI ULUIŞIK Mehmet ÜNAL	SPONTANEOUS MESIALIZATION OF SECOND PERMANENT MOLARS FOLLOWING EXTRACTION OF FIRST PERMANENT MOLARS: A CASE REPORT WITH TWO-YEAR FOLLOW-UP	1051-1052
Ali Niyazi KURTCEBE Uğur ŞAKAR	OCCUPATIONAL MUSCULOSKELETAL COMPLAINTS AMONG 112 EMERGENCY HEALTH SERVICE PERSONNEL: EVALUATION OF FUNCTIONAL IMPAIRMENT AND ACCESS TO REHABILITATION SERVICES	1053-1060
Nurten Gizem TORE	DOES STRUCTURED PROMPTING IMPROVE THE COMPLETENESS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-GENERATED HAND AND FACIAL EXERCISE ADVICE FOR SYSTEMIC SCLEROSIS? A GEMINI-BASED EVALUATION	1061-1062
Mahmut GÜLLE Abdullah SEMERCİ	EVALUATION OF THE NUMBER OF COACHES WORKED WITH IN TERMS OF PROSOCIAL AND ANTISOCIAL BEHAVIORS	1063-1070
Safiye Kübra ÇETİNDAĞ KARATLI	THE 25-YEAR TRANSFORMATION OF FERTILITY IN TÜRKİYE: DECLINING BIRTHS, INCREASING MATERNAL AGE, AND POTENTIAL IMPLICATIONS FOR PRIMARY CARE SERVICES	1071-1072
Javad Rouzegar	HYDRAULIC PERFORMANCE IMPROVEMENT OF MORNING GLORY SPILLWAYS USING VORTEX BREAKERS AND SEMI-ELLIPTICAL NOTCHES: A THREE-DIMENSIONAL NUMERICAL INVESTIGATION FRAMEWOR	1073-1082
Javad Rouzegar	HYDRAULIC PERFORMANCE IMPROVEMENT OF MORNING GLORY SPILLWAYS WITH PYRAMIDAL VORTEX BREAKERS: AN INTEGRATED FRAMEWORK FOR DISCHARGE EFFICIENCY AND HYDRAULIC SAFETY	1083-1090

Javad Rouzegar	EXPLAINABLE MACHINE LEARNING FOR PREDICTING SCOUR DEPTH DOWNSTREAM OF SPILLWAYS USING PUBLISHED EXPERIMENTAL DATA	1091-1094
Masroor Malikyar Payam Tarighi Mehdi Shalchi Toosi	NUMERICAL EVALUATION OF SEISMIC PERFORMANCE OF REPLACEABLE CLAMPED CONNECTION WITH DAMAGE CONCENTRATION IN PSEUDO-GUTTER FUSE	1095-1105
Fatima Zahra FALAH Hasna HAMDANE Bilal EL. BAKKARI Touria EL. GHAILASSI	EFFECT OF INDUSTRIAL WASTE COMPOSITION ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SUSTAINABLE GEOPOLYMER MATRICES	1106
T.Kalaiselvi Yegnanarayanan Venkataraman	CAPTIVE DOMINATION-DEPENDENT RESOURCE ALLOCATION TO COMPUTER NETWORKS WITH GRID STRUCTURE	1107-1111
Khursheed Alam	BRIDGING INDIA'S ECONOMIC DEVELOPMENT DIVIDE: INTER-STATE DISPARITIES, HUMAN DEVELOPMENT AND INCLUSIVE GROWTH	1112-1118
Petro Kosobutskyy Vladyslav Herus	BINARY DIVISION IN THE AFFINE CONJECTURE PROBLEM OF NATURAL NUMBERS	1119-1124
Alabi Remilekun Enitan Ilugbusi, Ayokunle Oluwatosin	APPLICATION OF HOLT'S LINEAR EXPONENTIAL SMOOTHING AND ARIMA MODEL IN FORECASTING JAMB REGISTRATION AT FEDERAL POLYTECHNIC ADO-EKITI	1125-1130
Mahmood, M.M. Muhammad M. Tayo, I.Y. Ishaku, I.	THERMAL-MOISTURE STRESS AND AGRO-CLIMATIC VULNERABILITY OF CEREAL CROP PRODUCTION AREAS IN THE GUINEA SAVANNAH ECOLOGICAL ZONE OF NIGERIA: A MULTI-TEMPORAL REMOTE-SENSING ASSESSMENT (1993–2023)	1131
Laiba Hameed Syed Mohsan Raza Shah Sania Abid Fateh Asia Kainat Tauseef Nawaz Aqsa Mahnoor Muhammad Farooq	NEEM LEAF EXTRACT-MEDIATED MITIGATION OF DROUGHT STRESS IN ZEA MAYS L.: STRUCTURAL AND FUNCTIONAL RESPONSES	1132

Oluwafemi Abel Agbetuyi Olugbenga David Oloruntola	SUSTAINABLE POULTRY NUTRITION THROUGH CIRCULAR BIO-ECONOMY TECHNIQUES	1133
Rabia Ghaffar Hira Mehboob	APPLICATION OF ORGANIC PLANT EXTRACTS FOR LETTUCE GROWTH AND YIELD IN ALKALINE SOIL	1134
Jaafaru Hashimu Bawa	FROM VIGILANTISM TO INSURGENT GOVERNANCE: THE TRANSFORMATION OF LAKURAWA IN NORTHWESTERN NIGERIA	1135
Olakunle Deborah Erenola	TITLE OF THE SOIL & ECOSYSTEMS ENTOMOLOGY: INSECTS AS EGINEERS OF SOIL HEALTH AND BIOGECHEMICAL CYCLES	1136
Shimelis Tedila Ahmed Hassen Mekete Bekele	EFFECT OF VARIETY AND ORGANIC FERTILIZER ON AGRONOMIC PERFORMANCE AND CHEMICAL COMPOSITION OF ELEPHANT GRASSES (PENNISETUM PURPUREUM)	1137
Nikolay Tsandev Pamela Sarova Angel Vodenicharov	DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A TECHNIQUE FOR POLYESTER EMBEDDING OF TOPOGRAPHICAL SECTIONS OF EQUINE LIMBS	1138
Vítor João Pereira Domingues Martinho	SALINE AGRICULTURE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS: A REGIONAL PERSPECTIVE	1139
Vítor João Pereira Domingues Martinho	STAKEHOLDER MAPPING AND ANALYSIS: PERCEPTIONS AND ATTITUDES TOWARDS WASTEWATER REUSE	1140
Bouchakour R.	BARRIERS AND DRIVERS OF AGRICULTURAL INNOVATION IN ALGERIA	1141
Komolafe, A. F. AyanfeOluwa, O. E. Kayode, C. O. Samuel, E. A.	RESPONSE OF CAULIFLOWER (Brassica oleracea var. botrytis) TO DIFFERENT VOLUMES OF SOIL AND RATES OF COMPOST	1142-1158

Njoku Joachim IkpeohaKakie	EFFECT OF ADOPTION OF IMPROVED PIG PRODUCTION TECHNOLOGIES ON HOUSEHOLDS' FOOD SECURITY OF FARMERS IN ABIA STATE NIGERIA	1159-1176
Njoku Joachim Ikpeoha Kakie Ukpai Kalu	CLIMATE-SMART TECHNOLOGIES USE AMONG SMALLHOLDER GOAT FARMERS IN IMO STATE, NIGERIA	1177-1188
Adio, M. O. Oloniyo, R. B. Abdulaleem, M. A. Olayanju, E. K. Olayanju, J. T. Jatto, N. A. Ogunkunle, A. A. Ayeni, M. D. Omoboyejo, O. O. Ajibola, S. O.	EFFECTS OF FARMING INNOVATIONS ON THE INCOME OF SMALLHOLDER FARMERS IN EKITI STATE	1189-1204
Atsehe Iorlumun Innocent	INFLUENCE OF DIFFERENT PLANT SPACING ON INSECT PESTS INFESTATION AND YIELD OF AMARANTHUS HABRIDUS IN MAKURDI, NIGERIA	1205-1214
Sezgin Güven SARI Celal ÖZTÜRK	A MULTI-GAME PLAYABILITY GRAPH REPRESENTATION AND EDGE-VERIFIABLE LEVEL GENERATION	1215-1222
Muharrem BALCI Ahmet ALKAN	MODULE-IOT: DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MODULAR AND WIRELESS STEM EDUCATION KIT TO INCREASE ACCESS TO EDUCATION IN DISADVANTAGED AREAS	1223-1235
Muharrem BALCI Ahmet ALKAN	CLASSIFICATION OF RETINAL DISEASES BY COMPARING EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED MODERN DEEP LEARNING ARCHITECTURES	1236-1250
Barış Görkem ASLAN Murat AKSOY	CONTACT VOLTAGE DETECTION IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH FAULT EXAMPLES AND SENSING SIMULATION	1251-1257
Güven NERGİZ K. Turgut GÜRSEL	WIND FARM LAYOUT OPTIMIZATION APPROACH BASED ON WAKE FIELDS AND MACHINE LEARNING	1258-1269

Hasan BATAR	THE POLITICAL ECONOMY OF LIKES: YOUTH SOCIAL MEDIA USE AND THE COMMODIFICATION OF FREE CONTENT PRODUCTION	1270-1271
Yunus ŞAHBAZ	COALITION POLITICS WITHOUT COALITION GOVERNMENT: THE EMERGENCE OF COALITIONAL PRESIDENTIALISM IN TURKEY	1272-1276
Seçil KAYA Sezai ÇAĞLAYAN	INTERNATIONAL LAW EDUCATION IN TÜRKİYE: ONE DISCIPLINE, TWO APPROACHES	1277-1278
Mesut ERTANHAN	LITIGATION FOR THE ANNULMENT OF AN OBJECTION IN ENFORCEMENT LAW AND ITS LEGAL NATURE	1279-1291
Süleyman AKKAYA	THE CIVIL AND CRIMINAL LIABILITY OF EXPERT WITNESSES: AN EXAMINATION UNDER LAW NO. 6754, THE CODE OF CIVIL PROCEDURE AND THE TURKISH PENAL CODE	1292-1298
Şevval FURUNCU Kemal Cem BAYKAL	PRINCIPLES REGULATING COMMERCIAL COMMUNICATION WITHIN THE FRAMEWORK OF LAW NO. 6112 AND VIOLATIONS OF THESE PRINCIPLES	1299-1300
İnanç ALİKILIÇ	CULTURAL DISTANCE AND INTERNATIONAL NEWS FLOW: A RESEARCH DESIGN AND PRELIMINARY FINDINGS ON THE CASE OF Türkiye USING GDELT EVENT DATA	1301-1302
İrem Ayşe ÖZPAMUK Esra KESKİN ÇAKMAK	THE ROLE OF TAX POLICIES IN ACHIEVING ECONOMIC STABILITY: AN ASSESSMENT WITHIN THE FRAMEWORK OF ECONOMIC SCHOOLS OF THOUGHT	1303-1304
Ece Büşra İŞLER	EXAMINING ACADEMIC PROMOTION PROCESSES IN THE CONTEXT OF GENDER IN THE FIELD OF MANAGEMENT AND ORGANIZATION IN TÜRKİYE	1305-1311

Yağmur KIVRAK Serkan YILMAZSÖNMEZ Seda AYGÜL	EFFECT OF SOLVENT CARBON CHAIN LENGTH ON DRYING AND FILM PERFORMANCE IN ALKYD SYSTEMS	1312-1313
Sümeyra İBİŞ Onur KÖFTECİ Durmuş DARAKLI	COMPARATIVE ANALYSIS OF ANTI-CONDENSATION COATING TYPES AND THEIR APPLICATIONS IN INDUSTRIAL REFRIGERATION SYSTEMS	1314-1315
Melis Buse BULUT Onur Can BODUR Halit ARSLAN Fatma ARSLAN	DESIGN OF A PALLADIUM NANOPARTICLE-BASED AMPEROMETRIC BIOSENSOR FOR L-PHENYLALANINE DETERMINATION TOWARDS THE DIAGNOSIS OF PHENYLKETONURIA	1316-1317
İsmail İPEK Sercan YAZ Öner GÜNDÜZ Rıza ATAV	INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ALTERNATIVE CHEMICAL SYSTEMS ON COLOUR STRIPPING PERFORMANCE AND FABRIC DAMAGE IN SULPHUR-DYED DENIM FABRICS	1318-1326
Çağla SÜLÜN Uğur KARAASLAN	EFFECT OF HEXAGONAL BORON NITRIDE ON TRIBOLOGICAL PERFORMANCE IN LITHIUM COMPLEX GREASES	1327-1333
Melisa ŞAHINDOKUYUCU ALIÇ Ersin GÜLER	OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY PRACTICES IN THE PHARMACEUTICAL AND CHEMICAL INDUSTRY: RISK MANAGEMENT IN CHEMISTRY LABORATORIES AND FACILITY-WIDE	1334
Muhammad Safyan	HOW PAKISTAN FRAMES CLIMATE CHANGE: A DIACHRONIC CORPUS-ASSISTED ECOLINGUISTIC STUDY OF OFFICIAL GOVERNMENT ECONOMIC DISCOURSE (2011–2026)	1335
Elena Mărgineanu	MICRO- AND MACROECONOMIC IMPLICATIONS OF ADOPTING AN EMISSIONS TRADING SYSTEM (ETS) IN DEVELOPING COUNTRIES	1336-1343
Nguyen Thi Phuong Anh Le Phuong Vy Vo Thi Ngoc Khue Nguyen Thi Kieu Ly Vo Kha Anh Nhi	ASSESSING THE IMPACT OF BRAND AWARENESS ON BRAND ASSOCIATIONS OF OCOP PRODUCTS AT CANTHO ECO RESORT	1344

Thanh-Phuc TRAN Nam-Khang Tri NGUYEN	CUSTOMER TOUCHPOINTS AND CUSTOMER EXPERIENCE: A STATE-OF-THE-ART STUDY OF DOMESTIC TOURISTS IN THE HOTEL SECTOR OF CAN THO CITY	1345-1352
Yen-Nha Thi NGUYEN Dai-Trang Thi PHAM My-Thao TRAN Tram-Ngoc Thi PHAM Y-Huynh LE Nam-Khang Tri NGUYEN	ANALYSIS OF TOURISTS' EXPERIENCES OF ECOTOURISM AT TRA SU MELALEUCA FOREST, AN GIANG PROVINCE	1353-1368
Dang VINH Phan Thi YEN	ASSESSING LOCAL READINESS TO ATTRACT FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN THE DIGITAL ECONOMY: THE CASE OF DA NANG, VIETNAM	1369-1386
Tran Thanh Nguyen Nguyen Thi Nhu Huynh Nguyen Nhat Nhu Quynh Thai Nguyen Tue Ngan Chiem Hue Man Ho Le Thu Trang	THE IMPACT OF TOURISM HUMAN RESOURCE TRAINING SERVICE QUALITY ON TOURISM STUDENTS' INTENTION TO WORK IN THE TOURISM INDUSTRY AT THE SCHOOL OF ECONOMICS, CAN THO UNIVERSITY	1387-1398
Xuan-Mai Thi DAO My-Nhu Thi PHAN My-Huong Thi NGUYEN Mong-Chuc TRAN Phuong-Thao Le VO Truong-Huy HUYNH	ASSESSMENT OF THE CURRENT AVERAGE EXPENDITURE STRUCTURE OF TOURISTS VISITING CAN THO, VIETNAM	1399
Akbar Ali	A GREENER 1,3-DIPOLAR CYCLOADDITION APPROACH FOR THE PEPTOID MODIFICATION CHEMISTRY	1400
Dwadasi Venkata Sushma Chandra Kavirayani Srikanth	SCIENTIFIC IDENTIFICATION OF BLACK PEPPER FOR MEDICINE	1401
Hyo Jeong Lee Youngjoo Na	A STUDY ON DYES AND MORDANTS OF KHAN-GEUM (韓錦), ANCIENT SILK TEXTILES EXCAVATED FROM THE TAKLAMAKAN DESERT	1402
Rashna Mirza Asim Ur Rehman Aqeedat Javed Salman Khan Naveed Ahmed Naz Dilawar Weisheng Guo Kifayat Ullah Shah	BIOGENIC HYBRID NANOPARTICLES OF GEMCITABINE AND IRON OXIDE FOR THE TREATMENT OF COLORECTAL CANCER AND ASSOCIATED ANEMIA	1403-1404

A.O. Ebune N.M. Bello I.G. Osigbemhe A.U. Atumeyi K.B. Ahamad M. Raji W.O. Anthony S.A. Audu	ANTITUBERCULAR ACTIVITY OF BIOPOLYMER CONJUGATES OF ACID HYDRAZIDES AND N-PROTECTED PARA AMINOBENZOIC ACID: MECHANISTIC INSIGHTS FROM MOLECULAR DOCKING AND IN VITRO SUSCEPTIBILITY TESTING	1405-1417
Shubham Sharma Fowad Khurshid	EVALUATION OF ANTIFUNGAL ACTIVITY OF MELALEUCA ALTERNIFOLIA AND CURCUMA LONGA OILS AGAINST CANDIDA ALBICANS	1418
Jyoti Dattatray Anap Vaishnavi Dnyandeo Charmal	STRUCTURE–ACTIVITY RELATIONSHIP (SAR) OF QUINOLINE DERIVATIVES AS POTENTIAL ANTICANCER AGENTS	1419
HarunaAbubakar Danyaya Ismail Abdullahi Abdulrashid Yusuf	PHYTOCHEMICALS SCREENING AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF AQUEOUS LEAVES EXTRACT OF Hura crepitans (SANDBOX)	1420-1439
AMUSA, Taofeeq Ade NWANKWO, Ezekiel Ndubuisi	GENDER DIFFERENTIALS OF THE EFFECTS OF STONE QUARRYING ACTIVITIES ON LIVELIHOOD AND COPING CAPACITY OF FARMERS IN EBONYI STATE, NIGERIA	1440
Kusum Rani Anju Thapa Ankita Sharma	GREEN TRANSPORTATION SOLUTIONS AND URBAN LIVEABILITY: A LITERATURE REVIEW	1441
Zahraa Ali Hashim Abdul Hamid bin Eid Al-Moussawi	RUSSIA'S ENERGY STRATEGY AND RUSSIA–CHINA RELATIONS: STRATEGIC DIMENSIONS, GEOPOLITICAL IMPLICATIONS, AND FUTURE PROSPECTS	1442-1456
Hassan Attahiru Gwandu	FROM GEOPOLITICAL COMPETITION TO STRATEGIC UNCERTAINTY: REGIONAL CONFLICT AND THE CHANGING SECURITY CHOICES OF SECONDARY POWERS IN THE MIDDLE EAST	1457-1477
Ruslan Valieiev	ENHANCING DISTANCE LEARNING FOR POLICE OFFICERS THROUGH THE FLIPPED CLASSROOM MODEL AND INTERACTIVE LEARNING RESOURCES	1478

Federal University Lokoja	CHILD TRAFFICKING IN NORTH-CENTRAL NIGERIA: EXAMINING ITS SOCIOECONOMIC AND SOCIOCULTURAL DRIVERS, TRAFFICKING DYNAMICS, AND ANTI-TRAFFICKING INTERVENTIONS, 2015–2026	1479-1490
Anuja Misra Akriti Gupta Anwesha Ghosh	ENVIRONMENTALLY SOUND TECHNOLOGIES AND THE TRIPS BIND: RETHINKING IPR FLEXIBILITIES FOR CLIMATE TECHNOLOGY TRANSFER IN THE GLOBAL SOUTH	1491
Arjan Tushaj Esmeraldo Xhakolli Valentina Sinaj	THE PROPENSITY OF GOVERNMENT SPENDING COMPOSITION DURING ELECTORAL CYCLES IN ALBANIA	1492-1499
Amit Kumar Singh Mr. Mukesh Kumar Utkarsh Kumar Singh	ENTRY FILTERS OR PRICE DISCOVERY? EVIDENCE FROM INDIA'S SME IPO REFORM	1500
Irina BALINA	ADAPTING ECONOMIC THEORY TO THE NEW REALITIES OF THE DIGITAL ECONOMY	1501-1504
Lovleen Gupta Sweta Kumari	A BIBLIOMETRIC MAPPING OF STOCK MARKET RESEARCH ON INDIA AND SOUTH AFRICA	1505
Aditya Vikram Utkarsh Kumar Singh	TRENDS AND FUTURE DIRECTIONS IN KNOWLEDGE MANAGEMENT: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS	1506
Wahiba Henniche Chahd Algahtane	THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON AUDIT QUALITY: AN APPLIED STUDY ON THE GENERAL COURT OF AUDIT IN KSA	1507
Sandeep Kumar Goel Shahad Alqhtani	A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF FINANCIAL LITERACY AMONG YOUNG ADULTS AND MILLENNIALS	1508
Anil Kumar	EARNINGS MANAGEMENT, FIRM FINANCIAL PERFORMANCE AND CORPORATE GOVERNANCE: A REVIEW OF EVIDENCE FROM INDIAN LISTED COMPANIES	1509

Abdul Latif Hungoro	ASSESSING THE QUALITY OF MATERIALITY ASSESSMENT DISCLOSURES IN SUSTAINABILITY REPORTS OF SEAPORT TERMINAL OPERATORS	1510
Ahlem CHEBEL	ENHANCING URBAN PHOTOVOLTAIC ENERGY RESILIENCE THROUGH AN AUTONOMOUS DUAL-AXIS SOLAR TRACKING SYSTEM: DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION UNDER CLIMATE CHANGE-INDUCED POWER OUTAGES	1511
Sonakhanim SALİMOVA Bunyad KAZYMOV	EFFECT OF WELLBORE VOLUME ON THE DEVELOPMENT PERFORMANCE OF A DEEP-LYING GAS-CONDENSATE RESERVOIR	1512-1520
Muzamal Hussain	COMPATIBILIZATION WITH RAPID EVALUATION OF DENSITY VARIATION FOR VIBRATING HONEYCOMB SANDWICH STRUCTURES: HIGH STRENGTH AND EXCELLENT PERFORMANCE OF CNTS	1521
Nafis AHMAD	SELF-FOCUSING OF INTENSE LASER BEAMS IN PLASMAS	1522
Mohd Shkir	MICROWAVE-ASSISTED SYNTHESIS OF PURE AND NI-DOPED PBI2 NANOSTRUCTURES AND THEIR CHARACTERIZATION	1523
Shumaila Naz	SANDY SHORE	1524
M. Oudahman M. Houmad R. Masrour A. Rezzouk	EFFECT OF BIAXIAL STRAIN ON THE ELECTRONIC AND OPTICAL PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL MATERIAL T-GEC: A DFT STUDY	1525
Mohamed EL MORSY Laila AFIA	PFAS IN WASTEWATER TREATMENT: OCCURRENCE, FATE AND REMOVAL	1526
Mr. Chetan Sunil Kumar Vijay kumar Manik Basu	BINDER-FREE HYDROTHERMALLY SYNTHESIZED $ZnMn_2O_4$ ON NICKEL FOAM FOR SUPERCAPACITOR APPLICATION	1527

Sorina Corman	BETWEEN ABANDONMENT AND CARE: GERIATRIC REHABILITATION EXPERIENCES OF INSTITUTIONALIZED OLDER ADULTS IN ROMANIA	1528
Ananda Majumdar	EVOLVING KINSHIP AND COMMUNITY DYNAMICS IN INDO-ASIAN SOCIETIES: AN ANALYTICAL STUDY OF FAMILY RELATIONSHIPS AND CARE PRACTICES	1529
Ananda Majumdar	CROSSING BORDERS, SHIFTING NORMS: RURAL-URBAN MIGRATION AND THE TRANSFORMATION OF GENDER ORDER IN THE CONTEXT OF GLOBAL URBANIZATION, 1940–1970	1530
Valentina MARINESCU Ramona MARINACHE	ON FREEDOM OF MOVEMENT	1531
Ramona MARINACHE Valentina MARINESCU	SOCIAL ACCELERATION & THE END OF AUTOMOBILITY	1532
Major Gheorghe GIURGIU Manole COJOCARU	THE ASSOCIATION BETWEEN THE CUTANEOUS MICROBIOME AND HIDRADENITIS SUPPURATIVA	1533
Sheetal Vinay Jadhav	FIBROADENOMA OF THE BREAST: MOLECULAR MECHANISMS, BIOMARKERS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AND EMERGING PRECISION MEDICINE	1534
Ilochi N. Ogadinma	NEUROPROTECTIVE TENDENCY OF ALLIUM CEPA IN HEAVY METAL-INDUCED TOXICITY IN WISTAR RATS	1535
Oyepata Simeon Joseph	UNDERSTANDING THE AFRICA 'VIRO-ALLERGY' PHENOMENON IN IMMUNOLOGY: ANALYSING INCIDENCE AND MORTALITY CASES OF COVID -19 PANDEMIC ACROSS THE GLOBE	1536
Akhtar Ali	NAVIGATING THE TRI-FRAMEWORK LANDSCAPE: A LONGITUDINAL ANALYSIS OF GRI, TCFD, AND ESRS IN THE TOP FIVE EUROPEAN FIRMS	1537

Agata Pierscieniak	MODERN ORGANIZATIONAL WISDOM: A MODEL OF KNOWLEDGE TRANSFORMATION INTO SUCCESSFUL ACTION	1538
Nguyen Thi Hong Phuoc	DEVELOPING THE INTERNATIONAL FINANCIAL CENTER IN HO CHI MINH CITY UNDER THE ORIENTATIONS OF THE 2026 URBAN DEVELOPMENT LAW	1539-1540
Ikwuoma Sunday Udochukwu Saheed Ayinla OGUNDARE	CLIMATE CHANGE, BANDITRY AND FOOD SECURITY IN NIGERIA: ASSESSING THE INTERCONNECTED DRIVERS OF AGRICULTURAL VULNERABILITY AND RURAL INSECURITY	1541-1552
K.R.Padma K.R.Don	THE EFFECT OF DIGITAL ECONOMY ON HIGH-QUALITY DEVELOPMENT OF ECONOMIC GROWTH AND INDUSTRIAL RESTRUCTURING: POST-COVID-19 STRATEGIES	1553
Philemon Paul Wambani Hamidu Umar Amos Samuel Sule Hussaini Abubakar	ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) AND SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT IN NIGERIA	1554-1559
Bhavana Bhardwaj Anurag Shakya	ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE TRANSFORMATION OF HUMAN RESOURCE MANAGEMENT WITH REFERENCE TO THE IT COMPANIES IN UTTAR PRADESH	1560-1561
Bailey Saleh Albert Bailey Saleh	EMPIRICAL ANALYSIS OF MARKETED NATURAL GAS PRODUCTION OF AFRICAN COUNTRIES, 2020-2025	1562-1571

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

SaHELİS YAPILI KUANTUM NOKTASINDA FARKLI ELEKTRİK ALAN YÖNELİMLERİ ALTINDA ENERJİ SEVİYELERİ VE ELEKTRON YOĞUNLUĞU DAĞILIMININ İNCELENMESİ

Dima BIRKDAR
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Physics, Sivas Cumhuriyet University
ORCID: 0009-0000-3585-3941

Doç. Dr. Emre Bahadir AL
Faculty of Science, Physics Department, Sivas Cumhuriyet University
ORCID: 0000-0003-4435-2879

ÖZET
Bu çalışmada, GaAs/AlGaAs tabanlı helis yapılı bir kuantum noktasının elektronik özellikleri üzerine farklı doğrultularda uygulanan harici elektrik alanın etkileri teorik olarak incelenmiştir. Helisel geometrinin sahip olduğu eğrilik, burulma ve kiral yapı özelliklerinin, elektrik alan ile etkileşim sonucunda elektronun enerji seviyeleri ve uzaysal lokalizasyonu üzerinde yön bağımlı değişimlere neden olabileceği dikkate alınmıştır. Hesaplamalarda tek bant etkin kütle yaklaşımı kullanılmış ve Schrödinger denklemi Sonlu Elemanlar Yöntemi aracılığıyla COMSOL Multiphysics yazılımı kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. İncelenen helis yapılı kuantum noktasında helis dönüş sayısı 3, helis yüksekliği 10 nm, helis dış yarıçapı 10 nm ve helis kesitsel yarıçapı 3 nm olarak alınmıştır. Elektrik alanın helis eksenine paralel eksenel, yatay ve eksene dik radyal doğrultularda uygulanması durumlarında ilk enerji seviyeleri ile taban durum elektron olasılık yoğunluklarının elektrik alan şiddetine bağlı değişimleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Eksenel doğrultuda uygulanan elektrik alan altında özellikle düşük enerji seviyelerinin yaklaşık parabolik bir değişim gösterdiği ve ikinci dereceden (kuadratik) Stark etkisinin baskın olduğu belirlenmiştir. Elektrik alanın yönü değiştirildiğinde taban durum elektron olasılık yoğunluğunun helisin bir ucundan diğer ucuna doğru sürekli ve kontrollü biçimde kaydığı, ancak elektronun her durumda helisel geometriyi takip ettiği görülmüştür. Yatay doğrultuda uygulanan elektrik alanın ise enerji seviyeleri üzerinde daha karmaşık ve seviyeye bağlı bir etki oluşturduğu belirlenmiştir. Bazı elektronik durumlarda belirgin yön bağımlı enerji değişimleri gözlenirken, elektrik alan uygulanmasıyla başlangıçta çakışık olan bazı enerji seviyelerindeki dejenereliğin kaldırıldığı ve seviyeler arasındaki enerji farklarının değiştiği görülmüştür. Buna karşılık eksene dik radyal elektrik alan altında enerji seviyelerinin yaklaşık doğrusal ve birbirine paralel biçimde değiştiği, enerji seviyeleri arasındaki farkların büyük ölçüde korunduğu ve bazı dejenereliklerin elektrik alan boyunca devam ettiği belirlenmiştir. Bu durumda güçlü geometrik kuantum sınırlanması nedeniyle taban durum elektron olasılık yoğunluğunun helisin orta bölgesinde lokalizasyon karakterini büyük ölçüde koruduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, elektrik alan yönünün helis yapılı kuantum noktalarının elektronik enerji spektrumu, Stark kaymaları ve elektron lokalizasyonu üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Bu bulgular, helis yapılı kuantum noktalarının elektronik özelliklerinin harici elektrik alan aracılığıyla kontrollü biçimde ayarlanabileceğini ve söz konusu yapıların ayarlanabilir kuantum aygıtları, elektro-optik modülatörler, kuantum bilgi işleme bileşenleri ve nanoelektronik uygulamalar açısından potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: Kuantum noktaları, elektrik alan, helis yapı.

INVESTIGATION OF ENERGY LEVELS AND ELECTRON DENSITY DISTRIBUTIONS UNDER DIFFERENT ELECTRIC FIELD ORIENTATIONS IN A HELICAL QUANTUM DOT

ABSTRACT
This study theoretically investigates the effects of externally applied electric fields in different directions on the electronic properties of a GaAs/AlGaAs-based helical quantum dot. It is considered that the curvature, torsional, and chiral properties of the helical geometry can cause direction-dependent changes in the energy levels and spatial localization of the electron as a result of interaction with the electric field. The single-band effective mass approximation is used in the calculations, and the Schrödinger equation is solved numerically using the Finite Element Method with COMSOL Multiphysics software. In the helical quantum dot under investigation, the helix spin number is taken as 3, the helix height as 10 nm, the helix outer radius as 10 nm, and the helix cross-sectional radius as 3 nm. The changes in the initial energy levels and ground-state electron probability densities as a function of the electric field strength are comparatively evaluated when the electric field is applied in axial, lateral, and radial directions perpendicular to the helix axis. It has been determined that under an electric field applied in the axial direction, particularly the low energy levels exhibit an approximately parabolic change, and the quadratic Stark effect is dominant. When the direction of the electric field is changed, the ground-state electron probability density shifts continuously and controllably from one end of the helix to the other, but the electron always follows the helical geometry. It has been determined that an electric field applied in the lateral direction has a more complex and level-dependent effect on the energy levels. While significant direction-dependent energy changes are observed in some electronic states, it has been observed that the degeneracy in some initially coincident energy levels is removed with the application of the electric field, and the energy differences between the levels change. In contrast, under a radial electric field perpendicular to the axis, the energy levels change approximately linearly and parallel to each other, the differences between the energy levels are largely conserved, and some degeneracies persist along the electric field. In this case, due to strong geometric quantum confinement, the ground-state electron probability density largely retains its localization character in the middle region of the helix. The results show that the direction of the electric field plays a decisive role in the electronic energy spectrum, Stark shifts, and electron localization of helical quantum dots. These findings suggest that the electronic properties of helical quantum dots can be controlled and tuned via an external electric field, and that these structures have potential for tunable quantum devices, electro-optical modulators, quantum information processing components, and nanoelectronic applications.
Keywords: Quantum dots, electric field, helical structure.

1. INTRODUCTION
Low-dimensional semiconductor nanostructures exhibit significantly different electronic and optical properties from classical systems as a result of the confinement of carriers in one or more dimensions according to the rules of quantum mechanics [1]. Among these structures, quantum dots (QDs) are zero-dimensional (0D) nanostructures in which electrons and holes are quantum confined in three dimensions, and are often called "artificial atoms" because they have atom-like discrete energy levels [2]. The fact that their dimensions are on the order of magnitude comparable to the Bohr radius makes it possible to control the energy levels through the geometric dimensions and material properties of the nanostructure.

Thanks to this tunable electronic structure, QDs have become an important research topic in numerous advanced technology applications such as single-photon sources, quantum computing systems, lasers, photodetectors, bioimaging technologies, and high-efficiency solar cells [3].

Advances in nanofabrication techniques, particularly molecular beam epitaxy (MBE), metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD), and high-resolution lithography, have made it possible to produce not only conventional spherical, cylindrical, or pyramidal QDs but also chiral nanostructures with complex three-dimensional geometries [4–6]. Among these structures, QDs with helical geometry differ significantly from classical QD geometries due to their geometric properties such as curvature and torsion. Quantum carriers confined along a curved space are subjected not only to external potentials but also to an effective geometric potential arising from the geometry of the structure. This geometric potential can significantly affect the energy spectrum of electrons, the spatial localization of wave functions, and quantum transition probabilities. Furthermore, the chiral character and direction-dependent symmetry of the helical structure cause the carrier motion to exhibit anisotropic behavior, allowing electronic and optical properties to be controlled through geometric parameters. Therefore, helical QDs have become important research topics in recent years for understanding quantum transport mechanisms, investigating chirality-dependent electronic behavior, and designing devices for next-generation nanoelectronics, spintronics, and quantum information technologies.

One of the most important properties of semiconductor QDs is that their electronic and optical behavior can be effectively controlled through external fields [7–9]. In this context, the external electric field is one of the most commonly used external exciters in quantum confined systems, causing Stark shifts in energy levels, rearrangements in the spatial distribution of wave functions, and significant changes in optical transition probabilities by changing the potential energy of the carriers [8]. This phenomenon, known as the Quantum-Confined Stark Effect (QCSE), plays a fundamental role in the operation of many devices such as QD-based lasers, electro-optical modulators, photodetectors, and single-photon sources [10–12]. These changes caused by the electric field depend not only on the field strength but also on the interaction between the direction in which the field is applied and the geometry of the quantum structure. In nanostructures with particularly asymmetric or curvilinear geometries, the direction of the electric field can significantly alter the localization of the electron, its energy eigenvalues, and the spatial character of its wave functions by disrupting the symmetry of the system in different ways [13]. This makes understanding the relationship between geometric constraint and electric field orientation important for the controlled regulation of quantum states through external fields and the development of direction-dependent nanoelectronic devices. This direction dependence is even more pronounced in helical QDs. The rotational symmetry, curvature, and torsional properties of helical geometry cause electric fields applied in different directions to change the effective potential of the electron in different ways. Therefore, electric fields applied in the axial, transverse, and lateral directions parallel to the helix axis are expected to have different effects on the energy spectrum, wave functions, and probability density of the electron. Changes in the symmetry of quantum states depending on the direction of the electric field can significantly affect Stark shifts in energy levels, energy separations between states, and carrier localization. The elucidation of this aspect-dependent behavior not only contributes to understanding the fundamental physical properties of quantum carriers, but also offers significant advantages to the design of direction-selective nanoelectronics and quantum devices that can be controlled by electric fields.

A detailed investigation of the anisotropic behavior caused by the combination of geometric potentials resulting from helical geometry and electric field-induced potentials is important both from the perspective of fundamental quantum mechanics and for the development of next-generation nanoelectronic and quantum devices with direction-dependent electronic properties. Therefore, a comparative study of the effects of electric fields applied in different directions on electron energy levels and probabilities in helical QDs can contribute to filling this gap in the existing literature.

2. THEORETICAL MODEL AND COMPUTATIONAL METHOD

In this study, the fundamental electronic structure of the helical GaAs/AlGaAs QD shown in Figure 1 under the influence of an electric field is investigated using the single-band effective mass approximation and the Finite Element Method (FEM). QDs are low-dimensional semiconductor systems in which discrete energy levels are formed as a result of electrons being confined in three-dimensional space. In these systems, the quantum confinement effect is the fundamental mechanism that determines the energy spectrum of electrons and the spatial distribution of wave functions. Helical QDs, however, exhibit different electronic properties from conventional spherical or cylindrical QDs due to their geometric asymmetry. The structural confinement created by the helical geometry affects the electron's motion, causing changes in the fundamental energy levels.

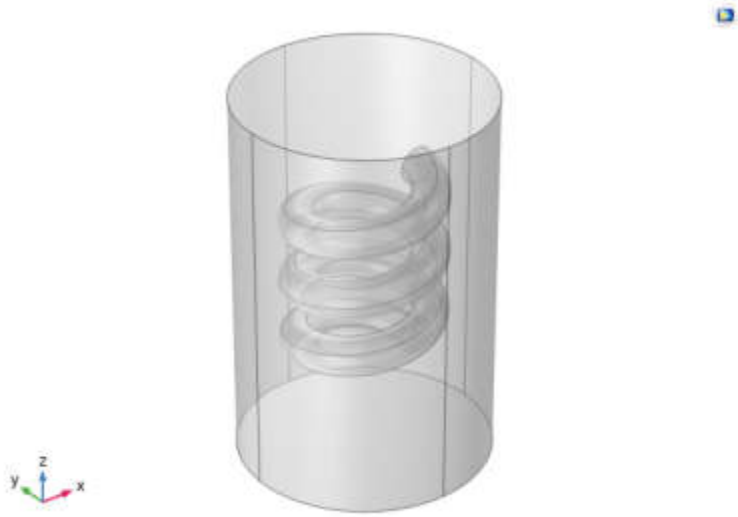


Figure 1. 3D view of the structure under investigation. It is assumed that the helix is GaAs and the outer cylinder is AlGaAs.

The helical QD discussed in the study is modeled as a semiconductor heterostructure consisting of a GaAs well region and an AlGaAs barrier region. The electron's motion in the QD is described by the effective mass approximation, in which crystal lattice effects are included in the effective mass. In the effective mass approximation, the Hamiltonian is expressed as [2]:

$$\mathrm{H} = -\frac{\hbar^2}{2m^*}\nabla^2 + V(r), \qquad (1)$$

where, $\hbar$ is the reduced Planck constant, m^* is the effective mass value of the electron, ∇^2 is the Laplace operator, and $V(r)$ is the total potential. The total potential consists of two components:

$$V(r) = V_c(r) + V_F(r), \tag{2}$$

where,

$$V_c(r) = \begin{cases} 0, & inside\ the\ helix \\ V_0, & outside\ the\ helix \end{cases}$$

is the quantum confinement potential arising from the GaAs/AlGaAs structure, and $V_F(r)$ is the potential caused by the applied electric field (F). In this study, the electric field contribution is included in the Hamiltonian to examine the effect of the external electric field on the electron's energy levels. The electric field-induced potential energy term is generally given by [14]

$$V_F = -e\vec{F} \cdot \vec{r}. \tag{3}$$

In this study, the axial, perpendicular, and lateral components of the electric field are considered separately. Accordingly, the components of the electric field vector we will use can be written as:

$$\vec{F} = \begin{cases} F_z\hat{z}, & axial \\ F_x\hat{x}, & horizontal, \\ F_\rho\hat{\rho}, & perpendicular\ to\ the\ axis \end{cases} \tag{4}$$

where, $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ encompasses all directions perpendicular to the z-axis.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, COMSOL Multiphysics software is used to solve the Schrödinger equation, and the problem was solved using the FEM approach. The FEM method is a powerful method that allows for the numerical solution of the Schrödinger equation in nanostructures with complex geometries. In the computational process, a three-dimensional geometric model of the helical QD is first created, and then appropriate material parameters are assigned to the GaAs and AlGaAs regions. The material parameters used in the calculations are as follows: $m^*_{GaAs} = 0.067m_0$, $m^*_{AlGaAs} = 0.092m_0$, $V_0 = 224.46\,meV$ [15–20]. Additionally, the structural parameters are determined as follows: helix turn count 3, helix height 10 nm, helix outer radius 10 nm, and helix cross-sectional radius 3 nm. The electric field effect is added to the model as a potential energy term, and the resulting eigenvalue problem is solved to calculate the energy levels of the electron. Using the obtained results, the effect of electric field strength and direction on the fundamental electronic structure of the helical QD is analyzed.

Figure 2 illustrates the effect of an electric field (F_z) applied along the axial direction on the electronic energy levels of a helical QD, while Figure 3 shows its effect on the ground-state electron probability density. Considering both figures together, it is evident that the electric field significantly alters both the energy spectrum and the electron's spatial distribution along the helix. The most striking feature in Figure 2 is the approximately parabolic behavior exhibited by all energy levels.

While the first five energy levels reach their maximum values near $F = 0\ kV/cm$, the energy values decrease as the electric field magnitude increases in either the positive or negative direction. This behavior indicates the dominance of the second-order (quadratic) Stark effect over the linear Stark effect. The underlying reason for this is the specific symmetry of the helical structure, causing the electric field to induce a second-order rather than a first-order perturbation effect on the energy levels. Another significant observation is the varying sensitivity of the energy levels to the electric field. The ground state (E_1) exhibits the most substantial change; the energy shift induced by the electric field diminishes progressively for higher excited states. The E_6, E_7, and E_8 levels display a local minimum at $F = 0$, rise slightly in the presence of the field, and subsequently slope downward. Conversely, the E_9 level forms a local maximum near $F = 0$; it initially decreases as the electric field increases, then begins to rise again. Such inverted or undulating curves arise from the hybridization of wave functions in the axial field and various band crossings at higher energy levels. This phenomenon is physically quite significant. Since low-energy states are more localized, they are more strongly affected by the potential change induced by the electric field; conversely, in high-energy states, the electron spreads over a larger volume, thereby reducing the average effect of the electric field. The application of an electric field not only shifts energy levels but also alters the energy differences between them. Notably, the energy gaps between lower-lying levels are observed to change significantly under the influence of the electric field. This result indicates that optical transition energies can also be tuned by applying an electric field. The degeneracy present in the E_3-E_4 and E_6-E_7 energy levels in the absence of an electric field is lifted upon the application of an axial electric field, causing these levels to split. Figure 3 clearly illustrates how the electric field modifies the spatial localization of the electron. Under a negative electric field ($F = -20\ kV/cm$), the electron probability density shifts toward the upper part of the helix. Due to the potential gradient created by the electric field, the electron migrates toward the region of minimum potential energy, and the probability density concentrates in a specific section of the helix. In this case, the electron is distinctly localized—that is, concentrated in a single region rather than filling the entire helix—which is a characteristic feature of a low-energy bound state. In the absence of an electric field ($F = 0\ kV/cm$), the system preserves its geometric symmetry. The electron is not confined to a single loop but is distributed across several turns of the helix; this distribution exhibits a symmetric, more balanced, and more delocalized structure. Upon the application of a positive electric field ($F = 20\ kV/cm$), the electron shifts toward the opposite end of the helix. Compared to the negative field case, the electron density moves to the far end and accumulates in the lower section of the helix. Thus, it is clearly evident that by changing the direction of the electric field, the region occupied by the electron is also reversed. This behavior demonstrates that the electric field can effectively control the electron's position. A significant physical result emerges when the three probability distributions are examined together: as the electric field increases, the electron is transported in a controlled manner from one end of the helix to the other. This transport occurs continuously rather than discontinuously. Furthermore, the electron follows the helical geometry in all cases. Consequently, the electron's motion takes place not merely along a linear axis but along the curved structure of the helix. This is one of the fundamental characteristics distinguishing helical QDs from cylindrical or spherical ones. Another noteworthy point is that the helical geometry significantly alters the effect of the electric field compared to conventional QDs. Although the electric field is applied along the linear axis, the electron's motion proceeds along the three-dimensional helical path. Due to the curvature of the helix, the axial potential variation translates into angular motion, thereby leading to a simultaneous rearrangement of energy levels and wave functions.

Therefore, both the quadratic Stark behavior in the energy spectrum and the displacement of electron density along the helix are direct consequences of the helical geometry. These results demonstrate that the electronic and optical properties of helical QDs can be precisely tuned via an external electric field and that these structures hold significant potential for applications such as tunable quantum devices, electro-optic modulators, quantum information processing elements, and nanoscale sensors.

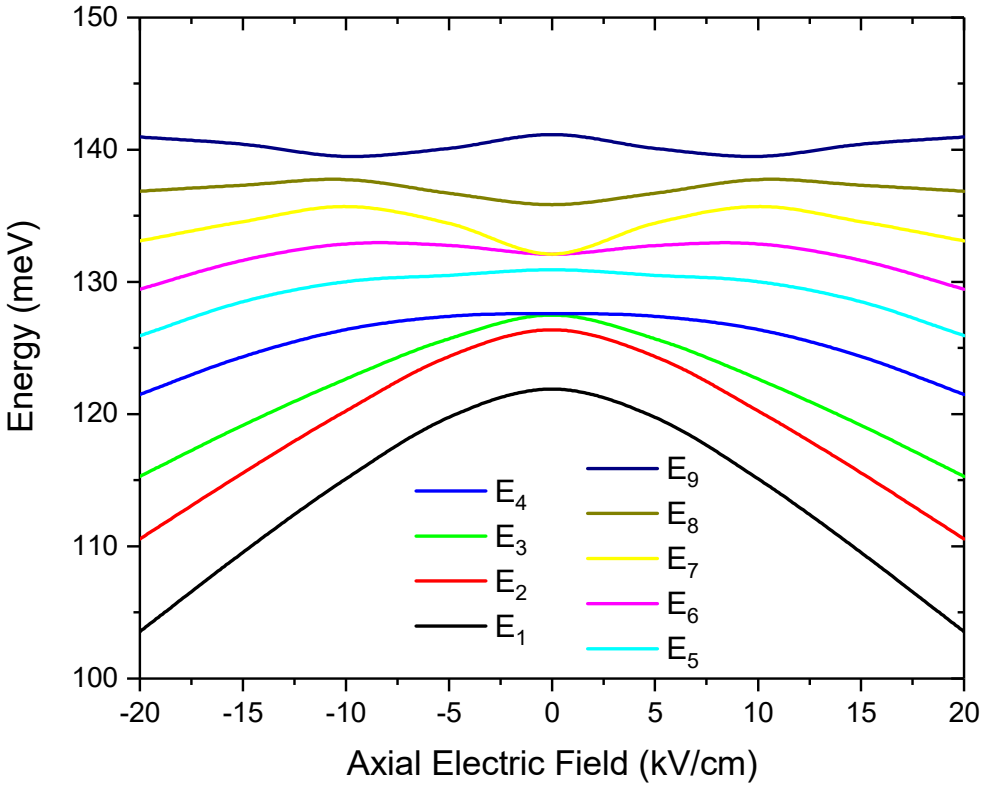
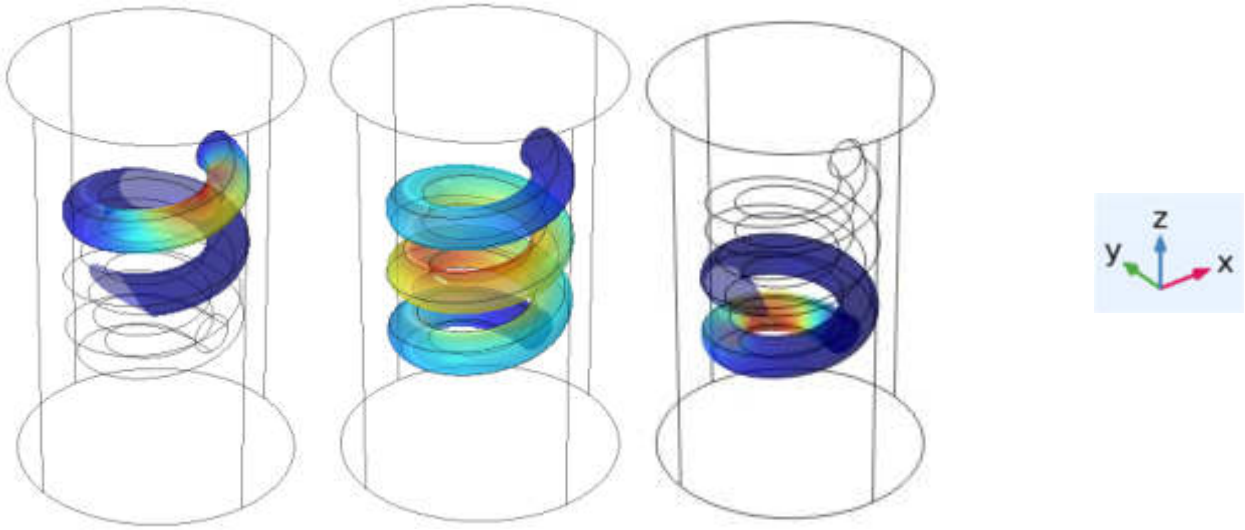


Figure 2. Effect of an electric field applied along the axial direction on the electronic energy levels of a helical QD.



F = -20 kV/cm F = 0 kV/cm F = 20 kV/cm

Figure 3. Effect of an electric field applied along the axial direction on the ground-state electron probability density in a helical QD.

Figure 4 presents the effect of an electric field applied along the x-axis (lateral direction)—ranging from -20 to $+20\ kV/cm$—on the first nine energy levels of a helical QD, while Figure 5 illustrates the spatial distribution of the ground state (E_1) electron probability density. Presenting the energy diagram alongside the wave function distributions facilitates an understanding of the physical origins of the energy variations. A detailed examination of Figure 4 reveals that the response of the energy levels to the electric field depends not merely on the energy magnitude and order, but rather that each quantum state exhibits distinct behavior based on its spatial character. As seen in Figure 4, the lowest energy levels, E_1 and E_2, reach their maximum energy when the electric field is near zero and decrease markedly in both directions as the absolute value of the electric field increases. This behavior indicates the dominance of the quadratic Stark effect at these levels. Such behavior arises because the electron wave functions at low energy levels are more easily rearranged by the electric field. Although E_3 generally exhibits a similar parabolic character, it coincides with E_4 near $F = 0\ kV/cm$, and the two levels are observed to diverge at different rates under the influence of the electric field. Notably, while the variation in the E_3 level is more limited compared to E_1 and E_2, the E_4 level displays a distinct response depending on whether the electric field is positive or negative. In contrast, the E_5 level exhibits a character opposite to that of E_4. The E_5 level generally decreases monotonically from the high negative electric field region toward the low electric field region, exhibits a nearly constant trend in the low electric field region, and decreases monotonically again in the high positive electric field region. Consequently, in the high electric field regions where this decrease occurs, it can be said that a more pronounced linear energy shift—sensitive to the direction of the electric field—is dominant, rather than the quadratic Stark effect. However, it is not possible to speak of uniform behavior at higher energy levels. For instance, the most striking behavior in the energy diagram is observed at the E_6 level. While E_6 reaches its maximum value in the electric field region of $F = -7\ kV/cm$, its energy decreases significantly as the electric field is increased in the positive direction. The sensitivity of the E_6 level to the electric field is not merely due to the high energy level itself; on the contrary, this state appears to be highly sensitive to the direction of the electric field.

This result demonstrates that the simple generalization—that all highly excited states are weakly affected by the electric field—does not hold for this system. This strong direction-dependent variation in E_6 suggests that the corresponding wave function undergoes different forms of rearrangement on the helical geometry depending on the direction of the electric field. While the E_6 and E_7 levels, which are degenerate at $F = 0$, split under the electric field, the energy of one member of the pair tends to increase while the other tends to decrease. In contrast to E_6, the E_7 level exhibits behavior with a maximum at $F = 8\ kV/cm$ and decreases in the negative electric field direction. Meanwhile, the E_8 and E_9 levels show very weak sensitivity to the electric field and exhibit a shallow parabolic variation. The fact that the magnitude of the energy shift is quite small, particularly for E_8 and E_9, indicates that these high-energy states are less affected by the external electric field. Consequently, the transverse electric field can lift the degeneracy of distinct electronic states within the helical structure, thereby controlling the energy ordering of the states and the energy gaps between them. When all energy levels are considered collectively, it is observed that the spectrum does not exhibit perfect symmetry with respect to the sign of the electric field; however, this asymmetry does not manifest with the same intensity across all levels. Thus, the results reveal that the effect of the electric field does not vary in a simple, monotonic fashion based on the magnitude of the energy level; instead, the spatial distribution of each electronic state across the helical geometry is the determining factor. Overall, asymmetry rather than symmetry is observed in the energy levels. There may be several physical reasons for this in helical QDs. Unlike spherical or cylindrical QDs, a helical structure lacks inversion symmetry. A right-handed or left-handed helical geometry is inherently directional. Therefore, an electric field applied in different directions does not shift the electron to geometrically equivalent regions. In other words, even if the sign of the F_x term is reversed upon changing the sign of the electric field, the geometric regions sampled by the electron along the helix may not be exact counterparts of one another. Therefore, the direction-dependent asymmetry observed in the graph—particularly at certain energy levels—can be attributed to the chiral character and spatial confinement inherent in the helical geometry. The three-dimensional ground-state electron probability density shown in Figure 5 clearly illustrates the physical basis for this energy variation. When a negative electric field ($F = -20\ kV/cm$) is applied, the electron density shifts toward the $+x$ direction, where the electric field lowers the potential energy. The wave function becomes localized primarily in the coils on the right side of the helix, and the distribution becomes markedly asymmetric. This localization reduces the electron's potential energy while simultaneously breaking its geometric symmetry. In the absence of an electric field ($F = 0\ kV/cm$), the electron probability density is distributed quite evenly across the entire helix, with the electron positioned roughly in the middle section. In this state, geometric symmetry is preserved, the wave function spreads more uniformly, and the electron's average kinetic energy reaches its maximum. When the electric field reverses direction ($F = 20\ kV/cm$), the electron shifts toward the $-x$ side of the helix. Within the helical structure, the electron's motion under the influence of an electric field cannot be viewed merely as a linear displacement along the x-axis. Unlike straight cylindrical or spherical QDs, the helical geometry constrains the electron's motion to a curved spatial trajectory. Consequently, an electric field applied along the x-direction does not simply shift the electron's equilibrium position along the x-axis; it also reshapes the spatial distribution of the wave function across the different turns of the helix. Since the x, y and z coordinates are geometrically coupled in the helical structure, the electron's displacement in the x-direction simultaneously alters its position along the $y-$ and $z-$axes—and consequently its phase on the helix (i.e., the specific section of the spiral where it is localized).

As a result, the effect of the electric field is not limited to a mere linear Stark shift; the unique topological properties of the helical geometry also induce significant rearrangements in the electron's three-dimensional probability density distribution. Therefore, electric fields applied in the $+x$ and $-x$ directions do not produce distributions that are exact mirror images of each other. When a negative electric field is applied, the electron shifts within the $z = 0$ plane toward the region situated between two adjacent helical coils. Consequently, rather than concentrating on a single coil, the electron probability density is shared between the upper and lower coils, forming a distribution with two lobes. This indicates that the electron can simultaneously bind to two adjacent turns of the helix. Conversely, when a positive electric field is applied, the electron shifts to a position in the $z = 0$ plane directly corresponding to the region where the helical wire itself passes; thus, the electron probability density becomes largely localized on a single coil. The distribution appears more compact and exhibits a distinct single-peak character. Hence, for the two electric field directions, there is a difference not only in the electron's position but also in which coils along the helix it interacts with; consequently, the probability density distributions are not mirror images of one another. These distinct modes of localization constitute a fundamental physical explanation for the direction-dependent behavior observed in the energy levels. Since the kinetic and potential energy contributions differ between a more extended wavefunction shared across two coils and a wavefunction strongly localized on a single coil, the total energy change does not necessarily have to be the same for positive and negative electric field directions. The distinct splitting observed particularly at the E_6 and E_7 levels demonstrates that this spatial rearrangement plays a significant role in the energy characteristics of not only the ground state but also the excited states. Consequently, the new energy diagram reveals that a lateral electric field does not affect the first nine energy levels of the helical QD in a uniform manner. These results indicate that electronic energy levels and electron localization in helical QDs can be precisely tuned via an external electric field, and that these structures hold significant potential for field-controlled quantum devices and optoelectronic applications.

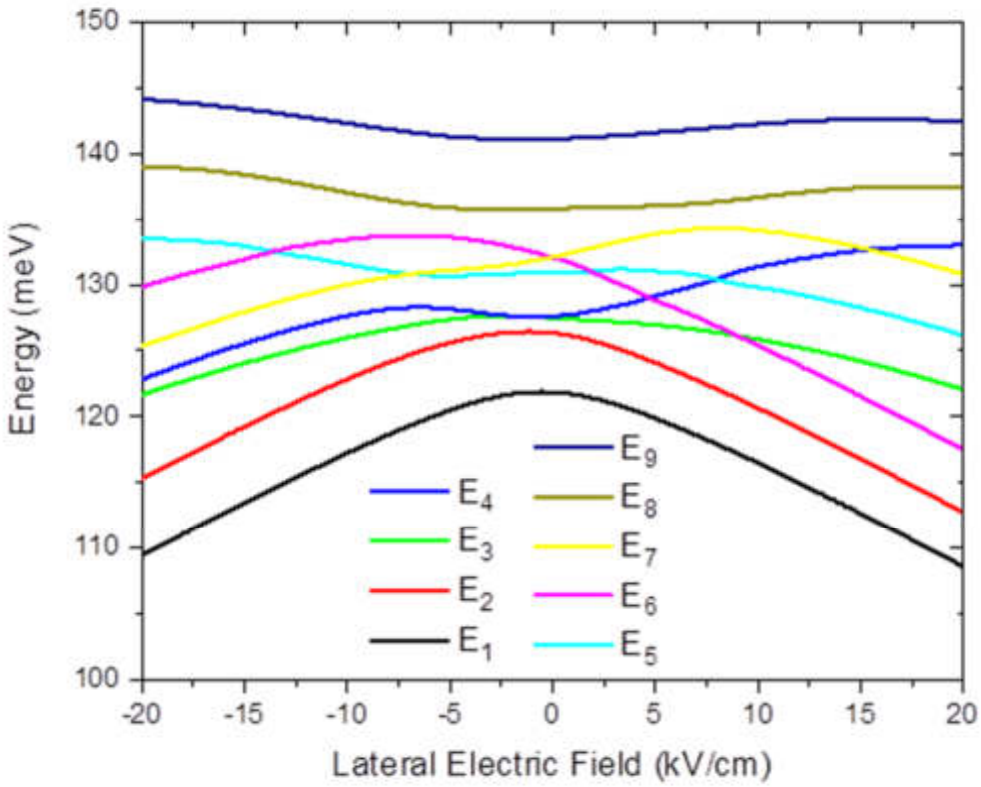
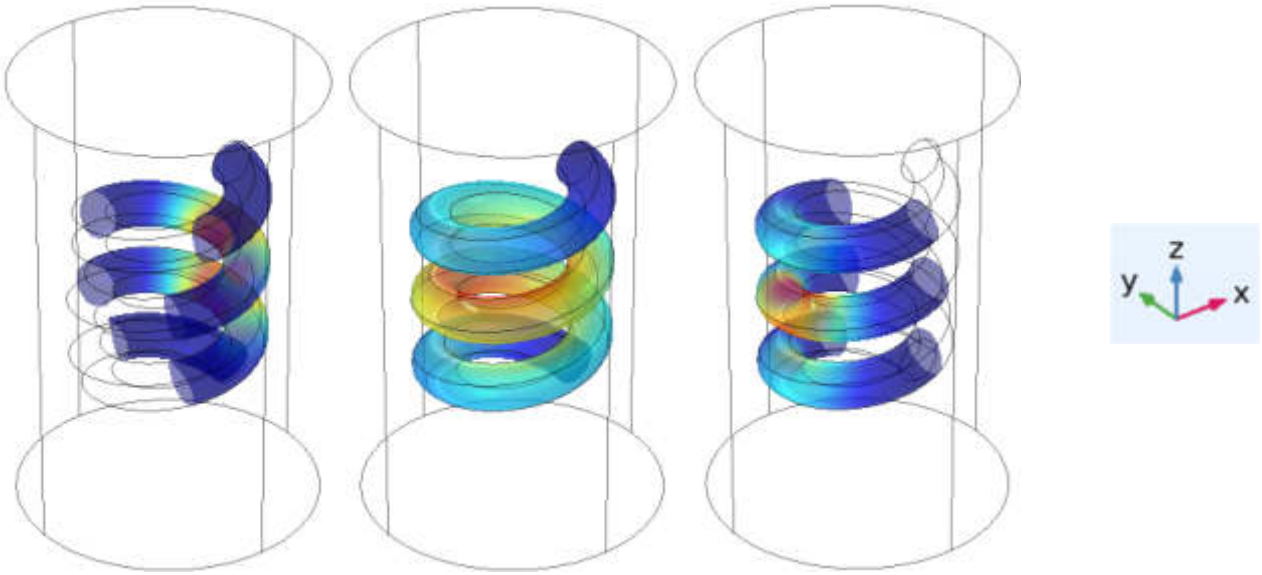


Figure 4. Effect of an electric field applied along the x-direction (lateral) on the first nine energy levels of a helical QD.



F = -20 kV/cm F = 0 kV/cm F = 20 kV/cm

Figure 5. Spatial distribution of the ground-state electron probability density in a helical QD under an electric field applied along the x-direction (lateral).

Figure 6 illustrates the effect of an electric field applied perpendicular to the z-axis (in the ρ-direction) on the first nine energy levels of a helical QD, while Figure 7 shows its effect on the ground-state electron probability density. Unlike in straight cylindrical or spherical QDs, the effect of the electric field here is not limited merely to altering the electron's radial position. Since the electron follows a curved path along the helix, a displacement in the radial direction simultaneously corresponds to different angular positions along the helix; therefore, energy changes and the probability density distribution must be considered together. An examination of the energy diagram in Figure 6 reveals that all energy levels increase approximately linearly with the electric field and that the energy curves are nearly parallel to one another. The energy differences between the levels remain virtually constant. This behavior indicates that the radial electric field does not significantly distort the helical potential but merely shifts the potential energy of all eigenstates by a similar magnitude. In other words, the applied field is not strong enough to eliminate quantum confinement; instead, it induces a Stark shift with approximately the same slope across all eigenenergies. The parallelism of the energy curves further demonstrates that the sensitivity of each eigenstate to the electric field is quite similar. The slopes of the energy levels are very close to one another, and no level crossing or anticrossing occurs within the investigated field range. Another noteworthy feature is that the energy levels E_3 and E_4, as well as E_6 and E_7, remain degenerate (coincident) throughout the entire range of the electric field. The fact that this degeneracy is not lifted despite the application of an electric field indicates that the radial electric field does not induce a symmetry breaking strong enough to couple or mix the relevant eigenstates of the helical structure. In other words, since these eigenstates exhibit the same sensitivity to the electric field, their Stark shifts are equal, and no energy difference arises. Consequently, rather than lifting the degeneracy, the applied radial electric field shifts the coincident levels together—at the same slope—to higher energies. Figure 7 displays the ground-state probability density for $F = -20\ kV/cm$, $F = 0\ kV/cm$, and $F = 20\ kV/cm$, respectively. The first notable observation is that, in all three cases, the electron remains localized within the central region of the helix. Even with the electric field applied, the electron is not observed to transition from one specific coil to another; this is because the geometric quantum confinement along the helix binds the electron strongly. When a negative electric field ($F = -20\ kV/cm$) is applied, the electron—due to its negative charge—moves opposite to the direction of the electric field, shifting toward the outer regions of the helix. As a result, the maximum of the ground-state wavefunction concentrates in regions near the outer radius along the helical coil, and a marked increase in probability density is observed on the coil itself. Conversely, when a positive electric field ($F = 20\ kV/cm$) is applied—with the field directed outward from the center—the electron shifts in the opposite direction, moving toward the central axis of the helix. Consequently, the probability density concentrates in the inner regions of the helix, while the electron density on the coil decreases. In the absence of an electric field ($F = 0\ kV/cm$), the electron probability density exhibits a more balanced and symmetric character, lying between the two distributions observed in the negative and positive electric field cases. Another noteworthy aspect of this structure is that the electron does not move in a linear plane, despite the electric field being applied perpendicular to the z-axis. The electron is not free to move solely in the x or y direction; rather, it is constrained to move along a helical path. Consequently, the radial component of the electric field gives rise to varying potential energies at different angular positions along the helix. While this causes a slight rearrangement of the electron's probability density along the helix, the extent of this redistribution remains limited due to strong geometric confinement. This also explains the highly regular nature of the linear Stark shift observed in the energy levels.

Since the electric field does not induce an asymmetry significant enough to disrupt the helical geometry, the character of the wave functions is preserved, with only the potential energy offset undergoing a change. Ultimately, it is evident that the helical geometry substantially suppresses the influence of the radial electric field, allowing the system's electronic structure to remain remarkably stable across a wide range of field strengths. This characteristic suggests that helical QDs could offer a significant advantage for quantum device applications requiring stable electronic properties in the presence of external electric fields.

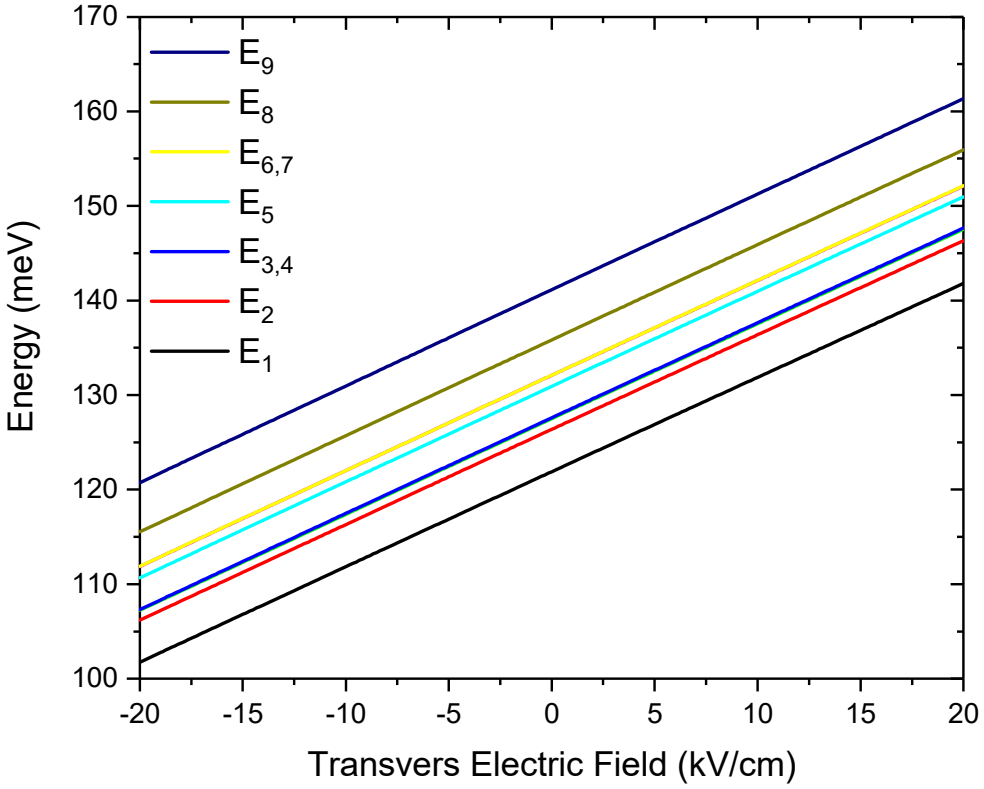
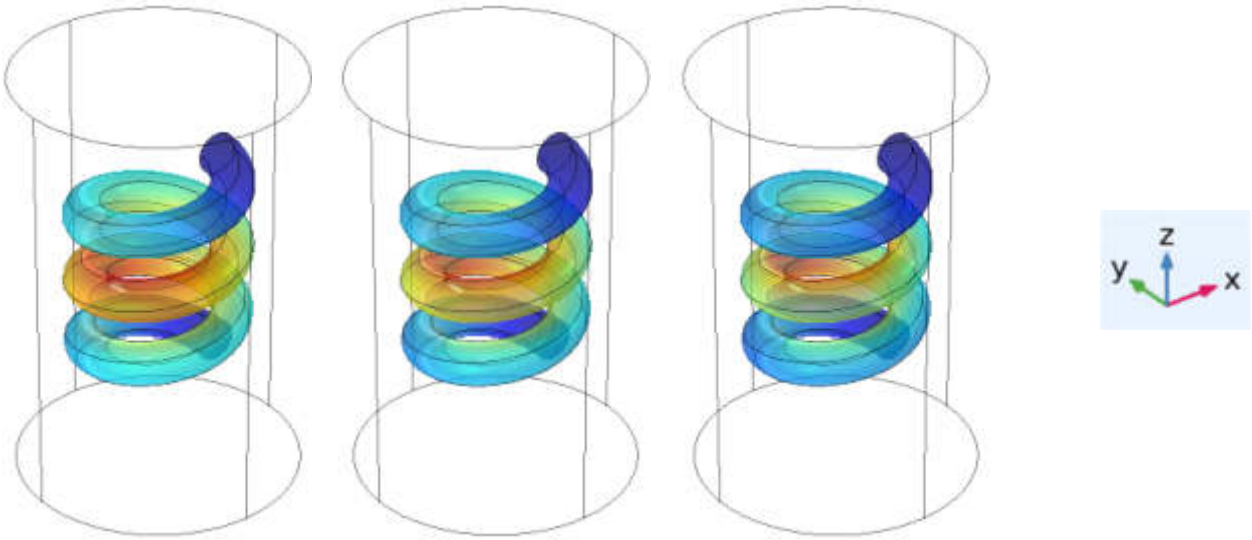


Figure 6. Effect of an electric field applied perpendicular to the z-axis (ρ-direction) on the first nine energy levels of a helical QD.



F = -20 kV/cm F = 0 kV/cm F = 20 kV/cm

Figure 7. Effect of an electric field applied perpendicular to the z-axis (ρ-direction) on the ground-state electron probability density in a helical QD.

4. CONCLUSION

In this study, the electronic properties of a GaAs/AlGaAs-based quantum dot with a helical structure are investigated using the effective mass approximation under external electric fields applied in the axial, lateral, and radial (on the xy plane) directions. The effects of the electric field on both electronic energy levels and the ground-state electron probability density are analyzed in detail. The results demonstrate that the helical geometry exhibits physical behaviors significantly different from those of classical cylindrical or spherical quantum dots in its interaction with the electric field. It is determined that under an axially applied electric field, low-energy levels exhibit an approximately parabolic variation, with the quadratic Stark effect being dominant. It is observed that the ground state is the level most sensitive to the electric field, whereas this sensitivity decreases for higher excited states. Regarding the electron probability density, the electron is continuously and controllably shifted from one end of the helix to the other depending on the direction of the electric field, yet it follows the helical geometry in all cases. This result reveals that an axial electric field can effectively control the electron localization. Under a laterally applied electric field, significant Stark shifts are also observed in low-energy levels; however, it is found that the sensitivity of energy levels to the electric field does not simply decrease monotonically with increasing energy, as different electronic states exhibit distinctly different field dependencies. Pronounced energy shifts in opposite directions are observed for certain energy levels. Furthermore, it is found that degeneracies in levels that coincide at zero electric field are lifted upon the application of a lateral electric field, causing these states to become clearly separated. Consequently, the effect of the lateral electric field is not limited to merely causing a general Stark shift in the energy levels; it also alters the energy ordering of different electronic states and the energy differences between them. The level-dependent, directional asymmetry observed in the energy curves is attributed to the chiral nature of the helical structure and the absence of inversion symmetry.

The electron probability density redistributes across different turns of the helix depending on the direction of the electric field; it is observed that the distributions resulting from positive and negative electric field conditions are not exact mirror images of one another. This indicates that the helical geometry modifies not only the electron's position but also the quantum overlap between different turns. Consequently, a lateral electric field leads to a level-dependent and direction-sensitive energy rearrangement due to the distinct spatial characteristics of the electronic states along the helix. Under a radially applied electric field, however, the energy levels are found to increase approximately linearly while remaining parallel to each other. Although the electron probability density redistributes to a limited extent between the inner and outer regions of the helix under the influence of the electric field, the electron's overall localization character is preserved due to strong geometric quantum confinement. These results demonstrate that a radial electric field induces a relatively uniform Stark shift in the system and that the helical geometry significantly stabilizes the electronic structure. The degeneracy present in the absence of an electric field is lifted upon the application of axial and lateral electric fields, causing the respective energy levels to split. In contrast to axial and lateral electric fields, the degeneracy is found to be preserved under a radially applied electric field.

Overall, the findings reveal that the direction of the electric field plays a decisive role in the electronic properties of helical quantum dots. Depending on the orientation of the electric field, energy levels, the nature of the Stark shift, and the spatial localization of the electron undergo significant changes. Particularly in the case of a lateral electric field, the fact that the responses of different electronic levels to the field vary markedly—with some levels exhibiting opposing energy shifts—highlights the pivotal role of helical geometry in determining the spatial character of electronic states. Furthermore, the curvilinear and chiral nature of the helical geometry causes the electric field to reshape not only the energy levels but also the spatial distribution of wave functions in three dimensions. In this respect, helical quantum dots offer richer and more controllable electronic properties compared to conventional quantum dot geometries.

In conclusion, this study demonstrates that the electronic—and consequently optical—properties of helical quantum dots can be precisely tuned via an external electric field. The ability to control electron localization, tune energy levels using an electric field, and the system's high stability along specific directions indicate that these structures are promising candidates for applications such as tunable quantum devices, electro-optic modulators, quantum information processing components, single-electron-based nanoelectronic elements, and high-sensitivity nanoscale sensors. Future investigations into magnetic fields, spin-orbit interaction, exciton effects, and various helical geometries will contribute to a more comprehensive understanding of the physical properties of these systems.

ACKNOWLEDGEMENT

This study is derived from Dima BIRKDAR's master's thesis conducted at Sivas Cumhuriyet University, Institute of Science, Department of Physics, and is supported by the CUBAP project numbered F-2026-766.

REFERANCES

[1] S.M. Reimann, M. Manninen, Electronic structure of quantum dots, Rev. Mod. Phys. 74 (2002) 1283. https://doi.org/10.1103/RevModPhys.74.1283.

[2] L. Jacak, A. Wójs, P. Hawrylak, Quantum Dots, (1998). https://doi.org/10.1007/978-3-642-72002-4.

[3] D. Bimberg, M. Grundmann, N.N. Ledentsov, Quantom Dot Heterostructures, (1999) 344. https://www.wiley.com/en-be/quantum-dot-heterostructures-p-9780471973881 (accessed August 4, 2026).

[4] Z. Zhi, Y. Wu, H. Ruan, J. Liu, P. Huang, S. Yao, X. Liu, C. Tang, Q. Yao, L. Sun, Y. Zhang, Y. Xiao, R. Che, X. Kou, Tunable interfacial Rashba spin-orbit coupling in asymmetric AlxIn1−xSb/InSb/CdTe quantum well heterostructures, Appl. Phys. Lett. 126 (2025). https://doi.org/10.1063/5.0233964/3329186.

[5] R. Wang, X. Ge, H. Sheng, S. Yang, X. Wang, S. Xu, H. Zeng, Q. Yu, InGaAs 阱簇复合纳米结构的能带填充规律, 光学学报, Vol.44, Issue 13, Pp. 1316002 44 (2024) 1316002-1316002–7. https://doi.org/10.3788/AOS240481.

[6] R. Xiong, S. Yu, M.J. Smith, J. Zhou, M. Krecker, L. Zhang, D. Nepal, T.J. Bunning, V. V. Tsukruk, Self-Assembly of Emissive Nanocellulose/Quantum Dot Nanostructures for Chiral Fluorescent Materials, ACS Nano 13 (2019) 9074–9081. https://doi.org/10.1021/ACSNANO.9B03305.

[7] S.M. Reimann, M. Manninen, Electronic structure of quantum dots, Rev. Mod. Phys. 74 (2002) 1283. https://doi.org/10.1103/RevModPhys.74.1283.

[8] E. Kasapoglu, M.B. Yücel, C.A. Duque, Influence of external electric field on the shallow donor impurity states in a double parabolic quantum dot, Micro and Nanostructures 218 (2026) 208836. https://doi.org/10.1016/J.MICRNA.2026.208836.

[9] D. Bejan, C. Stan, A. Petrescu-Niță, Magneto-Absorption Spectra of Laser-Dressed Coupled Quantum Dot–Double Quantum Ring, Nanomaterials 2025, Vol. 15, Page 869 15 (2025) 869. https://doi.org/10.3390/NANO15110869.

[10] E. V Timoshchenko, V.A. Yurevich, Y. V Yurevich, RESONANCE MODEL OF SELF-PULSATIONS IN QUANTUM DOT LASERS UNDER CONDITIONS OF NONLINEAR FREQUENCY CHIRP, J. Appl. Spectrosc. 92 (2025). https://doi.org/10.1007/s10812-025-02002-z.

[11] T. Murphy, C.A. Broderick, F.H. Peters, E.P. O'Reilly, Lateral Quantum-Confined Stark Effect for Integrated Quantum Dot Electroabsorption Modulators, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 31 (2025). https://doi.org/10.1109/JSTQE.2025.3552024.

[12] M. Jaouane, H. Azmi, R. Arraoui, A. Fakkahi, J. El-Hamouchi, A. Mazouz, A. Ed-Dahmouny, A. Sali, Structural and electric-field control of exciton in coupled double InGaN/GaN quantum dots, Chinese Journal of Physics 102 (2026) 659–668. https://doi.org/10.1016/J.CJPH.2026.04.028.

[13] A. V. Tsukanov, I.Y. Kateev, Tunnel-optical electron transitions in an asymmetric double quantum dot under correction field, Laser Phys. Lett. 22 (2025) 075201. https://doi.org/10.1088/1612-202X/ADE078.

[14] M. Jaros, Wave Mechanics Applied to Semiconductor Heterostructures, J. Mod. Opt. 38 (1991) 1211–1212. https://doi.org/10.1080/09500349114551351.

[15] I. Vurgaftman, J.R. Meyer, L.R. Ram-Mohan, Band parameters for III-V compound semiconductors and their alloys, J. Appl. Phys. 89 (2001) 5815–5875. https://doi.org/10.1063/1.1368156.

[16] D.F. Nelson, R.C. Miller, D.A. Kleinman, Band nonparabolicity effects in semiconductor quantum wells, Phys. Rev. B 35 (1987) 7770. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.35.7770.

[17] R. Tsu, L. Ioriatti, Longitudinal dielectric constant for quantum wells, Superlattices Microstruct. 1 (1985) 295–297. https://doi.org/10.1016/0749-6036(85)90089-8.

[18] I. Strzalkowski, S. Joshi, C.R. Crowell, Dielectric constant and its temperature dependence for GaAs, CdTe, and ZnSe, Appl. Phys. Lett. 28 (1976) 350–352. https://doi.org/10.1063/1.88755.

[19] Y.-W. Tan, J. Zhu, H.L. Stormer, L.N. Pfeiffer, K.W. Baldwin, K.W. West, Measurements of the density-dependent many-body electron mass in 2D GaAs/AlGaAs Heterostructures, Phys. Rev. Lett. 94 (2004). https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.94.016405.

[20] A.T. Hatke, M.A. Zudov, J.D. Watson, M.J. Manfra, L.N. Pfeiffer, K.W. West, Effective mass from microwave photoresistance measurements in GaAs/AlGaAs quantum wells, J. Phys. Conf. Ser. 456 (2013) 012040. https://doi.org/10.1088/1742-6596/456/1/012040.

100Cr6/WC TRİBOLOJİK ÇİFTİNDE BALL-ON-DİSK TEST PARAMETRELERİNİN SÜRTÜNME DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÇELİK
Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü
ORCID: 0000-0003-4272-1319

Arş. Gör. Muhammed İkbal KARA
Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü
ORCID: 0009-0009-5092-2402

Doç. Dr. Emine ŞİRİN
Düzce Üniversitesi, Gümüşova Meslek Yüksekokulu
ORCID: 0000-0001-9561-2453

ÖZET
Tribolojik deneylerde elde edilen sonuçlar, kullanılan malzeme çiftinin yanı sıra uygulanan normal yük ve kayma mesafesi gibi deney parametrelerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle, güvenilir ve tekrarlanabilir tribolojik sonuçların elde edilebilmesi için deney koşullarının sistematik olarak değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, 100Cr6 rulman çeliğinin tungsten karbür (WC) bilye ile oluşturduğu tribolojik çift, ball-on-disk aşınma yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Deneylerde normal yük 2, 5, 10, 15 ve 20 N olmak üzere beş farklı seviyede, kayma mesafesi ise 100, 250, 500, 750 ve 1000 m olmak üzere beş farklı seviyede değiştirilmiştir. Böylece toplam 25 farklı deney koşulu oluşturulmuştur. Deneyler sırasında sürtünme kuvveti sürekli olarak kaydedilmiş ve sürtünme katsayısının kayma mesafesine bağlı değişimi belirlenmiştir. Farklı normal yük ve kayma mesafelerinde elde edilen sürtünme katsayısı–mesafe eğrileri karşılaştırılarak başlangıç ve kararlı sürtünme davranışları değerlendirilmiştir. Ayrıca, normal yük ve kayma mesafesinin ortalama sürtünme katsayısı üzerindeki etkileri ile bu iki parametrenin etkileşimi istatistiksel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, 100Cr6/WC tribolojik çiftinde sürtünme davranışının deney koşullarına bağlı olarak değiştiğini ve ball-on-disk testlerinde uygulanan parametrelerin sonuçların değerlendirilmesinde dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuştur. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, 100Cr6/WC çifti ile gerçekleştirilecek sonraki tribolojik çalışmalarda uygun deney koşullarının belirlenmesine yönelik bir referans oluşturmuştur.
Anahtar kelimeler: 100Cr6, WC, Ball-on-disk, Sürtünme Katsayısı, Aşınma, Normal Yük, Kayma Mesafesi.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BALL-ON-DISK TEST PARAMETERS ON THE FRICTION BEHAVIOR OF THE 100Cr6/WC TRIBOLOGICAL PAIR

ABSTRACT
The results obtained from tribological tests are significantly influenced not only by the material pair but also by experimental parameters such as normal load and sliding distance. Therefore, systematic evaluation of test conditions is essential for obtaining reliable and repeatable tribological results.

In this study, the tribological behavior of a 100Cr6 bearing steel against a tungsten carbide (WC) ball was investigated using the ball-on-disk wear test method. The normal load was varied at five different levels of 2, 5, 10, 15, and 20 N, while the sliding distance was varied at five different levels of 100, 250, 500, 750, and 1000 m. Thus, a total of 25 different experimental conditions were investigated. During the tests, the friction force was continuously recorded, and the variation in the coefficient of friction as a function of sliding distance was determined. The initial and steady-state friction behaviors were evaluated by comparing the coefficient of friction–sliding distance curves obtained under different normal loads and sliding distances. In addition, the effects of normal load and sliding distance on the average coefficient of friction, as well as the interaction between these two parameters, were statistically evaluated. The results demonstrated that the friction behavior of the 100Cr6/WC tribological pair varies depending on the experimental conditions and that the test parameters applied in ball-on-disk experiments should be carefully considered when evaluating tribological performance. The findings obtained from this study provide a reference for determining suitable experimental conditions in subsequent tribological studies involving the 100Cr6/WC pair.
Keywords: 100Cr6, WC, Ball-on-disk, Coefficient of Friction, Wear, Normal Load, Sliding Distance.

GİRİŞ

Sürtünme ve aşınma, hareketli bileşen içeren hemen her mühendislik sisteminde enerji verimini, bileşen ömrünü ve bakım maliyetlerini doğrudan belirleyen olgulardır. Küresel ölçekte yapılan bir değerlendirme, dünya enerji tüketiminin yaklaşık %23'ünün tribolojik temaslardan kaynaklandığını; bunun %20'lik kısmının sürtünmeyi yenmek, %3'lük kısmının ise aşınan parçaların ve yedek ekipmanın yeniden üretimi için harcandığını ortaya koymuştur (Holmberg & Erdemir, 2017). Belirtilen kayıpların giderilmesine yönelik çalışmalar güvenilir tribolojik verilere dayanmaktadır. Ancak, aşınma katsayısı bir malzeme özelliği değil, malzeme çiftine, ara ortama, sıcaklık ve nem gibi çevresel koşullara bağlı bir sistem parametresidir (Reichelt & Cappella, 2021). Bu durum, aynı malzeme çifti için elde edilen tribolojik sonuçların çevresel etkilere ve sistem koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Sistemlerin sürtünme ve aşınma davranışlarının simüle edilebilmesi ve veri toplanabilmesi adına kullanılan yöntemlerden birisi de ball-on-disk yöntemidir. Ball-on-disk yöntemi, basit temas geometrisi, kontrollü deney koşulları sunması ve sürtünme kuvvetinin deney boyunca sürekli kaydedilebilmesi nedeniyle laboratuvar ölçeğindeki tribolojik incelemelerde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bununla birlikte, tribolojik deneylerin sonuçlarında gözlenen belirgin saçılma, ölçümlerin tekrarlanabilirliğini ve yeniden üretilebilirliğini ciddi biçimde güçleştirmektedir. Dahası, tribolojik yasaların doğrulanmasını zorlaştırmaktadır (Reichelt & Cappella, 2021). Bu saçılmanın kaynakları arasında numune üretimi ve hazırlanmasındaki farklılıklar, temas geometrisi, tribometrelerin mekanik ve ölçüm özellikleri ile yeterince kontrol edilmeyen çevresel koşullar yer almaktadır (Reichelt & Cappella, 2021). Deneysel tasarımın niteliği de bu sorunla yakından ilişkilidir. 2017 yılında önde gelen triboloji dergilerinde yayımlanan çalışmaları inceleyen kapsamlı bir değerlendirmede, 290 deneysel çalışmanın yalnızca %30'unda deneylerin üç veya daha fazla kez tekrarlandığı ve yalnızca %4,4'ünde verilere istatistiksel test uygulandığı belirlenmiştir (Watson vd., 2019). Bu bulgular, deney parametrelerinin sistematik olarak değiştirildiği ve sonuçların istatistiksel yöntemlerle değerlendirildiği çalışmalara duyulan ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır.

Deney parametreleri arasında normal yük ve kayma mesafesi, sürtünme davranışını belirleyen başlıca değişkenlerdendir. Kayma temasında sürtünme katsayısı (CoF) zamana bağlı olarak sabit kalmaz. Alışma ya da rodaj (running-in) olarak adlandırılan geçiş evresinde yüzey pürüzlülüğü, yüzey morfolojisi, CoF ve aşınma hızı, kararlı rejime ulaşılana kadar değişim gösterir ve bu evre tribolojik bileşenlerin kararlı hâldeki davranışında belirleyici bir rol oynar (Khonsari vd., 2021). Rodaj evresinin, kararlı hal üzerindeki etkisi nedeniyle, normal yük ve kayma hızı gibi kontrol edilebilir parametrelerin dikkatle seçilmesi gerekmektedir (Ghatrehsamani vd., 2022). Kayma mesafesinin etkisi, yüzeyde zamanla gelişen yapısal ve kimyasal değişimlerle de ilişkilidir. Kuru kayma koşullarında yürütülen ball-on-disk deneylerinde, kayma çevrimi sayısı arttıkça yüzeyde kararlı bir oksit tabakasının oluştuğu ve başlangıçta farklı mikroyapılara sahip numunelerin belirli bir deformasyondan sonra neredeyse aynı kararlı CoF'a ulaştığı gösterilmiştir (Grützmacher vd., 2019). Normal yük ise temas basıncını değiştirerek sürtünme tepkisini doğrudan etkiler. Örneğin SiC esaslı seramiklerin 5–20 N yük aralığında WC-Co ve çelik bilyelere karşı test edildiği bir çalışmada, CoF'un yük ve karşı yüzeye bağlı olarak 0,33 ile 0,66 arasında değiştiği raporlanmıştır (Sharma vd., 2019). Bu nedenle ortalama CoF'un hangi yük seviyesinde ve hangi kayma mesafesi aralığından hesaplandığı, raporlanan değeri doğrudan belirler. Ayrıca aşınma süreçlerinde süperpozisyon ilkesi varsayılamadığından, deney parametrelerinin tek tek değil, birbiriyle birlikte değiştirilerek incelenmesi gerekmektedir (Reichelt & Cappella, 2021).

Mevcut çalışmada aşınan yüzey olarak kullanılan 100Cr6 rulman çeliği, tribolojik çalışmalarda yaygın bir şekilde incelenen mühendislik malzemelerinden biridir. 100Cr6 rulman çeliği, yüksek aşınma direnci ve yorulma dayanımı sayesinde rüzgâr türbinleri, makine, demiryolu ve otomotiv gibi zorlu uygulamalarda makaralı ve bilyeli rulmanlar için en yaygın kullanılan malzemelerden biridir (Li vd., 2024). Rulman çeliklerinin yüksek Hertz temas basınçlarına dayanabilmesi için 58–66 HRC aralığında sertlik gereklidir (Li vd., 2024). Malzemenin tribolojik çalışmalardaki yeri de bu yaygın kullanımla paraleldir. Alman Federal Malzeme Araştırma ve Test Enstitüsü (BAM) bünyesinde farklı tribometrelerde yapılan testlerin toplandığı veri tabanındaki en kapsamlı veri grubunu, sertleştirilmiş 100Cr6 çiftleriyle yapılan yağlamasız testler oluşturmaktadır (Reichelt & Cappella, 2021).

Karşıt yüzey olarak kullanılan tungsten karbür (WC), yüksek sertliği ve aşınma direnciyle öne çıkan bir malzemedir. WC-Co esaslı sert metaller; otomotiv ve havacılık sanayisinde kesici takım, madencilikte delme ucu ve tel çekme kalıpları gibi aşınma parçaları olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir (García vd., 2019). Karşıt yüzey seçimi, ölçülen tribolojik tepkiyi doğrudan belirleyen bir değişkendir. Aynı seramik malzemenin WC-Co bilyeye karşı, çelik bilyeye kıyasla yaklaşık 6–10 kat daha fazla aşındığı ve aşınmanın karşı yüzeyin sertliğinden etkilendiği belirlenmiştir (Sharma vd., 2019). WC bilyenin yüksek sertliği ve rijitliği, deney süresince temas geometrisini büyük ölçüde korumasına ve ölçülen tepkinin ağırlıklı olarak disk malzemesinin davranışını yansıtmasına katkı sağlayabilir. Buna karşın 100Cr6 disk ile WC bilyeden oluşan tribolojik çiftte normal yük ve kayma mesafesinin sürtünme davranışı üzerindeki etkisini sistematik olarak ele alan çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, ball-on-disk deneylerinde kullanılan yük ve kayma mesafesi değerlerinin çalışmanın amacına ve incelenen malzeme sistemine bağlı olarak geniş bir aralıkta seçildiği görülmektedir. Bu çeşitlilik, farklı çalışmalardan elde edilen sonuçların birbiriyle karşılaştırılmasını güçleştirmekte ve belirli bir malzeme çifti için uygun deney koşullarının belirlenmesini önemli hâle getirmektedir. Bu bağlamda, aynı malzeme çiftinde yük ve kayma mesafesinin geniş bir aralıkta birlikte değiştirildiği sistematik bir değerlendirme, sonraki çalışmalar için yararlı bir başlangıç noktası sunabilir. Bu çalışmada, 100Cr6/WC tribolojik çiftinin sürtünme davranışı ball-on-disk yöntemiyle incelenmiştir.

Farklı seviyelerde normal yük ve kayma mesafesi değiştirilerek toplam 25 deney koşulu oluşturulmuştur. Farklı koşullarda elde edilen CoF–kayma mesafesi eğrileri karşılaştırılarak başlangıç ve kararlı sürtünme davranışlarındaki eğilimler değerlendirilmiştir. Ayrıca yük ve kayma mesafesinin ortalama CoF üzerindeki etkileri ile bu iki parametrenin etkileşimi istatistiksel olarak incelenmiştir. Elde edilen bulguların, 100Cr6/WC çifti ile yürütülecek sonraki tribolojik çalışmalarda deney koşullarının belirlenmesine yönelik bir referans oluşturması amaçlanmaktadır.

YÖNTEM

Malzemeler

Deneylerde aşınan yüzey olarak 100Cr6 rulman çeliği kullanılmıştır (Şekil 1). Çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Triboloji deneyleri öncesinde yüzey 200 – 400 600 – 800 ve 1000 kum boyutlu su zımparaları ile zımparalanmıştır. Yüzey zımparalama işleminde kullanılan zımparalama ve parlatma cihazı Şekil 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. 100Cr6 rulman çeliğinin kimyasal bileşimi

	Karbon	**Silisyum**	**Mangan**	**Fosfor**	**Kükürt**	**Krom**	**Molibden**	**Alüminyum**	**Oksijen**
100 Cr6	(%) 0,93-1,05	(%) 0,15-0,35	(%) 0,25-0,45	(%) 0,025	(%) 0,030	(%) 1,35-1,6	(%) 0,1	(%) 0,1	(%) 0,0015



Şekil 1. İşparçası



Şekil 2. Yüzey zımparalama ve parlatma cihazı

Aşındırıcı yüzey olarak ise 6 mm çapında WC bilye kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan WC bilyenin görseli ise Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 1. WC bilye görseli

Tribolojik deneyler

Tribolojik deneyler UTS Tribolog marka bir tribometre ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler ileri-geri hareketli (reciprocating) ball-on-disk düzeninde gerçekleştirilmiştir. 100Cr6 disk, 20 mm strok ve 5 Hz frekansla ileri-geri hareket eden tablaya sabitlenmiş; WC bilye ise sabit tutulmuştur. Deneylerin tamamı kuru şartlarda gerçekleştirilmiştir ve kullanılan tribolojik parametreler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Deney Parametreleri

Parametreler	**Birimler**	**Değerler**
Normal Yük	N	2-5-10-15-20
Kayma Hızı	mm/s	200
Frekans	Hz	5
Stroke	mm	20
Kayma Mesafesi	m	100-250-500-750-1000

Normal yük ve kayma mesafesinin sürtünme davranışı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla normal yük 2, 5, 10, 15 ve 20 N; kayma mesafesi ise 100, 250, 500, 750 ve 1000 m olmak üzere beşer seviyede değiştirilmiştir. Bu iki parametrenin tüm kombinasyonlarından oluşan 25 deney koşulunu gösteren deney matrisi Tablo 3'te verilmiştir. Her deney için yeni disk yüzeyinde yeni bir iz oluşturulmuş ve bilyenin farklı bir noktası kullanılmıştır. Böylelikle her bir deney bağımsız olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Deney matrisi

Normal yük (N)	**100 m**	**250 m**	**500 m**	**750 m**	**1000 m**
2	D1	D2	D3	D4	D5
5	D6	D7	D8	D9	D10
10	D11	D12	D13	D14	D15
15	D16	D17	D18	D19	D20
20	D21	D22	D23	D24	D25

Sürtünme Verilerinin Değerlendirilmesi

CoF değerleri, UTS Tribolog tribometresinin yazılımı tarafından kaydedilmiştir. Eğilimlerin belirlenmesi amacıyla verilere hareketli ortalama uygulanmıştır. Rodaj sonu, 5 N ve üzerindeki yüklerde başlangıç tepesini izleyen en düşük CoF değerinin görüldüğü nokta; 2 N'de ise CoF'un kararlı seviyeye ulaştığı nokta olarak belirlenmiştir. Rodaj sonrası ortalama CoF, rodaj sonundan deney sonuna kadar olan ham verilerden hesaplanmıştır.

İstatistiksel Analiz

Normal yük ve kayma mesafesinin sürtünme davranışı üzerindeki etkileri, iki yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Bağımlı değişken olarak her deneyin rodaj sonrası ortalama CoF değeri kullanılmıştır. Her deney koşulu için tek bir deney gerçekleştirildiğinden, tasarım her hücrede bir gözlem içeren 5×5 tam faktöriyel yapıdadır. Bu yapıda etkileşim terimi deneysel hatadan ayrılamadığından, analiz etkileşimsiz iki yönlü ANOVA modeliyle yürütülmüş ve yük ile kayma mesafesinin ana etkileri test edilmiştir. İki parametre arasındaki etkileşim, Tukey'in bir serbestlik dereceli toplanabilirlik testi ile ayrıca değerlendirilmiştir. Artıkların normalliği Ryan-Joiner testiyle, varyansların homojenliği ise medyan tabanlı Levene testiyle kontrol edilmiştir. Sonuçlar, parametrik olmayan Friedman testiyle doğrulanmıştır. Her faktörün toplam değişkenliğe katkısı, kareler toplamı üzerinden hesaplanan katkı yüzdesi ile ifade edilmiştir. Tüm testlerde anlamlılık düzeyi $\alpha = 0{,}05$ olarak alınmış ve analizler Minitab 17 istatistik yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR

Farklı normal yük ve kayma mesafesi koşullarında gerçekleştirilen 25 deneyin CoF-kayma mesafesi eğrileri Şekil 4'te verilmiştir. Eğriler, ortalama CoF değerlerinin yanı sıra deney boyunca izledikleri evreler üzerinden değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede rodaj, deneyin başlangıcında CoF'un belirgin biçimde değiştiği ilk evreyi; düşük sürtünme rejimi, rodajı izleyen ve CoF'un görece düşük bir seviyede kararlı kaldığı evreyi; yüksek sürtünme rejimi ise bir geçişin ardından CoF'un daha yüksek bir seviyede kararlı hâle geldiği evreyi ifade etmektedir.

Şekil 4 incelendiğinde 5 N ve üzerindeki yüklerde elde edilen eğriler benzer, üç evreli bir yapı sergilemiştir. Deneylerin başlangıcında CoF ilk 10–50 m içinde 0,54–0,84 aralığında bir tepe değerine ulaşmış ve ardından hızla düşmüştür. Bu düşüşün ardından CoF 0,24–0,49 aralığında görece kararlı bir seviyede seyretmiştir. 500 m ve üzerindeki deneylerin büyük bölümünde ise belirli bir kayma mesafesinden sonra CoF yeniden artmış ve 0,58–0,93 aralığında yeni bir kararlı seviyeye ulaşmıştır. Benzer bir yapı, çelik çiftinin 2–9 N aralığında kuru kayma koşullarında incelendiği bir çalışmada da raporlanmıştır. Söz konusu çalışmada 6–9 N yüklerde CoF'un rodaj sırasında önce yaklaşık 0,8'e yükseldiği, ardından yaklaşık 0,6'ya düştüğü ve sonrasında yeniden arttığı belirlenmiştir. Başlangıçtaki tepe, yüzeydeki oksit filmlerinin mekanik olarak bozulması ve temas geometrisindeki değişimle ilişkilendirilmiştir (Wen vd., 2022).

2 N'de gerçekleştirilen deneyler bu yapıdan farklı bir davranış göstermiştir. Bu yükte başlangıç tepesi ve düşük sürtünme rejimi gözlenmemiş, CoF deneyin başlangıcından itibaren sürekli artmıştır. 500 m ve üzerindeki deneylerde CoF ilk 100–230 m içinde yaklaşık 1,00 seviyesine ulaşmış ve deney sonuna kadar bu seviyede kalmıştır. 100 m'lik deney ise bu seviyeye ulaşılmadan, CoF 0,63 civarındayken sona ermiştir. Düşük yüklerdeki bu davranış literatürle uyumludur. Aynı çalışmada 2 ve 3 N'de CoF'un rodaj boyunca tepe oluşturmadan sürekli arttığı gözlenmiş ve bu durum, düşük yükte gerçek temas alanının küçük, adezyonun ise şiddetli olmasıyla açıklanmıştır (Wen vd., 2022).

Rodaj evresine ve düşük sürtünme rejimine ait değerler Tablo 4'te özetlenmiştir. 5 N ve üzerindeki yüklerde rodaj, 28–75 m arasında tamamlanmıştır (20 N – 1000 m deneyinde yaklaşık 150 m). Bu deney, rodajın yaklaşık 150 m'de tamamlandığı 20 N – 1000 m koşuludur. Başlangıç tepesinin değeri ve rodajın süresi, yükle düzenli bir ilişki göstermemiştir. Yük ortalamaları, başlangıç tepesi için 0,65–0,70 aralığında kalmıştır. Düşük sürtünme rejiminin seviyesi de 5–20 N aralığında yüke bağlı belirgin bir eğilim sergilememiştir.

Yükün CoF üzerindeki en belirgin etkisi, yüksek sürtünme rejiminin seviyesinde gözlenmiştir. Her yükte geçişi tamamlamış 750 ve 1000 m'lik deneylerin son seviyeleri, yük arttıkça düzenli olarak azalmıştır. Bu iki deneyin ortalaması 2 N'de 1,00 iken, 5 N'de 0,93'e, 10 N'de 0,76'ya, 15 N'de 0,74'e ve 20 N'de 0,67'ye gerilemiştir. Literatürde de kararlı CoF'un belirli bir yükten sonra azaldığı bildirilmiştir. 2–9 N aralığında yapılan deneylerde kararlı CoF, yük arttıkça önce 0,843'ten 0,940'a yükselmiş, ardından 0,831'e düşmüştür. Bu düşüş, yük arttıkça pürüzlerin ezilip deforme olmasıyla temasın elastoplastik hâle gelmesine bağlanmıştır (Wen vd., 2022).

Tablo 4. CoF eğrilerinden elde edilen karakteristik değerler

Yük (N)	Mesafe (m)	Rodaj sonu (m)	Başlangıç tepesi	Düşük rejim seviyesi	Son seviye	Rodaj sonrası ortalama
2	100	29	–	–	0,629	0,590
2	250	187	–	–	0,959	0,920
2	500	105	–	–	1,012	1,000
2	750	103	–	–	1,001	0,968
2	1000	228	–	–	1,008	0,992
5	100	59	0,558	0,382	0,444	0,416
5	250	43	0,731	0,355	0,413	0,400
5	500	45	0,539	0,419	0,810	0,732
5	750	59	0,637	0,494	0,933	0,871
5	1000	75	0,803	0,438	0,919	0,753
10	100	28	0,844	0,446	0,504	0,484
10	250	56	0,716	0,272	0,369	0,334
10	500	43	0,587	0,252	0,580	0,390
10	750	53	0,642	0,335	0,712	0,553
10	1000	67	0,727	0,427	0,813	0,661
15	100	33	0,731	0,388	0,425	0,413
15	250	72	0,795	0,284	0,427	0,358
15	500	48	0,550	0,235	0,616	0,419
15	750	54	0,665	0,374	0,787	0,662
15	1000	65	0,559	0,267	0,695	0,371
20	100	56	0,767	0,391	0,443	0,421
20	250	60	0,651	0,275	0,429	0,361
20	500	43	0,677	0,414	0,713	0,599
20	750	52	0,691	0,445	0,722	0,658
20	1000	150	0,691	0,381	0,619	0,533

Son seviye, deneyin son %15'lik bölümündeki ortalama CoF'u ifade etmektedir. 2 N'de başlangıç tepesi ve düşük sürtünme rejimi oluşmadığından ilgili sütunlar boş bırakılmıştır.

Kayma mesafesi, bir deneyin eğrinin hangi evresine kadar ilerlediğini belirlemiştir. 5 N ve üzerindeki yüklerde 100 ve 250 m'lik deneyler yalnızca rodaj ve düşük sürtünme rejimini kapsarken, 500 m ve üzerindeki deneylerin büyük bölümü yüksek sürtünme rejimine geçişi de içermiştir. Tablo 4 incelendiğinde bu durumun, rodaj sonrası ortalama CoF değerlerine doğrudan yansıdığı gözlemlenmiştir. Mesafe ortalamaları, 100 ve 250 m'de sırasıyla 0,465 ve 0,474 iken, 500, 750 ve 1000 m'de sırasıyla 0,628, 0,742 ve 0,662 olarak hesaplanmıştır.

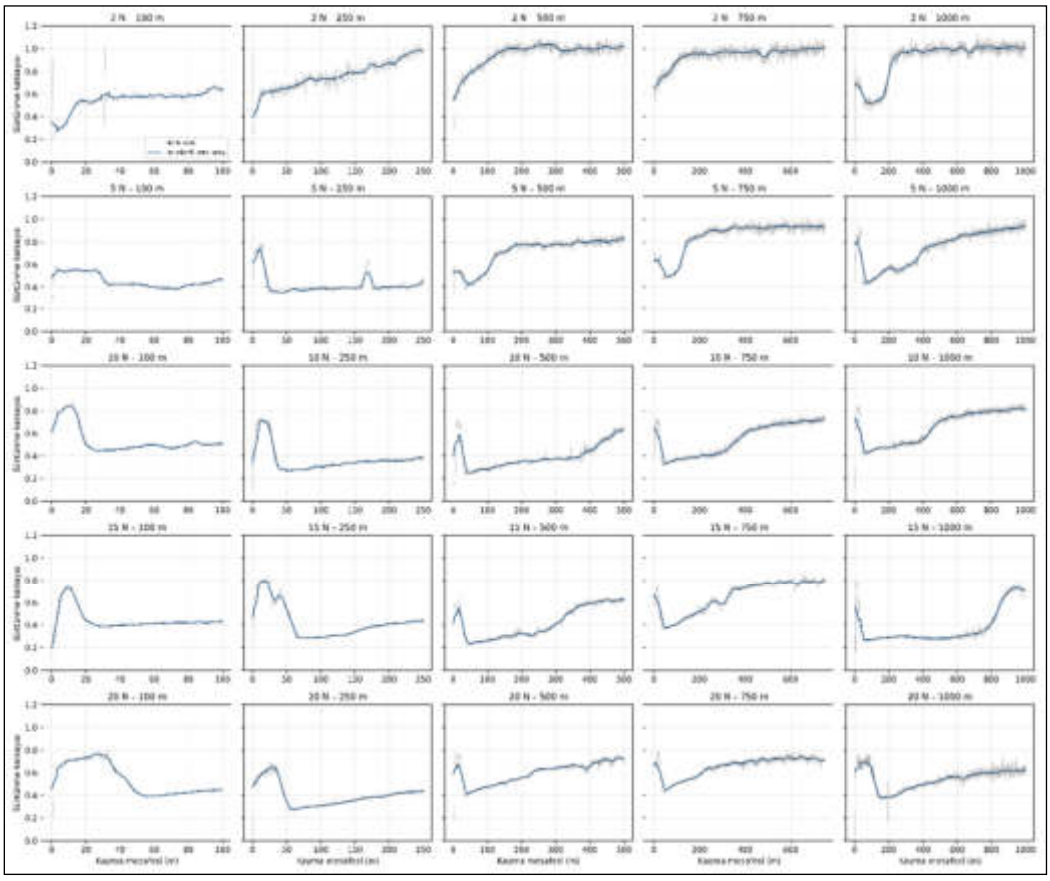
Normal yük ve kayma mesafesinin rodaj sonrası ortalama CoF üzerindeki etkilerine ilişkin iki yönlü ANOVA sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Her iki parametrenin de etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Normal yük, toplam değişkenliğin %57,4'ünü açıklayarak baskın parametre olmuştur ($F = 13,44$; $p < 0,001$).

Kayma mesafesinin katkısı %25,5 olarak belirlenmiştir ($F = 5,97$; $p = 0,004$). Tukey toplanabilirlik testinde toplanabilir modelden belirgin bir sapma saptanmamıştır ($F = 0,45$; $p = 0,514$). Normallik (Ryan-Joiner, $p > 0,100$) ve varyans homojenliği (Levene, $p > 0,05$) varsayımları sağlanmış, parametrik olmayan Friedman testi de ANOVA ile tutarlı sonuçlar vermiştir ($p < 0,05$). Yükün CoF üzerindeki baskın etkisi literatürle uyumludur. Borlanmış AISI 316L çeliğinin kuru kayma koşullarında tam faktöriyel tasarımla incelendiği bir çalışmada da CoF üzerinde en etkili parametre yük olmuş ve değişkenliğin %62,67'sini açıklamıştır (García-León vd., 2021). Bu değer, bu çalışmada yük için belirlenen %57,4'lük katkıyla benzer büyüklüktedir.

Tablo 5. Rodaj sonrası ortalama CoF için iki yönlü ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	**KT**	**sd**	**KO**	**F**	**p**	**Katkı (%)**
Normal yük	0,6615	4	0,1654	13,44	<0,001	57,4
Kayma	0,2938	4	0,0735	5,97	0,004	25,5
Hata	0,1969	16	0,0123	–	–	17,1
Toplam	1,1522	24	–	–	–	100
KT: Kareler Toplamı, sd: Serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması						

Aynı yükte farklı mesafelerde yürütülen deneyler bağımsız olarak gerçekleştirildiğinden, ortak mesafe aralıklarında birbirlerinin tekrarı olarak değerlendirilmiştir. Bu karşılaştırmada rodaj süresi, düşük sürtünme rejiminin seviyesi ve yüksek sürtünme rejiminin son seviyesi aynı yükteki deneylerde birbirine yakın bulunmuştur. Buna karşın yüksek sürtünme rejimine geçişin başladığı kayma mesafesi belirgin bir dağılım göstermiştir. Geçiş 5 N'de yaklaşık 110–380 m, 10 N'de 360–440 m, 15 N'de 240–820 m ve 20 N'de 200–410 m arasında başlamıştır. ANOVA modelindeki büyük artıkların bir kısmı da bu dağılımla örtüşmüştür. Örneğin geçişin en geç başladığı 15 N – 1000 m deneyi, modelin öngördüğü değerden 0,141 daha düşük bir ortalama vermiştir. Geçiş mesafesinde gözlenen bu dağılım, tribolojik deney sonuçlarında belirgin bir saçılma bulunduğunu ve bu saçılmanın tekrarlanabilirliği güçleştirdiğini bildiren çalışmalarla uyumludur (Reichelt & Cappella, 2021). Aynı yükteki deneylerin kararlı seviyelerinin birbirine yakın olması ise, farklı bir malzeme sisteminde kayma çevrimi arttıkça yüzeyde kararlı bir oksit tabakasının oluştuğunu ve başlangıçta farklı mikroyapılara sahip yüzeylerin benzer kararlı CoF değerlerine ulaştığını gösteren bulgularla örtüşmektedir (Grützmacher vd., 2019).



Şekil 2. Her bir deneyin CoF-Kayma mesafesi grafiği

TARTIŞMA VE SONUÇ

5–20 N aralığındaki deneylerde CoF eğrileri genel olarak üç farklı evre ortaya koymuştur. İlk evrede, 28–75 m arasında belirgin bir rodaj tepesi görülmüş ve CoF değerleri 0,54–0,84 aralığında değişmiştir. Bunu, CoF'nin 0,24–0,49 seviyelerine gerilediği düşük sürtünme rejimi izlemiştir. Daha uzun kayma mesafelerinde ise CoF yeniden yükselerek 0,58–0,93 aralığındaki yüksek sürtünme rejimine ulaşmıştır. Buna karşılık 2 N yükte bu üçlü yapı belirgin şekilde oluşmamış ve CoF doğrudan yaklaşık 1,00 seviyesine yükselmiştir. Düşük yüklerde benzer bir davranışın görülebildiği ve bunun küçük gerçek temas alanında adezyonun daha baskın hâle gelmesiyle ilişkili olabileceği daha önce bildirilmiştir (Wen vd., 2022). Bununla birlikte, mevcut çalışmada yüzey karakterizasyonu yapılmadığından bu mekanizma doğrudan doğrulanamamıştır.

Normal yük, ortalama CoF'deki değişimin %57,4'ünü açıklamıştır. Tablo 4'te verilen yük ortalamaları incelendiğinde, CoF'nin 2 N'de 0,894 ile en yüksek değerine ulaştığı, 5 N'de 0,634'e, 10 N'de 0,484'e ve 15 N'de 0,445'e gerilediği, ardından 20 N'de 0,514'e yükseldiği görülmektedir. Bu sonuç, yük etkisinin önemli ölçüde 2 N'deki farklı sürtünme davranışından kaynaklandığını düşündürmektedir. Nitekim 5–20 N aralığında ortalama CoF'nin yükle birlikte monoton bir değişim göstermediği görülmektedir. Yükün daha belirgin ve tutarlı etkisi, yüksek sürtünme rejiminin seviyesinde ortaya çıkmıştır. Bu rejimde CoF yaklaşık 1,00 seviyesinden (2 N) 0,67 seviyesine (20 N) gerilemiştir. Bu azalma, artan normal yükle birlikte gerçek temas alanının ve temas koşullarının değişmesi sonucu temasın daha elastoplastik bir karakter kazanmasıyla uyumlu bulunmuştur (Wen vd., 2022).

Kayma mesafesinin ortalama CoF üzerindeki %25,5'lik katkısı ise büyük ölçüde deneylerin farklı sürtünme evrelerinde sonlandırılmasından kaynaklanmaktadır. 100 ve 250 m'lik deneylerde yalnızca rodaj ve düşük sürtünme rejimleri gözlenirken, 500 m ve daha uzun mesafelerde yüksek sürtünme rejimine geçiş de deney sonuçlarına yansımıştır. Aynı yük altında farklı rejimlerin CoF seviyeleri genel olarak benzer kalmasına rağmen, yüksek sürtünme rejimine geçiş mesafesinin 110–820 m arasında geniş bir aralıkta değiştiği görülmüştür. Bu durum, tribolojik deneylerde sürtünme davranışının yalnızca uygulanan yük ve mesafeye değil, sistemdeki değişkenliklere de duyarlı olduğunu ve sonuçların tekrarlanabilirliğinin sınırlanabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, tribolojik sonuçların tekrarlanabilirliğinin deney koşullarındaki değişkenliklerden etkilenebildiği daha önce de bildirilmiştir (Reichelt & Cappella, 2021).

Çalışmanın bazı önemli sınırlılıkları bulunmaktadır. Her deney koşulunun yalnızca bir kez uygulanmış olması, deneysel saçılımın ve yük–mesafe etkileşiminin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesini engellemiştir (Watson vd., 2019). Ayrıca, aşınma izlerinin ve karşı yüzeylerin morfolojik veya kimyasal olarak karakterize edilmemiş olması, gözlenen sürtünme rejimlerinin altında yatan mekanizmaların doğrudan ortaya konulmasını sınırlandırmaktadır. Bunun yanında, elde edilen sonuçlar kuru ve ileri-geri kayma koşulları için geçerlidir; farklı yağlama koşullarına veya farklı kayma konfigürasyonlarına doğrudan genellenmemelidir.

Sonuç olarak, 100Cr6/WC çiftinin sürtünme davranışını yalnızca tek bir ortalama CoF değeri üzerinden değerlendirmek, eğrinin hangi sürtünme evrelerini kapsadığı dikkate alınmadığında yanıltıcı olabilir. Özellikle kararlı yüksek sürtünme rejiminin değerlendirilmesi amaçlanıyorsa, deney süresinin en az 1000 m olacak şekilde seçilmesi uygun görünmektedir. Ortalama CoF'nin hesaplanmasında ise mümkün olduğunca eğrinin kararlı bölümünün esas alınması; rodaj, düşük sürtünme ve yüksek sürtünme rejimlerinin ise ayrı olarak raporlanması daha anlamlı olacaktır. Gelecekte gerçekleştirilecek tekrarlı deneyler ile aşınma izi ve yüzey karakterizasyonlarının birlikte değerlendirilmesi, bu çalışmada ortaya konulan sürtünme davranışının mekanizmasının daha açık biçimde ortaya konulmasına ve sonuçların genellenebilirliğinin artırılmasına katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimesl Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (FBA-2025-14405)

KAYNAKÇA

García, J., Collado Ciprés, V., Blomqvist, A., & Kaplan, B. (2019). Cemented carbide microstructures: A review. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 80, 40-68. https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2018.12.004

García-León, R. A., Martínez-Trinidad, J., Zepeda-Bautista, R., Campos-Silva, I., Guevara-Morales, A., Martínez-Londoño, J., & Barbosa-Saldaña, J. (2021). Dry sliding wear test on borided AISI 316L stainless steel under ball-on-flat configuration: A statistical analysis. Tribology International, 157, 106885. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.106885

Ghatrehsamani, S., Akbarzadeh, S., & Khonsari, M. M. (2022). Experimentally verified prediction of friction coefficient and wear rate during running-in dry contact. Tribology International, 170, 107508. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107508

Grützmacher, P. G., Rammacher, S., Rathmann, D., Motz, C., Mücklich, F., & Suarez, S. (2019). Interplay between microstructural evolution and tribo-chemistry during dry sliding of metals. Friction, 7(6), 637-650. https://doi.org/10.1007/s40544-019-0259-5

Holmberg, K., & Erdemir, A. (2017). Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions. Friction, 5(3), 263-284. https://doi.org/10.1007/s40544-017-0183-5

Khonsari, M. M., Ghatrehsamani, S., & Akbarzadeh, S. (2021). On the running-in nature of metallic tribo-components: A review. Wear, 474-475, 203871. https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203871

Li, Y., Jiang, Z., Li, L., Wang, P., Li, D., Xue, W., & Duan, D. (2024). Wear behavior and damage characterization for AISI 52100 bearing steels: Effect of hardness and spherical carbides. Journal of Materials Research and Technology, 30, 8359-8370. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.05.220

Reichelt, M., & Cappella, B. (2021). Large scale multi-parameter analysis of wear of self-mated 100Cr6 steel – A study of the validity of Archard's law. Tribology International, 159, 106945. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.106945

Sharma, S. K., Manoj Kumar, B. V., & Kim, Y.-W. (2019). Tribology of WC reinforced SiC ceramics: Influence of counterbody. Friction, 7(2), 129-142. https://doi.org/10.1007/s40544-017-0194-2

Watson, M., Christoforou, P., Herrera, P., Preece, D., Carrell, J., Harmon, M., Krier, P., Lewis, S., Maiti, R., Skipper, W., Taylor, E., Walsh, J., Zalzalah, M., Alhadeff, L., Kempka, R., Lanigan, J., Lee, Z. S., White, B., Ishizaka, K., … Marshall, M. (2019). An analysis of the quality of experimental design and reliability of results in tribology research. Wear, 22nd International Conference on Wear of Materials, 426-427, 1712-1718. https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.12.028

Wen, Q., Liu, M., Zhang, Z., & Sun, Y. (2022). Experimental Investigation into the Friction Coefficient of Ball-on-Disc in Dry Sliding Contact Considering the Effects of Surface Roughness, Low Rotation Speed, and Light Normal Load. Lubricants, 10(10), 256. https://doi.org/10.3390/lubricants10100256

EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN AlSi10Mg ALAŞIMININ FARKLI BİLYE MALZEMELERİ VE NORMAL YÜKLER ALTINDAKİ TRİBOLOJİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÇELİK
Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü
ORCID: 0000-0003-4272-1319

Arş. Gör. Muhammed İkbal KARA
Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü
ORCID: 0009-0009-5092-2402

Doç. Dr. Emine ŞİRİN
Düzce Üniversitesi, Gümüşova Meslek Yüksekokulu
ORCID: 0000-0001-9561-2453

ÖZET
Eklemeli imalat yöntemleriyle üretilen AlSi10Mg alaşımı, düşük yoğunluğu ve yüksek özgül dayanımı nedeniyle özellikle havacılık ve otomotiv uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, çalışma koşullarında ortaya çıkabilecek sürtünme ve aşınma davranışının karşı malzeme ve uygulanan normal yük gibi tribolojik parametrelere bağlı olarak değişebileceği bilinmektedir. Bu çalışmada, eklemeli imalat yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımının farklı bilye malzemeleri ve normal yükler altındaki sürtünme ve aşınma davranışının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Ball-on-disk yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde karşı malzeme olarak 100Cr6, Al_2O_3 ve WC bilyeler kullanılmıştır. Deneyler 5, 10 ve 15 N olmak üzere üç farklı normal yük altında gerçekleştirilmiş ve her deney için toplam kayma mesafesi 500 m olarak belirlenmiştir. Böylece bilye malzemesi ve normal yükün kombinasyonundan oluşan toplam dokuz farklı deney koşulu değerlendirilmiştir. Deneyler sırasında sürtünme katsayısı sürekli olarak kaydedilmiş ve elde edilen sürtünme katsayısı–kayma mesafesi eğrileri üzerinden tribolojik davranış değerlendirilmiştir. Ayrıca, oluşan aşınma izlerinin derinlikleri belirlenerek normal yük ve bilye malzemesinin AlSi10Mg alaşımının aşınma davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçların, farklı karşı malzemeler ve yük koşulları altında AlSi10Mg alaşımının sürtünme ve aşınma karakteristiğinin anlaşılmasına ve eklemeli imalatla üretilen AlSi10Mg bileşenlerin tribolojik uygulamalardaki performansının değerlendirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.
Anahtar kelimeler: AlSi10Mg, Ball-on-Disk, Sürtünme Katsayısı, Aşınma Derinliği, 100Cr6, Al_2O_3, WC.

INVESTIGATION OF THE TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF ADDITIVELY MANUFACTURED ALSI10MG ALLOY UNDER DIFFERENT COUNTERBODY MATERIALS AND NORMAL LOADS

ABSTRACT
AlSi10Mg alloy produced by additive manufacturing has been increasingly used in aerospace and automotive applications due to its low density and high specific strength. However, its friction and wear behavior under service conditions may vary depending on tribological parameters such as counterbody material and applied normal load. In this study, the friction and wear behavior of additively manufactured AlSi10Mg alloy under different counterbody materials and normal loads was experimentally investigated. Ball-on-disk tests were performed using 100Cr6, Al_2O_3, and WC balls as counterbodies. The experiments were conducted under three different normal loads of 5, 10, and 15 N, with a total sliding distance of 500 m for each test. Accordingly, a total of nine experimental conditions were evaluated based on the combinations of counterbody material and normal load. During the tests, the coefficient of friction was continuously recorded, and the tribological behavior was evaluated based on the coefficient of friction–sliding distance curves. In addition, the depths of the resulting wear tracks were determined to investigate the effects of counterbody material and normal load on the wear behavior of the AlSi10Mg alloy. The results obtained from this study provide insight into the friction and wear characteristics of AlSi10Mg alloy under different counterbody and loading conditions and contribute to the evaluation of the tribological performance of additively manufactured AlSi10Mg components for engineering applications.
Keywords: AlSi10Mg, ball-on-disk, coefficient of friction, wear depth, 100Cr6, Al_2O_3, WC.

GİRİŞ
Havacılık uygulamalarında yapısal ağırlığın azaltılması, yakıt tüketiminin düşürülmesi, faydalı yük kapasitesinin artırılması ve enerji verimliliğinin geliştirilmesi açısından temel tasarım gereksinimlerinden birisidir. Bu bağlamda da alüminyum alaşımları, düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek özgül mukavemete, şekillendirilebilme kabiliyetine ve korozyon direncine sahiptir. Dahası, mekanik özelliklerinin alaşımlama ve ısıl işlem yöntemleriyle geliştirilebilir olması sebebiyle uzun yıllardır havacılık uygulamalarında kullanılan başlıca malzeme gruplarından birisi olmuştur. Kompozitler ve titanyum alaşımları gibi alternatif malzemelerin kullanımlarını artmasına rağmen, alüminyum alaşımları günümüzde gövde, kanat ve çeşitli yapısal elemanlardaki önemini korumaktadır (Li vd., 2023). Bununla birlikte, havacılık endüstrisinde daha hafif ve geometrik olarak daha karmaşık bileşenlere yönelik artan gereksinimler, geleneksel alüminyum alaşımlarının gelişiminin yanı sıra bu alaşımların farklı imalat yöntemleriyle üretilmesine de geniş alan açmıştır.
Bu kapsamda da eklemeli imalat (Eİ) yöntemleri, özellikle geleneksel yöntemlerle üretilmesi güç olan karmaşık geometrilerin bilgisayar destekli tasarım (CAD) ortamından doğrudan katmanlar halinde üretilebilmesine olanak sağlaması nedeniyle havacılık uygulamalarında dikkat çeken bir yöntem olarak karşılaşılmaktadır. Metalik malzemelerin eklemeli imalat sürecinde yaygın olarak kullanılan lazer toz yataklı ergitme (Laser Powder Bed Fusion (LPBF)) yöntemi tasarım geometrisindeki çeşitliliği, parça birleştirme ihtiyacını azaltması ve topoloji optimizasyonuyla hafif yapıların üretilebilmesi gibi avantajlar sunmaktadır (Careri vd., 2023; Ghio & Cerri, 2022; Zhao vd., 2022). Alüminyum alaşımları içerisinde AlSi10Mg, iyi eklemeli imalat kabiliyeti, nispeten düşük maliyetli olması ve mekanik özellikleri nedeniyle LPBF yöntemiyle araştırmalarda oldukça yaygın hale gelmektedir (Ghio & Cerri, 2022; Zhao vd., 2022).

Alaşımın içerisinde bulunan yüksek Si oranı ergiyik akışkanlığını ve katılaşma davranışını olumlu yönde etkilerken; Mg içeriği Mg_2Si oluşumu üzerinden çökelme sertleşmesine katkı sağlamaktadır. LPBF sırasında meydana gelen yüksek soğuma hızları ise geleneksel üretim yöntemlerinden farklı olarak fazlasıyla ince ve karakteristik bir Al-Si mikroyapısının oluşmasına neden olmaktadır.

AlSi10Mg'nin eklemeli imalat ile birlikte değerlendirilmesi yalnızca laboratuvar çalışmalarından ibaret değildir. Literatürde Airbus, Sogeti ve EOS iş birliği kapsamında A350 XWB için AlSi10Mg kullanılarak LPBF yöntemiyle geliştirilen bir dikey kuyruk düzlemi bağlantı elemanı örneği ile karşılaşılmıştır. Aynı zamanda Eİ sayesinde çok sayıda parçadan oluşan geleneksel yapının tek parça olarak üretilebildiği ve üretim süresinin önemli ölçüde azaltılabildiği belirtilmiştir (Zhao vd., 2022). Bunun yanı sıra AlSi10Mg, eklemeli imalatla üretilen havacılık tipi kompakt ısı değiştiricileri için değerlendirilen alaşımlar arasında yer almaktadır (Careri vd., 2023). Bir diğer çalışmada ise AlSi10Mg'nin lazer metal biriktirme yöntemiyle aero-motor gövdesinin onarımında kullanılabilirliğini mekanik, tribolojik ve korozyon özellikleri açısından araştırılmıştır (Dong vd., 2024). İncelenen çalışmalar, AlSi10Mg'nin havacılıkta eklemeli imalatla yaygınlaşmasının yalnızca düşük yoğunluğundan değil, aynı zamanda karmaşık ve hafif bileşenlerin üretilebilmesini sağlamasından kaynaklandığını göstermektedir.

Bununla birlikte, eklemeli imalatla (Eİ) üretilmiş ve hali hazırda uygulamada kullanılan ürünlerin performansı yalnızca çekme dayanımı, sertlik ve yorulma gibi mekanik özelliklerle belirlenememektedir. Birbiriyle temas eden ve bağıl hareket içerisinde olan nesnelerin yüzeyleri sürtünme ve dolayısıyla da aşınmaya maruz kalmaktadır. Meydana gelen malzeme kaybı ve yüzey hasarı bileşenin geometrik toleranslarını, çalışma kararlılığını ve servis ömrünü etkileyebilmektedir. Bu nedenle Eİ kullanılarak üretilmiş AlSi10Mg'nin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi, bu malzemenin fonksiyonel bileşenlerde kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Nitekim son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar, LPBF ile üretilmiş AlSi10Mg'nin tribolojik davranışının üretim yönü, mikroyapı, gözeneklilik, sertlik, ısıl işlem, yüzey pürüzlülüğü ve üretim parametreleri gibi çok sayıda etkene bağlı olarak değişebildiğini ortaya koymuştur (Di Egidio vd., 2023a; Salerno vd., 2023a; Tonolini vd., 2021; Wang, 2024).

Tribolojik sistemlerde uygulanan yük, temas bölgesinde meydana gelen gerilme ve deformasyonları doğrudan etkileyen temel değişkenlerden biridir. Dolayısıyla yük seviyesindeki değişim, sürtünme katsayısı ile birlikte aşınma miktarını ve etkin aşınma mekanizmalarını da değiştirebilmektedir. Eklemeli imalatla üretilmiş AlSi10Mg üzerinde gerçekleştirilen güncel çalışmalar bu etkinin önemini göstermektedir. Örneğin, Han ve ark. (Han vd., 2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada farklı üretim yönlerinde hazırlanan AlSi10Mg numunelerini 1, 5 ve 10 N yükler altında tribolojik testlere tabi tutmuşlardır. Testler sonucunda ise yük arttıkça aşınma izlerinin ve yüzey hasarının belirgin biçimde değiştiği gösterilmiştir. Bir diğer çalışmada ise SLM yöntemi kullanılarak üretilen AlSi10Mg'nin as-built ve farklı ısıl işlem durumlarını 5-15N yük aralığındaki yüklerle değerlendirmiş, aşınma hacmi ve sürtünme katsayısının (Coefficient of Friction (CoF)) farklı yük ve malzeme şartlarında değiştiğini göstermişlerdir (Sultana vd., 2026). Literatürde karşılaşılan çalışmalar, AlSi10Mg'nin tribolojik performansının tek bir yük ya da parametre üzerinden değerlendirilemeyeceğini göstermektedir. Bunun yanı sıra, performansın tam olarak değerlendirilebilmesi için AlSi10Mg ile temas eden karşı yüzeyin niteliği de en az diğer parametreler kadar kritiktir. Bir başka ifadeyle, temas içerisindeki karşı yüzeyin malzemesi de tribolojik performansın belirlenmesinde önemli etkiye sahiptir.

Nesnelerin tribolojik davranışları yalnızca aşınmaya maruz kalan ana malzemenin özelliği ile sınırlı değildir, aynı zamanda temas halindeki yüzeylerin mekanik ve fiziksel özellikleri ile aralarındaki etkileşimin ortak sonucudur. Karşı yüzeyin sertliği, elastik özellikleri, yüzey karakteristiği ve temas sırasında oluşabilecek difüzyon gerçek temas alanını, aşınma parçacıklarının oluşumunu ve yüzeyde gelişen tribofilm tabakalarını etkileyerek sürtünme ve aşınma davranışlarını değiştirmektedir. AlSi10Mg üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda ise bu durum gözlemlenebilmektedir. Di Egidio ve ark. (Di Egidio vd., 2023a) tarafından gerçekleştirilen çalışmada LPBF ile üretilmiş AlSi10Mg'nin tribolojik özelliklerini hem 100Cr6 çelik hem de Al_2O_3 karşı yüzeyler kullanarak incelenmiş ve karşıt yüzeylerin tribolojik performans üzerindeki etkisi deneysel ve istatiksel olarak incelenmiştir. Bir diğer çalışmada ise yazarlar, tungsten karbür (WC) karşıt yüzey kullanarak LPBF yöntemi ile üretilen AlSi10Mg alaşımının farklı ısıl işlem koşullarındaki aşınma davranışını incelemişlerdir. Gerçekleştirilen incelemeler sonucunda, aşınma davranışının mikroyapısal değişimlere bağlı olarak önemli ölçüde farklılaştığı bulunmuştur. Bu değişimin, karşıt yüzey malzemesi ve ısıl işlem koşullarına göre şekillendiği belirtilmiştir (Yilmaz vd., 2026).
Literatür çalışmaları incelendiğinde, Eİ yöntemleri ile üretilen AlSi10Mg'nin tribolojik davranışının farklı açılardan incelenmektedir. Çalışmalarda, mikro yapı, yüzey modifikasyonları, üretim yönü, ısıl işlem ve üretim parametreleri üzerine yoğunlaşmalar görülmektedir. Aksine, karşıt yüzey malzemesinin etkisini doğrudan karşılaştıran çalışmaların daha sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Özellikle 100Cr6, Al_2O_3 ve WC gibi farklı karakteristiğe sahip üç karşıt yüzeyin, aynı AlSi10Mg malzemesi üzerinde farklı normal yük seviyeleriyle birlikte sistematik olarak incelendiği çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu eksiklik, karşıt yüzey malzemesi ile uygulanan yükün birlikte etkisinin, Eİ yöntemiyle üretilmiş AlSi10Mg'nin sürtünme ve aşınma davranışına nasıl yansıdığının karşılaştırmalı olarak ortaya konulmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda mevcut çalışmada, Eİ yöntemiyle üretilmiş AlSi10Mg alaşımının farklı karşıt yüzey malzemeleri ve yükler altındaki tribolojik davranışının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Ball-on-disc yöntemiyle gerçekleştirilen deneylerde karşı yüzey malzemesi olarak 100Cr6, Al_2O_3 ve WC, normal yük olarak ise 5, 10 ve 15 N kullanılmıştır. Her bir malzeme-yük kombinasyonunda CoF, yük ve karşı yüzey malzemesinin Eİ ile üretilmiş AlSi10Mg'nin tribolojik performansı üzerindeki etkisinin karşılaştırmalı olarak belirlenmesi hedeflenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Numune Malzemesi ve Yüzey Hazırlığı

Triboloji deneylerinde EOS M 290 eklemeli imalat makinesi kullanılarak üretilmiş 50x30x5 mm ölçülerinde AlSi10Mg alaşımı kullanılmıştır. Üretim parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Alaşımın tribolojik deneylerinde kullanılması adına deney öncesinde sırasıyla 200-400-600-800 grit değerlerinde zımpara kullanılarak standart hale getirilmiştir. Zımparalama işlemi uygulanmasının temel amacı, her deney öncesinde özdeş bir başlangıç yüzeyi oluşturmaktır. Ayrıca, yüzey pürüzlüğü, gerçek temas alanını ve asperitelerin etkileşim üzerinde etkili olduğundan CoF ve aşınma davranışlarını değiştirebilmektedir. Dolayısıyla da yüzeylerin zımpara ile standardize edilmesi, deney sonuçlarının başlangıç yüzey farklılıklarından ziyade incelenen yük ve karşıt yüzey malzemesi gibi değişkenlere bağlanabilmesini kolaylaştırmaktadır (Salerno vd., 2023b). Ayrıca, bağıl hareket içerisinde bulunan nesnelerin kararlı tribolojik davranışa geçene kadar olan geçici süreye rodaj adı verilmektedir. Rodaj aşamasında yüzey asperitelerinde deformasyon ve aşınmalar meydana gelir. Buna bağlı olarak da yüzey pürüzlülüğü, CoF ve aşınma hızı giderek kararlı bir seviyeye ulaşır.

Bu nedenle genellikle tribolojik çalışmalarda rodaj bölgesi, kararlı sürtünme-aşınma davranışı olan bölgeden ayrı olarak değerlendirilir ya da ortalama CoF hesaplanırken rodaj sonrasındaki bölge esas alınır (Khonsari vd., 2021). Zımparalama işlemi tamamlanmış AlSi10Mg alaşımı Şekil 1'de sunulmuştur.



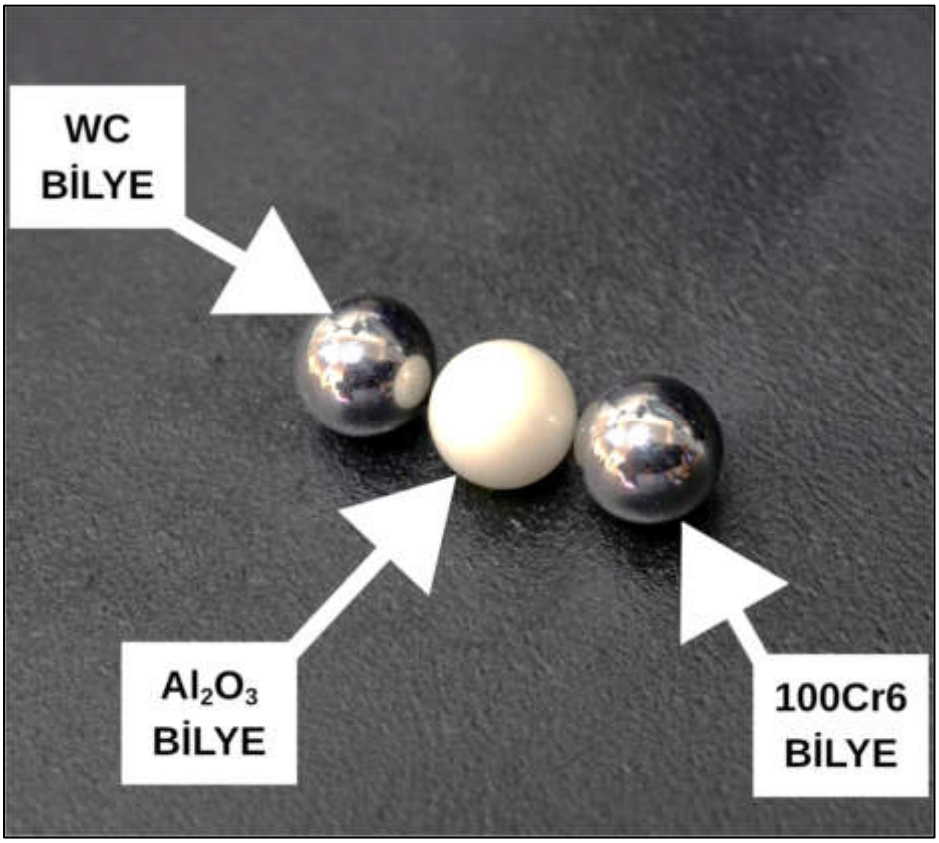
Şekil 3. Zımparalama işlemi tamamlanmış AlSi10Mg

Tablo 6. Eklemeli imalat üretim parametreleri

Lazer gücü	370 W
Lazer tarama hızı	1300mm/s
Tarama mesafesi	0,19 mm
Katman kalınlığı	30 mikron
Beam offset	0,02 mm
Enerji yoğunluğu	49,932 J/mm^3
Tarama stratejisi	X-Döngüsel
Ön ısıtma sıcaklığı	35°C

Karşı Yüzey Malzemeleri

Çalışmada aşındırıcı yüzey olarak 6 mm çapında ticari olarak temin edilmiş 100Cr6, Al_2O_3 ve WC bilyeler kullanılmıştır. Her bir deney öncesi bilyelerin sürtünme temas noktaları değiştirilerek standardizasyon sağlanmıştır. Kullanılan bilyelerin görselleri ise Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 4. Aşındırıcı bilyeler

Triboloji Deneyleri

Triboloji deneyleri, ball-on-disc yöntemi kullanılarak UTS Tribolog marka bir tribometrede ileri-geri (reciprocating) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Deneylerin tamamı kuru şartlar altında, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği tribolojik şartlar Tablo 2'de; deney tasarımı ise Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 7. Deney parametreleri

Deney Parametreleri	**Birim**	**Değerler**
Yük	N	5-10-15
Kayma Mesafesi	m	500
Frekans	Hz	5
Kayma Hızı	mm/s	200
Stroke	mm	20

Tablo 8. Deney Tasarımı

Deney Numarası	**Bilye Çeşidi**	**Uygulanan Yük**
Deney – 1	100Cr6	5
Deney – 2	100Cr6	10
Deney – 3	100Cr6	15
Deney – 4	Al_2O_3	5
Deney – 5	Al_2O_3	10
Deney – 6	Al_2O_3	15
Deney – 7	WC	5
Deney – 8	WC	10
Deney – 9	WC	15

CoF ölçümleri, UTS Tribolog markasının kendine has yazılımı kullanılarak tribometreden doğrudan alınan verilerle ölçülmüştür. Elde edilen tüm sonuçlar ve gerçekleştirilen ölçümler mevcut çalışmanın bulgular kısmında değerlendirilmiştir.

Aşınma Derinlikleri

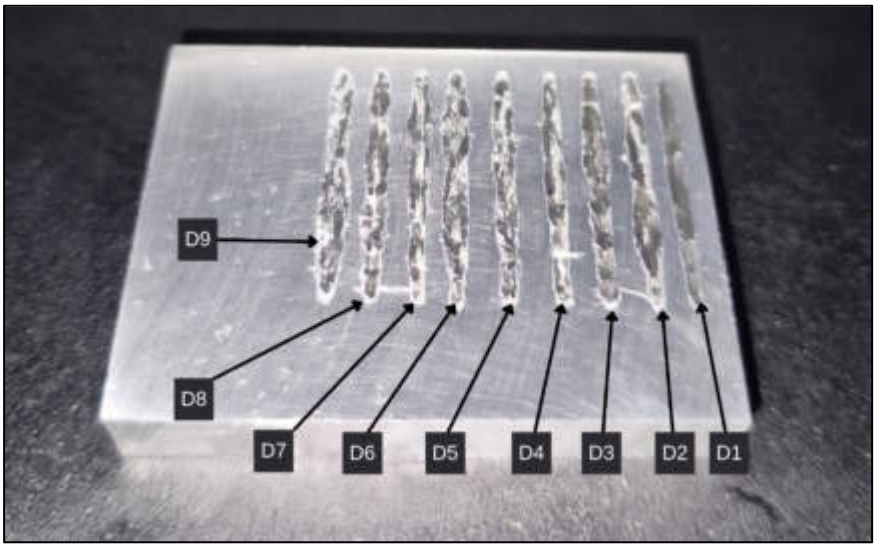
Triboloji deneyleri sonucunda iş parçasında meydana gelen aşınma izi profilleri Accretech HandySurf +45 portatif yüzey profilometresi ile ölçülmüş olup en derin noktası o deney için aşınma derinliği olarak kaydedilmiştir.

BULGULAR

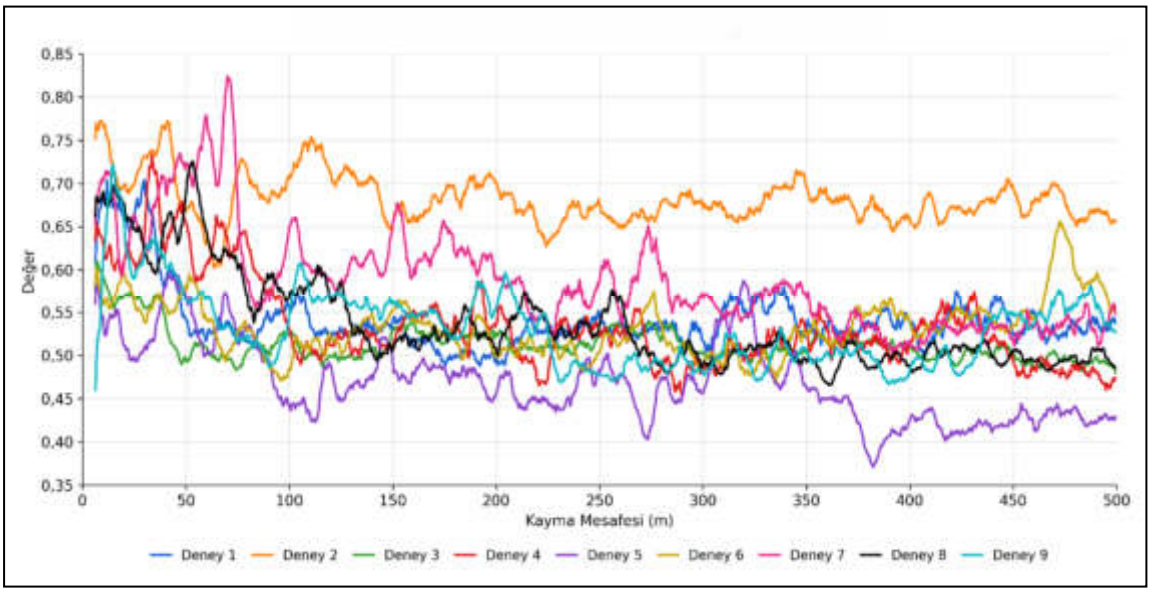
Sürtünme Katsayısı (Coefficient of Friction (CoF))

Birbiriyle temas halinde olan iki yüzey arasındaki bağıl hareketi/hareket eğilimi engelleyen direnç kuvvetine 'sürtünme' adı verilir. Tribolojik sistemlerde sürtünme, temas eden yüzeylerin malzeme özellikleri, yüzey topografyası, yük, kayma hızı ve ortam koşulları gibi birçok parametrenin ortak etkisiyle ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan sürtünmenin büyüklüğünün belirlenmesi, enerji kayıplarınını temas davranışının ve yüzey etkileşimlerinin değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir (Luo vd., 2021; Meng vd., 2022). Sürtünmenin kontrol edilemedi durumlarda mekanik enerjinin önemli bir bölümü ısı ve diğer enerji yayılım mekanizmalarıyla kaybedilmektedir. Buna bağlı olarakta enerji tüketimi, tema yüzeylerinde sıcaklık, yüzey hasarı artmakta ve kontrolsüz bir aşınma meydana gelmektedir. Karşılaşılan bu durumlar zama içerisinde parça geometrisinin ve yüzey özelliklerinin değişmesine, performans kaybına, bakım gereksiniminin artmasına ve bileşenlerin servis ömrünün düşmesine sebep olmaktadır. Nihayetinde de tribolojik performansın kaybedilerek küresel çapta enerji ve ekonomik kayıplara sebebiyet vermektedir (Liu vd., 2023). Belirtilen olumsuzluklarla karşılaşılmaması adına da sürtünmenin tespiti ve incelenmesi oldukça kritiktir. Yapılan deneyler neticesinde AlSi10Mg yüzeyinde oluşan aşınma izleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Tüm izler, ileri-geri hareketin 20 mm'lik strok boyu boyunca uzanmaktadır. Deneylere ait CoF–kayma mesafesi eğrileri Şekil 4'te birlikte, Şekil 5'te ise her deney için ayrı ayrı sunulmuştur. Eğrilerin tümünde tipik bir rodaj davranışı görülmektedir. Deneylerin başında CoF 0,6–0,8 aralığına yükselmiş, ilk yaklaşık 100 m içinde düşerek kararlı bir seviyeye yerleşmiştir. Bu bölgede yüzey asperiteleri deforme olur ve aşınır; temas, başlangıçtaki nokta temasından daha uyumlu (konform) bir temas geometrisine geçer (Khonsari vd., 2021).

Rodaj bölgesindeki en belirgin tepe 7. deneyde (WC, 5 N) yaklaşık 70 m'de görülmüş ve CoF yaklaşık 0,82'ye ulaşmıştır. 2. deneyde (100Cr6, 10 N) ise CoF rodaj sonrasında da belirgin biçimde azalmamış, deney boyunca 0,65–0,72 aralığında kalmıştır. 5. deneyde (Al_2O_3, 10 N) CoF yaklaşık 370 m'den sonra ikinci kez düşerek 0,40–0,43 seviyesine inmiştir. 6. deneyde (Al_2O_3, 15 N) ise yaklaşık 470 m'de CoF kısa süreliğine 0,65 civarına çıkmıştır. Kararlı bölgede gözlenen dalgalanmalar, ileri-geri kayma sırasında aşınma parçacıklarının temas bölgesinde birikip bölgeden atılmasıyla ilişkilendirilebilir.



Şekil 5. AlSi10Mg alaşımının deneyler sonrasındaki görüntüsü.

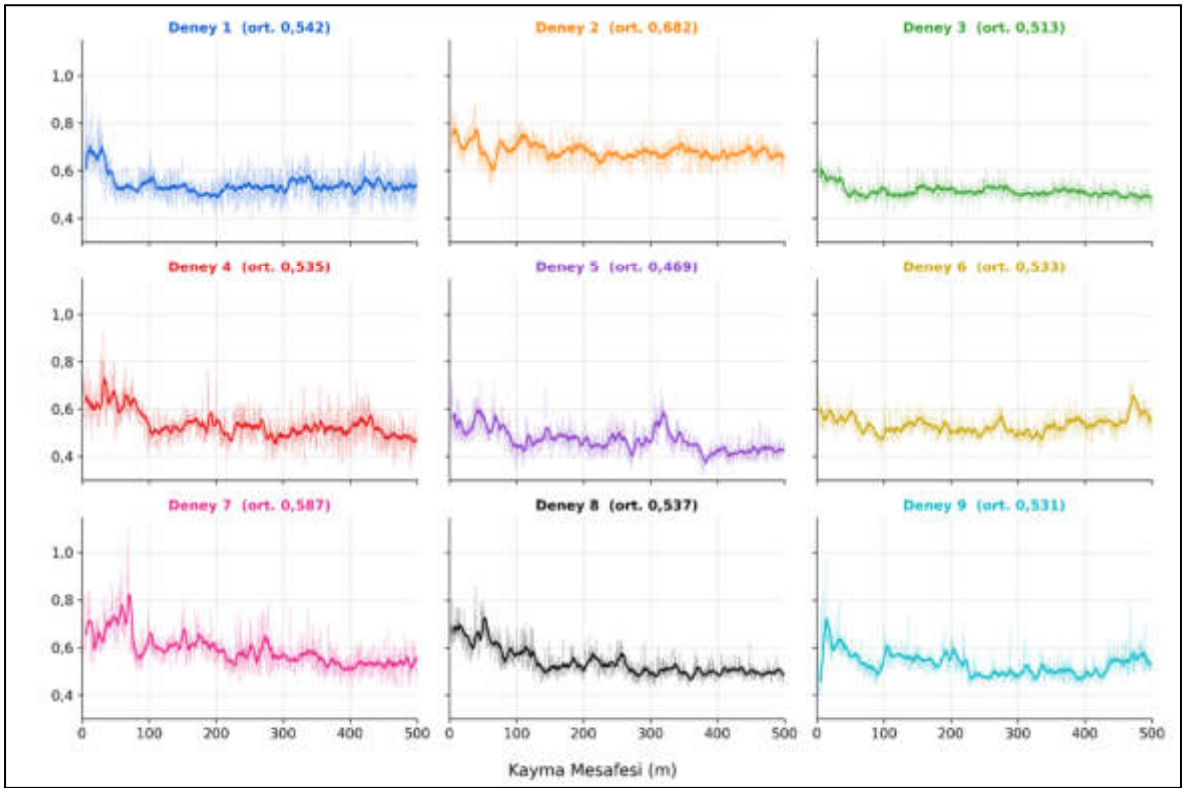


Şekil 6. Numunelerin CoF haritaları

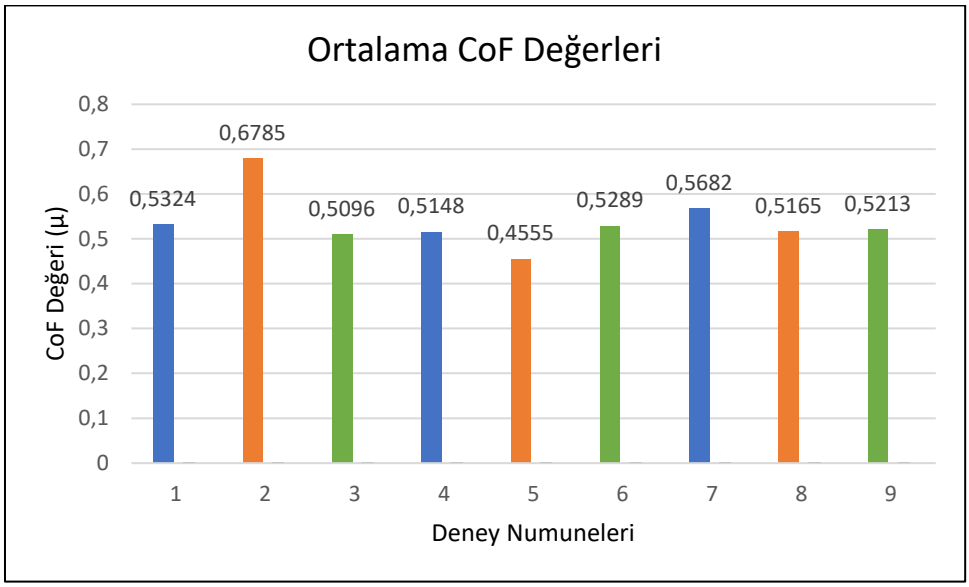
Rodaj bölgesi dışarıda bırakılarak hesaplanan ortalama CoF değerleri (ilk 80 m sonrası) Şekil 6'da, verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde gözlemlenen ortalama CoF değerlerinin literatürde gerçekleştirilen alüminyum alaşımlarının kuru kayma koşullarındaki değerleri ile benzer mertebelerde olduğu gözlemlenmektedir (Di Egidio vd., 2023a; Kan vd., 2021; Venettacci vd., 2022).

Tüm deneyler incelendiğinde yükün CoF değerlerine olan etkisinin monoton olmadığı ve karşıt yüzey malzemesine göre farklı eğilimler gösterdiği gözlemlenmektedir. Gözlemler ise:

- 100Cr6 bilyede CoF, 5 N yükten 10 N'a geçerken 0,5324'ten 0,6785'e yükselmiş ve deney setindeki en yüksek değere ulaşmıştır. 15 N altında ise 0,5096'ya düşmüştür. 10 N yük altında gözlemlenen pik, alüminyum alaşımlarında tanımlanan yük kaynaklı geçişe benzer şekilde, hafif oksidatif aşınma rejiminden adhezyonun baskın olduğu şiddetli aşınma rejimine geçişle ilişkilendirilmiştir. Bu geçişte ince oksit tabakası artan temas gerilmeleri altında kırılır, metal-metal teması yoğunlaşır ve alüminyum çelik bilyeye yoğun biçimde transfer olur. 15 N yük altında gözlemlenen düşüş ise yüksek yükte artan temas sıcaklığı ve deformasyonla ilişkilendirilmiştir (Gabrysiak vd., 2025).
- Al_2O_3 bilyede en düşük CoF değeri 10 N yük altında 0,4555 olarak elde edilmiş, 15 N yük altında ise CoF 0,5289'a yükselmiştir. 10 N'daki minimumun, bu yük seviyesinde oksitçe zengin koruyucu bir tribolojik tabakanın oluşmasına ancak henüz kırılmamasına bağlı olduğu düşünülmektedir (Di Egidio vd., 2023b). Ayrıca, 15 N'daki artış ise yüksek temas gerilmeleri altında bu tabakanın parçalanmasıyla ilişkilendirilmiştir (Gabrysiak vd., 2025).
- WC bilyede en yüksek değer 5 N'da 0,5682 μ görülmüş, 10 ve 15 N'da değerler oldukça yakın ve sırasıyla 0,5165 ve 0,5213 μ olarak görülmektedir. Düşük yükte daha yüksek CoF değeri ile karşılaşılmasının nedeni, aşınan partiküllerin temas bölgesinde yeterince sıkıştırılamayarak serbest üçüncü cisimler olarak kaldığı düşünülmektedir. WC bilye ile birlikte bu partiküllerin, özellikle kopan Si ve oksit partiküllerinin, disk yüzeyinde oluşturduğu ploughing etkisi sürtünme kuvvetine belirgin bir katkı sağlamış olabilir. Yük arttıkça aşınma partikülleri iz içinde sıkışarak daha sürekli bir tribolojik tabakaya dönüşmüş olabilir. Oluşan bu tabaka, serbest partiküllerin ploughing etkisini sınırlayarak sürtünme katsayısını düşürür (Costa vd., 2017). 10 ve 15 N'daki değerlerin hata sınırları içinde örtüşmesi, bu yük aralığında tabakanın kararlı hâle geldiğini ve WC–AlSi10Mg çiftinin görece kararlı bir rejimde çalıştığını göstermektedir.



Şekil 7. Her bir deneyin CoF –kayma mesafesi grafiği

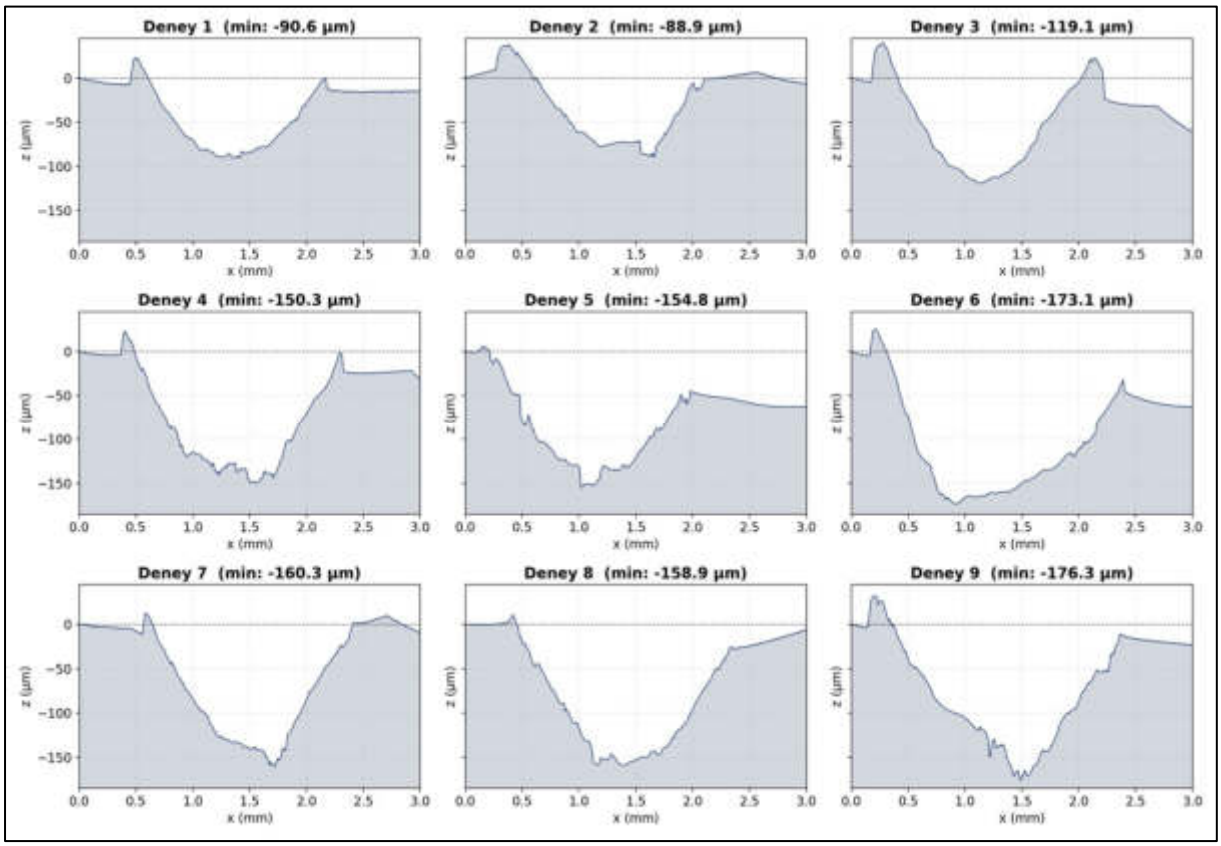


Şekil 8. Rodaj sonrası ortalama CoF değerleri

Normal yükün CoF üzerinde tek yönlü bir etkisi görülmemiştir. Yük seviyelerine göre ortalamalar 5 N'de 0,539, 10 N'de 0,550 ve 15 N'de 0,520'dir. Bununla birlikte, en yüksek (2. deney) ve en düşük (5. deney) CoF değerlerinin ikisi de 10 N yük altında elde edilmiştir. Yani karşıt yüzeyler arasındaki fark en çok 10 N'de açılmıştır.

Aşınma Derinlikleri

Aşınma izlerinin profilometre ile ölçülen kesit profilleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Aşınma profilleri

Aşınma derinliği üzerinde en etkili parametre karşıt yüzey malzemesi olarak ortaya çıkmaktadır. En sığ izler 100Cr6 bilye ile oluşmuştur (88,9–119,1 µm; ortalama 99,5 µm). Al_2O_3 bilyede derinlikler 150,3–173,1 µm (ortalama 159,4 µm), WC bilyede ise 158,9–176,3 µm (ortalama 165,2 µm) aralığındadır. Buna göre Al_2O_3 bilye 100Cr6'ya göre ortalamada yaklaşık %60, WC bilye ise yaklaşık %66 daha derin izler oluşturmuştur. Bu fark en düşük yükte bile belirgindir: 5 N'de Al_2O_3 ile oluşan iz 100Cr6'ya göre 1,66 kat, WC ile oluşan iz ise 1,77 kat daha derindir. Ölçülen en büyük derinlik 9. deneyde (WC, 15 N) 176,3 µm, en küçük derinlik ise 2. deneyde (100Cr6, 10 N) 88,9 µm'dir.
Normal yük, üç karşıt yüzeyde de benzer bir eğilim oluşturmuştur. 5 N ile 10 N'de ölçülen derinlikler birbirine çok yakındır:
100Cr6: 90,6 ve 88,9 µm
Al_2O_3: 150,3 ve 154,8 µm
WC: 160,3 ve 158,9 µm
Yük 15 N'ye çıkarıldığında ise tüm bilyelerde derinlik belirgin biçimde artmıştır. 10 N'ye göre artış 100Cr6 bilyede yaklaşık %34 (119,1 µm), Al_2O_3 bilyede %12 (173,1 µm) ve WC bilyede %11'dir (176,3 µm). Yük ortalamaları da bu eğilimi doğrulamaktadır: ortalama derinlik 5 N'de 133,7 µm, 10 N'de 134,2 µm ve 15 N'de 156,2 µm'dir.
Profillerin çoğunda (özellikle 1., 3., 4. ve 6. deneyler) izin iki kenarında, başlangıç yüzeyinin 20–40 µm üzerine çıkan yığılma sırtları görülmektedir. Bu sırtlar, malzemenin yalnızca yüzeyden kaldırılmadığını, plastik deformasyonla izin kenarlarına itildiğini de göstermektedir. 2. deneyin profilinde iz tabanı yaklaşık 1,2–1,6 mm aralığında düzleşmiştir. Bu durum, bilye temas yüzeyinin deney sırasında aşınarak düzleşmiş olabileceğine işaret etmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Deneylerde kullanılan Al_2O_3 ve WC bilyelerin aşınma izlerinin 100Cr6'ya göre yaklaşık %60–66 daha derin olması, sadece temas basıncındaki farkla açıklanamamaktadır. Karşıt yüzeylerin elastik özelliklerinin ilk temas basıncını üzerindeki etkilerini de dikakte almak gerekmektedir. Bu amaçla her bir bilye malzemesinin 5 N yük altındaki maksimum ilk temas basıncı Hertz teorisiyle hesaplanmıştır. bir hesap yapılmıştır. Hesaplamada genel literatür değerleri kullanılmıştır: $E(AlSi10Mg) \approx 70$ GPa, $E(100Cr6) \approx 210$ GPa, $E(Al_2O_3) \approx 380$ GPa, $E(WC) \approx 620$ GPa. Sonuç olarak 100Cr6, Al_2O_3 ve WC bilyelerin 5N yük altındaki maksimum ilk temas basınçları sırasıyla 0,72 GPa, 0,77 GPA ve 0,81 GPa oalrak hesaplanmıştır.
Bu değerlerin hepsi, LPBF ile üretilmiş AlSi10Mg'nin akma dayanımının üzerindedir. Dolayısıyla temas deneyin ilk anından itibaren plastiktir; izlerin kenarlarında görülen yığılma sırtları da bunu desteklemektedir. Elastik moduldeki farkın sağladığı küçük basınç farkı, %60'ın üzerindeki derinlik farkını açıklamaya yetmemektedir. Bununla birlikte, ortalama derinliğin elastik modul sıralamasını ($WC > Al_2O_3 > 100Cr6$) izlemesi, temas basıncının ikincil bir katkısı olduğunu düşündürmektedir.
Bu nedenle, gözlenen farkın temel nedeninin bilye malzemelerinin aşınma direnci ve kimyasal özellikleriyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Al_2O_3 ve WC bilyeler, 100Cr6 rulman çeliğine kıyasla oldukça yüksek sertliğe sahip olduğundan, kayma sırasında bilyelerde meydana gelen aşınmanın ihmal edilebilir düzeyde kaldığı ve dolayısıyla temas geometrisinin büyük ölçüde korunduğu söylenebilir. Bu durumda, sert bilye yüzeyi AlSi10Mg yüzeyinde daha belirgin bir abrazif aşınmaya neden olmaktadır. Ayrıca, alaşımdan kopan Si ve oksit esaslı parçacıkların temas bölgesinde birikerek üçüncü cisim gibi davranması, aşınma sürecini daha da hızlandırmış olabilir (Costa vd., 2017).
Buna karşılık, 100Cr6 bilyenin kullanıldığı deneylerde bilyenin kendisinde de belirgin bir aşınma meydana gelmiş ve temas yüzeyinde düzleşme oluşmuştur. Bilyenin düzleşmesiyle birlikte gerçek temas alanının artması, temas basıncının azalmasına neden olmaktadır.

Nitekim, 2. deneye ait aşınma profilinde gözlenen düz tabanlı geometri, bilye yüzeyindeki bu değişimle uyumlu görünmektedir.

Elde edilen sonuçlar, CoF ile aşınma derinliği arasında doğrudan bir ilişkinin bulunmadığını göstermektedir. En yüksek ortalama CoF değerleri 100Cr6 bilye kullanılan deneylerde elde edilirken, en düşük aşınma derinlikleri de yine bu bilyelerle gerçekleştirilen deneylerde ölçülmüştür. Buna karşılık, en düşük ortalama CoF değerleri Al_2O_3 bilyelerle elde edilmesine rağmen, en derin aşınma izleri WC ve Al_2O_3 bilyelerin kullanıldığı deneylerde görülmüştür. Bu durum, sürtünme katsayısının tek başına aşınma miktarını açıklamak için yeterli olmadığını göstermektedir. Sürtünme kuvveti esas olarak arayüzeydeki kayma direncini ve buna bağlı olarak harcanan mekanik enerjiyi yansıtır. Bu enerjinin ne ölçüde malzeme kaybına dönüşeceği ise temas koşullarına ve baskın aşınma mekanizmasına bağlı olarak değişmektedir (Liu vd., 2023; Luo vd., 2021).

Çelik–alüminyum temas çiftinde adezyon ve malzeme transferi, arayüzeydeki kayma direncini artırarak CoF değerlerinin yükselmesine neden olabilir. Bununla birlikte, kayma sırasında harcanan enerjinin bir bölümü bilyenin aşınması ve transfer tabakasının sürekli olarak oluşup kopması gibi süreçlerde tüketiliyor olabilir. Al_2O_3 ise kimyasal olarak inert bir seramik olduğundan, alüminyum yüzeye karşı adezyon eğilimi çeliğe kıyasla daha düşüktür. Bu nedenle, Al_2O_3–AlSi10Mg çiftinde daha düşük CoF değerleri elde edilirken, temasın daha çok abraziv aşınma karakteri göstermesi ve buna bağlı olarak daha yüksek malzeme kaybının ortaya çıkması mümkündür.

Bu bulgu, eklemeli imalat yöntemiyle üretilen AlSi10Mg bileşenlerin tribolojik performansının yalnızca CoF değerleri dikkate alınarak değerlendirilmesinin yeterli olmayabileceğini göstermektedir. Özellikle sürtünme katsayısı ile aşınma miktarının farklı mekanizmalar tarafından belirlenebileceği dikkate alınmalıdır.

Üç farklı karşıt yüzey için de 5–10 N yük aralığında aşınma derinliğinin büyük ölçüde değişmemesi, temas geometrisinin kendini sınırlayan yapısıyla açıklanabilir. 3 mm yarıçaplı bir bilye için 150–160 µm derinliğe karşılık gelen geometrik iz genişliği yaklaşık 1,9–2,0 mm'dir ve bu değerler Şekil 7'de verilen profillerle uyumludur. İz derinliği arttıkça bilye ile aşınma izi arasındaki geometrik uyum da artmakta, buna bağlı olarak gerçek temas alanı genişlemekte ve temas basıncı azalmaktadır. Dolayısıyla, incelenen düşük yük aralığında iz belirli bir derinliğe ulaştıktan sonra, uygulanan yük iki katına çıksa bile aşınma derinliğindeki artış sınırlı kalmış olabilir.

Sonuçlar değerlendirilirken şu sınırlılıklar göz önünde bulundurulmalıdır:

- Deneyler her bir koşul için tek bir deney olacak şekilde yapılmıştır. Bu nedenle CoF'taki yaklaşık 0,01–0,02 düzeyindeki ve derinlikteki birkaç µm'lik farklar deneysel saçılma içinde kalabilir.
- Aşınma, iz boyunca tek bir kesitteki en derin nokta ile ifade edilmiştir. Aşınma hacmi ve özgül aşınma hızı ($mm^3/N \cdot m$) hesaplanmamıştır.
- Aşınma mekanizmalarına ilişkin yorumlar SEM/EDS analizleriyle doğrulanmamıştır.
- Bilye yüzeylerindeki aşınma ölçülmemiştir.

Mevcut çalışmada, Eİ kullanılarak üretilmiş AlSi10Mg yüzeylerin 100Cr6, Al_2O_3 ve WC bilyelere karşı 5, 10 ve 15 N yükler altındaki kuru sürtünme davranışları incelenmiştir. Elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- Rodaj bölgesi hesaba dahil edilmeden görülen ortalama CoF değerleri 0,4555–0,6785 µ değerleri arasındadır. Bu değerler, alüminyum alaşımlarının kuru kayma koşulları için literatürde bildirilen değerlerle benzer mertebededir.

- Yükün CoF'a etkisi monoton değildir ve karşıt yüzey malzemesine göre farklı eğilimler göstermektedir. Yük seviyelerine göre ortalama CoF değerlerin birbirine yakın olması, incelenen aralıkta yükün tek başına etkisinin sınırlı, yük ile karşıt yüzey malzemesi arasındaki etkileşimin ise tamamlayıcı olduğunu göstermektedir.
- 100Cr6 bilye en yüksek ortalama CoF değerini ve yüke karşı en yüksek duyarlılığı göstermiştir. 10 N'da elde edilen deney setindeki en yüksek değer 0,6785 μ adhezyonun baskın olduğu bir aşınma rejimine geçişle ilişkilendirilmiştir.
- Al_2O_3 bilye en düşük ortalama CoF değerini vermiş ve deney setindeki en düşük değer 0,4555 μ 10 N'da elde edilmiştir. Bu durum, bu yük seviyesinde oluşan koruyucu tribolojik tabakanın etkinliğine bağlanmıştır.
- WC bilyede sürtünme katsayısı 5 N'dan sonra düşmüş, 10 ve 15 N'da ise sırasıyla 0,5165 ve 0,5213 μ düzeyinde kararlı hâle gelmiştir. Bu davranış, artan yükle birlikte serbest üçüncü cisimlerin sıkışarak sürekli bir tribolojik tabakaya dönüşmesiyle açıklanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimesl Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (FBA-2025-14405)

KAYNAKLAR

Careri, F., Khan, R. H. U., Todd, C., & Attallah, M. M. (2023). Additive manufacturing of heat exchangers in aerospace applications: A review. *Applied Thermal Engineering*, *235*, 121387.

Costa, H. L., Oliveira Junior, M. M., & de Mello, J. D. B. (2017). Effect of debris size on the reciprocating sliding wear of aluminium. *Wear, 21st International Conference on Wear of Materials*, *376-377*, 1399-1410.

Di Egidio, G., Martini, C., Börjesson, J., Ghassemali, E., Ceschini, L., & Morri, A. (2023a). Dry sliding behavior of AlSi10Mg alloy produced by Laser-based Powder Bed Fusion: İnfluence of heat treatment and microstructure. *Wear*, *516-517*, 204602.

Di Egidio, G., Martini, C., Börjesson, J., Ghassemali, E., Ceschini, L., & Morri, A. (2023b). Dry sliding behavior of AlSi10Mg alloy produced by Laser-based Powder Bed Fusion: İnfluence of heat treatment and microstructure. *Wear*, *516-517*, 204602.

Dong, E., Chang, T., Zhao, L., Xing, Y., Chen, J., Chen, M., Lu, J., & Cheng, J. (2024). Laser metal deposition of AlSi10Mg for aeroengine casing repair: Microhardness, wear and corrosion behavior. *Materials Today Communications*, *38*, 108412.

Gabrysiak, K., Boehm, A. V., Gustmann, T., Leyens, C., & Kühn, U. (2025). Elevated-temperature strength and wear behavior of Al80Mn11Ce9 processed by laser powder bed fusion. *Journal of Materials Research and Technology*, *37*, 2327-2337.

Ghio, E., & Cerri, E. (2022). Additive Manufacturing of AlSi10Mg and Ti6Al4V Lightweight Alloys via Laser Powder Bed Fusion: A Review of Heat Treatments Effects. *Materials*, *15*(6), 2047.

Han, M., Kaşıkcıoğlu, S., Ergene, B., Atlıhan, G., & Bolat, Ç. (2025). An experimental investigation on the mechanical and wear responses of lightweight AlSi10Mg components produced by selective laser melting: Effects of building direction and test force. *Science of Sintering*, *57*(1), 87-101.

Kan, W. H., Huang, S., Man, Z., Yang, L., Huang, A., Chang, L., Nadot, Y., Cairney, J. M., & Proust, G. (2021). Effect of T6 treatment on additively-manufactured AlSi10Mg sliding against ceramic and steel. *Wear*, *482-483*, 203961.

Khonsari, M. M., Ghatrehsamani, S., & Akbarzadeh, S. (2021). On the running-in nature of metallic tribo-components: A review. *Wear*, *474-475*, 203871.

Li, S., Yue, X., Li, Q., Peng, H., Dong, B., Liu, T., Yang, H., Fan, J., Shu, S., Qiu, F., & Jiang, Q. (2023). Development and applications of aluminum alloys for aerospace industry. *Journal of Materials Research and Technology*, *27*, 944-983.

Liu, H., Yang, B., Wang, C., Han, Y., & Liu, D. (2023). The mechanisms and applications of friction energy dissipation. *Friction*, *11*(6), 839-864.

Luo, J., Liu, M., & Ma, L. (2021). Origin of friction and the new frictionless technology—Superlubricity: Advancements and future outlook. *Nano Energy*, *86*, 106092.

Meng, Y., Xu, J., Ma, L., Jin, Z., Prakash, B., Ma, T., & Wang, W. (2022). A review of advances in tribology in 2020–2021. *Friction*, *10*(10), 1443-1595.

Salerno, E., Casotti, D., Paolicelli, G., Gualtieri, E., Ballestrazzi, A., Gazzadi, G. C., Bolelli, G., Lusvarghi, L., Valeri, S., & Rota, A. (2023a). Friction and wear of DLC films deposited on additive manufactured AlSi10Mg: The role of surface finishing. *Surface and Coatings Technology*, *463*, 129531.

Salerno, E., Casotti, D., Paolicelli, G., Gualtieri, E., Ballestrazzi, A., Gazzadi, G. C., Bolelli, G., Lusvarghi, L., Valeri, S., & Rota, A. (2023b). Friction and wear of DLC films deposited on additive manufactured AlSi10Mg: The role of surface finishing. *Surface and Coatings Technology*, *463*, 129531.

Sultana, R., Kumar, V., Kumar, M., Saddashivareddy, N. K., Vasanth, S., Avalappa, M. G., Mahale, R. S., & Chikmath, L. (2026). Studies on Tribological and Mechanical Behavior of AlSi10Mg Processed by Selective Laser Melting. *Engineering Reports*, *8*(2), e70586.

Tonolini, P., Montesano, L., Tocci, M., Pola, A., & Gelfi, M. (2021). Wear Behavior of AlSi10Mg Alloy Produced by Laser-Based Powder Bed Fusion and Gravity Casting. *Advanced Engineering Materials*, *23*(10), 2100147.

Venettacci, S., Ponticelli, G. S., Guarino, D., & Guarino, S. (2022). Tribological properties of Laser Powder Bed Fused AlSi10Mg: Experimental study and statistical analysis. *Journal of Manufacturing Processes*, *84*, 1103-1121.

Wang, K. (2024). Influence of Laser Energy Density on Tribological Properties of AlSi10Mg Manufactured by Selective Laser Melting. *Materials*, *17*(2), 323.

Yilmaz, M. S., Muhaffel, F., Tütük, İ., Cingöz, U. C., & Özer, G. (2026). Investigation of the effects of solution rapid treatment on wear properties of AlSi10Mg alloy. *Progress in Additive Manufacturing*.

Zhao, L., Song, L., Santos Macias, J. G., Zhu, Y., Huang, M., Simar, A., & Li, Z. (2022). Review on the correlation between microstructure and mechanical performance for laser powder bed fusion AlSi10Mg. *Additive Manufacturing*, *56*.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT SOIL CLASSES ON THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

Research Assistant Burak ÇAKIL
Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering
ORCID: 0000-0002-4972-8874

Dr. Ozan İNCE
Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering
ORCID: 0000-0002-6319-1129

Prof. Dr. Erkut SAYIN
Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering
ORCID: 0000-0003-0266-759X

Assoc. Prof. Dr. Mesut GÖR
Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering
ORCID: 0000-0002-5463-9278

Dr. Elif Gökçe İNCE
Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering
ORCID: 0000-0001-6003-9052

ABSTRACT

The extent of damage caused by earthquakes to structures can vary considerably depending not only on the magnitude of the earthquake but also on local soil conditions. Structures located in areas with different soil characteristics may exhibit different dynamic responses under the same earthquake excitation due to soil–structure interaction. In particular, amplification of seismic waves in soft soils can increase the lateral loads and displacement demands imposed on structures, thereby adversely affecting their seismic performance. Therefore, soil class is considered one of the fundamental parameters in seismic codes for determining earthquake-induced loads. Accurate assessment of the influence of soil conditions on structural response is of great importance for achieving safe and economical structural design.

In this study, the effect of soil class on the seismic response of a reinforced concrete building was investigated numerically. The investigated structure was modeled as a regular nine-story reinforced concrete building with a dual structural system consisting of shear walls and moment-resisting frames. The analyses were performed using an elastic analysis approach in accordance with the provisions of the Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018). To ensure a consistent comparison, the building geometry, structural system configuration, and material properties were kept constant throughout all analyses, while only the ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE local soil classes were considered to represent different soil conditions. The analysis results were compared in terms of maximum displacement, inter-story drift, and base shear force. The results showed that the structural demands obtained for the ZA and ZB soil classes were very close to each other, whereas pronounced increases in maximum displacement, inter-story drift, and base shear force were observed starting from the ZC soil class.

The highest structural demands were obtained for the ZE soil class, demonstrating that local soil conditions have a significant influence on the seismic response of the structure.
Keywords: Soil class, earthquake engineering, reinforced concrete structures, structural performance

1. INTRODUCTION

Earthquakes are among the most destructive natural hazards, posing a direct threat to structural safety and causing substantial loss of life and property. A striking example is the Kahramanmaraş earthquake sequence of February 6, 2023. The Mw 7.7 and Mw 7.6 earthquakes, centered in Pazarcık and Elbistan, respectively, and occurring approximately nine hours apart, caused widespread damage and collapse across a large geographical area, particularly in reinforced concrete buildings. Post-earthquake investigations identified numerous structural and construction-related deficiencies, including soft stories, short columns, insufficient shear walls, inadequate reinforcement detailing, poor material quality, and workmanship deficiencies [1–9]. Regional damage assessments further demonstrated the extensive impact of the earthquakes, with significant building damage ratios reported in some settlements. However, the observed damage cannot be attributed solely to structural and construction deficiencies. Ground-motion characteristics and local site conditions also play an important role in determining seismic demand. Studies following the Kahramanmaraş earthquakes have shown that recorded ground motions exceeded code-based design levels in some regions and that local soil conditions should be considered when interpreting the observed damage distribution [9,10]. The seismic response of a structure depends not only on its geometry, material properties, and structural strength but also on the characteristics of the supporting soil. The same earthquake motion can exhibit substantially different amplitude and frequency characteristics under different soil conditions, leading to variations in seismic demand. Previous earthquake studies have shown that local site conditions can significantly affect damage distribution by modifying ground-motion characteristics. Borcherdt et al. (1989) investigated ground motions and damage patterns under different soil conditions and demonstrated that local site conditions can significantly amplify earthquake ground motions [11]. The propagation of seismic waves through soil layers can alter ground-motion characteristics and cause significant amplification, particularly in soft soils. This effect is closely related to soil stiffness, shear-wave velocity, layer thickness, and damping. Şafak (2001) showed that local site effects can modify the amplitude and frequency content of seismic waves and emphasized the importance of considering site amplification in seismic design [12]. Therefore, evaluating structural seismic response without considering local soil conditions may not adequately represent the actual seismic demand. With the implementation of the Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018), the influence of local site conditions on seismic analysis has been addressed in greater detail in Türkiye. The code defines six local soil classes, namely ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, and ZF. This classification indicates that soil conditions are not merely a geotechnical characterization but also constitute a parameter that directly influences the construction of the seismic design spectrum [13]. The influence of local site conditions on structural seismic response has been investigated by several researchers. Özgür and Bozdoğan (2022) emphasized the importance of considering soil conditions by demonstrating their effects on the fundamental period, damping, and seismic design parameters of reinforced concrete buildings [14]. Tam and Yön (2024) found that changes from ZA to ZE soil classes affected structural capacity, load factors, and plastic hinge distribution in a reinforced concrete building [15]. Kim et al. (2025) showed that average shear-wave velocity, soil depth, and predominant soil period can significantly influence the seismic response of reinforced concrete structures [16].

Following the Kahramanmaraş earthquakes, Tan et al. (2026) reported that identical residential blocks in Gaziantep located on ZD soil experienced collapse, whereas blocks on the stiffer ZC soil survived, with first-story drift demands 30–50% higher on the softer soil [17]. Taken together, these studies demonstrate that local soil conditions can significantly influence structural seismic response. However, evaluating different soil classes for the same structural system in terms of maximum displacement, inter-story drift, and base shear force can provide a clearer assessment of site effects. Keeping the structural geometry, system, and other properties constant while varying only the local soil class enables a direct comparison of the resulting seismic demands.

In this study, an nine-story reinforced concrete building was analyzed for the ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE local soil classes defined in TBEC-2018. To ensure a consistent comparison, the structural geometry, structural system, material properties, and other analysis parameters were kept unchanged, while only the local soil class was varied. The resulting seismic demands were compared in terms of maximum displacement, inter-story drift, and base shear force. The study aims to demonstrate that soil class is not merely a geotechnical classification but a key parameter that can significantly influence the seismic demands imposed on a structure.

2. MATERIALS AND METHOD

In this study, the seismic behavior of a nine-story reinforced concrete building with identical structural characteristics was investigated under different local soil conditions. For this purpose, the structural model and all other analysis parameters were kept constant, while only the local soil class was varied, and analyses were performed for ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE soil conditions. The results obtained from the analyses were compared in terms of maximum displacement, inter-story drift, and base shear force.

2.1 Soil Classifications

In the Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018), local soil classes are defined as ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, and ZF based on the characteristics of the upper 30 m soil profile. The classification of soil classes is primarily based on geotechnical parameters such as shear-wave velocity, standard penetration test results, and undrained shear strength. The main characteristics of these soil classes are presented in Table 1 [13].

Table 1. Local soil classes according to TBEC-2018 [13]

Local Soil Class	**Soil Type**	**Average over the Upper 30 m**		
		$(Vs)_{30}$ *[m/s]*	$(N_{60})_{30}$ *[blows/30 cm]*	$(c_u)_{30}$ *[kPa]*
ZA	Sound, hard rock	> 1500	–	–
ZB	Slightly weathered, moderately strong rock	760–1500	–	–
ZC	Very dense sand, gravel, and hard clay layers, or weathered, highly fractured weak rock	360–760	> 50	> 250
ZD	Medium-dense to dense sand or gravel, or very stiff clay layers	180–360	15–50	70–250
ZE	Loose sand or gravel, or soft to stiff clay layers; or profiles containing a soft clay layer thicker than 3 m that satisfies PI > 20 and w > 40% conditions, with c_u < 25 kPa	< 180	< 15	< 70
ZF	Soils requiring site-specific investigation and assessment: 1) Soils with a risk of collapse and potential collapse under earthquake effects (e.g., liquefiable soils, highly sensitive clays, collapsible soils, etc.); 2) Clays with a total thickness greater than 3 m containing peat and/or high organic content; 3) High-plasticity clays (PI > 50) with a total thickness greater than 8 m; 4) Very soft or medium-stiff clays with a total thickness greater than 35 m.	–	–	–

As shown in Table 1, as the soil classification changes from ZA to ZE, the stiffness and shear-wave velocity of the soil generally decrease, while its influence on earthquake ground motion changes accordingly. These differences also lead to variations in the design spectra developed for different local soil classes. Therefore, a structure with the same structural system cannot be expected to experience the same seismic demand under different soil conditions. In this study, the ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE soil classes were considered, whereas the ZF class was excluded from the scope of the study because it represents special soil conditions that require site-specific geotechnical evaluation.

3. NUMERICAL MODELING

In this study, a nine-story reinforced concrete building was modeled to investigate the effect of local soil classes on seismic response. The structural geometry, system characteristics, material properties, and other structural parameters were kept constant in all analyses, while only the seismic parameters associated with the soil class were varied. The resulting responses for the ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE soil classes were compared to assess the effects of local soil conditions. The building consists of reinforced concrete columns, beams, and shear walls. The typical story plan, including the arrangement and cross-sectional dimensions of the structural members, together with the three-dimensional finite element model of the building, is presented in Figure 1.

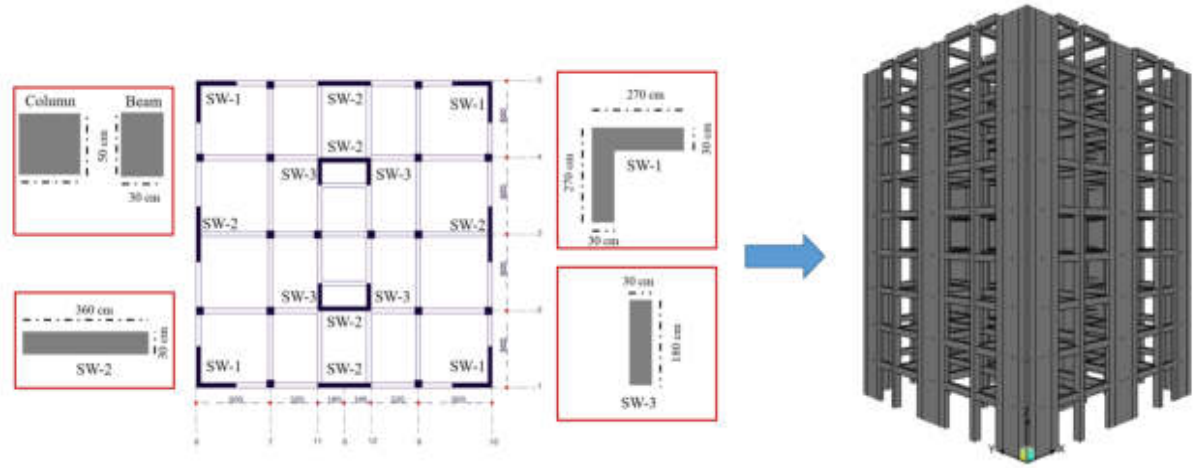


Figure 1. Typical story plan, cross-sectional dimensions of the structural members, and three-dimensional finite element model of the building

In the numerical model, floor slabs were not explicitly considered as structural elements, and the rigid diaphragm assumption was adopted to represent the in-plane behavior of each floor. Floor loads were assigned to the beams at the corresponding story levels and included in the dynamic analysis of the structure. The numerical modeling and analyses were carried out using SAP2000 [18]. The location selected for the numerical study is shown in Figure 2. The seismic parameters required under TBEC-2018 were determined for the building location, and the corresponding design spectra were generated for the ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE local soil classes at the same location. The building location and the main structural and seismic parameters used in the analyses are presented in Table 2.

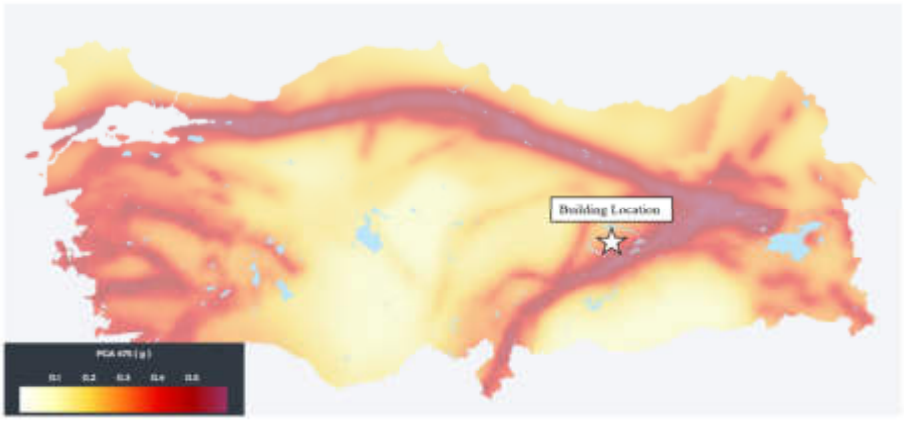
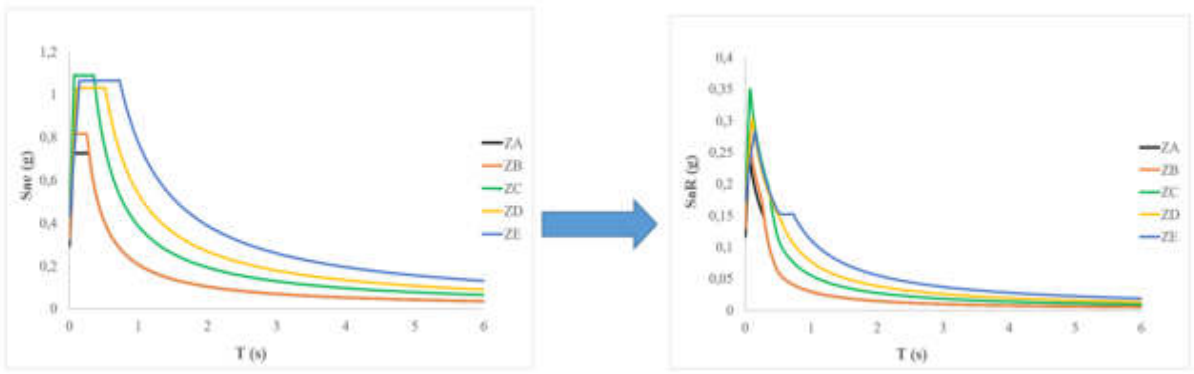


Figure 2. Location of the investigated building [19]

Table 2. Structural and seismic parameters of the numerical model

Parameter	Value
Building use	Residential
Number of stories	9
Importance factor, I	1.0
Structural system	Reinforced concrete frame + shear walls
Concrete class	C30/37
Reinforcement steel class	S420
Response modification factor, R	7.0
Overstrength factor, D	2.5
Building coordinates	Latitude: 38.672365° N; Longitude: 39.188265° E
Analysis method	Response Spectrum Analysis
Analysis type	Linear elastic analysis
Damping ratio	5%
Local soil classes	ZA, ZB, ZC, ZD, ZE

For the analyses, the elastic design spectra corresponding to the ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE soil classes at the building location were generated in accordance with the provisions of TBEC-2018. The corresponding reduced design spectra were also obtained for use in the linear elastic seismic analysis of the building. The elastic and reduced design spectra generated for the different soil classes are comparatively presented in Figure 3. In this way, the differences in seismic demand resulting solely from changes in the local soil class were incorporated into the analysis model while keeping the structural model unchanged.



(a) (b)

Figure 3. (a) Elastic and (b) reduced design spectra for ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE soil classes

To provide the seismic response of the reinforced concrete structural system, effective section stiffnesses were considered for the structural members. Accordingly, effective stiffness values of 0.70EI, 0.50EI, and 0.35EI were adopted for the columns, shear walls, and beams, respectively. The same effective stiffness values were used in all analyses to ensure that the structural system properties remained constant when comparing the effects of different soil classes.

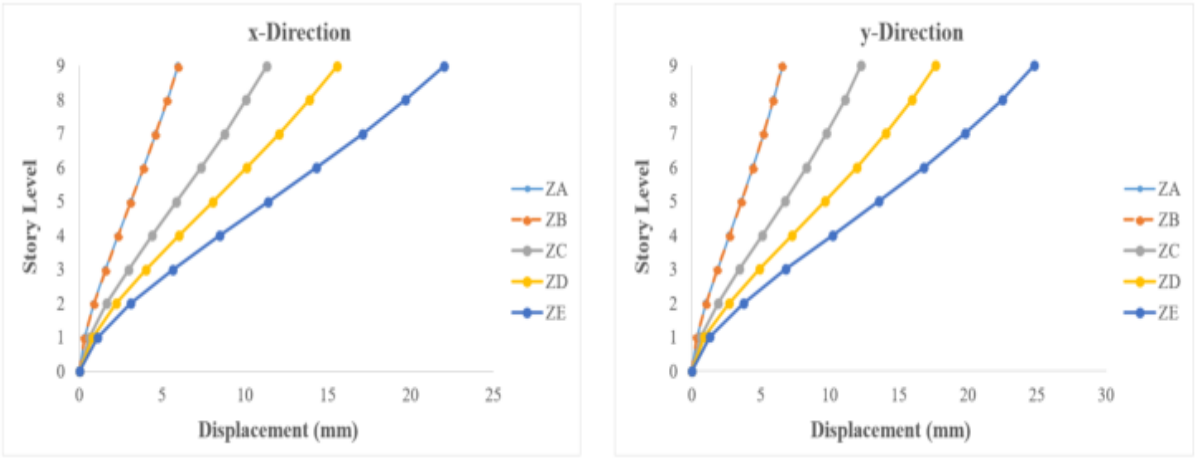
Based on this modeling approach, five analysis models were developed for the building with identical structural characteristics, with only the local soil class being varied. The analysis results are compared in the following section in terms of maximum displacement, inter-story drift, and base shear force.

4. DISCUSSION

In this section, the results obtained from the linear elastic response spectrum analyses performed for the ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE local soil classes are compared. Since the structural model and analysis assumptions were kept identical for all cases, the effect of changes in soil class on structural response can be directly evaluated. Within this scope, the results were examined in terms of three main parameters: maximum displacement, inter-story drift, and base shear force. The results obtained for each parameter are presented graphically, and the differences between the soil classes are discussed in terms of structural response.

4.1 Maximum Displacement

The variation of maximum displacement values along the building height for the different local soil classes is presented in Figure 4.



(a) (b)

Figure 4. Variation of maximum displacements along the building height for ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE soil classes: (a) x-direction, (b) y-direction

According to the results, the maximum displacements occur at the 9th story. In the x-direction, the top-story displacements were 5.97, 5.97, 11.30, 15.55, and 22.04 mm for ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE soil classes, respectively, while the corresponding y-direction values were 6.55, 6.56, 12.27, 17.63, and 24.82 mm. The results show negligible differences between ZA and ZB, whereas displacements increase significantly from ZC to ZE.

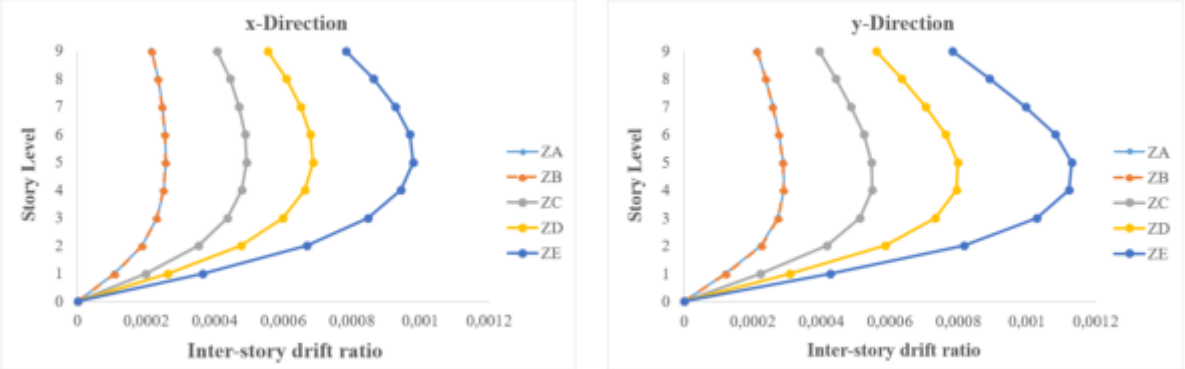
The highest displacement values in both directions were obtained for the ZE soil class. This indicates that softer soil conditions with lower stiffness can increase the deformation demands imposed on the structure under earthquake loading. In addition, the displacement values in the y-direction are higher than those in the x-direction for all soil classes, indicating that the dynamic response of the structure is not identical in the two horizontal directions.

4.2 Inter-story Drift

The inter-story drift ratios obtained for the different soil classes are presented in Figure 5. The results indicate a noticeable increase in inter-story drift as the soil class changes from ZA to ZE. This increase becomes particularly pronounced for the ZD and ZE soil classes.

The values obtained for the ZA and ZB soil classes are relatively close to each other, whereas the inter-story drift demands increase under the less stiff ZC, ZD, and particularly ZE soil conditions. The generally higher values in the y-direction compared with the x-direction also indicate that the structural response differs between the two horizontal directions.

These findings demonstrate that changes in soil conditions affect not only the overall displacement of the structure but also the deformation demands developing between adjacent stories.



(a) (b)

Figure 5. Variation of inter-story drift ratios along the building height for ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE soil classes: (a) x-direction, (b) y-direction

4.3 Base Shear Force

The base shear forces obtained for the ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE soil classes are presented in Table 3 and Figure 6.

Table 3. Base shear forces for different soil classes (kN)

Direction	ZA	ZB	ZC	ZD	ZE
x	2044	2090	3698	4780	6519
y	1777	1804	3220	4351	5932

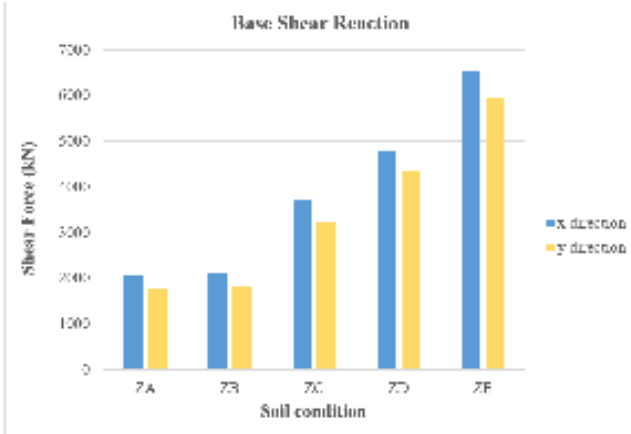


Figure 6. Base shear forces for different soil classes

As shown in Table 3, the base shear force increases significantly in both horizontal directions as the soil class changes from ZA to ZE. In the x-direction, the base shear force increases from 2044 kN for the ZA soil class to 6519 kN for the ZE soil class. In the y-direction, the corresponding value increases from 1777 kN to 5932 kN. Thus, the highest base shear forces in both directions were obtained for the ZE soil class, while the lowest values were obtained for the ZA soil class. While the difference between the ZA and ZB soil classes is relatively limited, a significant increase in base shear force is observed starting from the ZC soil class.

This finding demonstrates that changes in soil class affect not only displacement and inter-story drift demands but also the total horizontal seismic force transmitted to the structure. The fact that the base shear forces are consistently higher in the x-direction than in the y-direction for all soil classes also indicates that the seismic demands of the structure differ between the two horizontal directions.

5. CONCLUSIONS

In this study, linear elastic response spectrum analyses were performed for a nine-story reinforced concrete building considering ZA, ZB, ZC, ZD, and ZE soil classes to evaluate the effect of local soil conditions on structural response. The main findings are summarized below:

- A significant increase in maximum displacement was observed as a function of soil class. Taking the ZA soil class as the reference, the maximum displacement increased by 89% in the x-direction and 87% in the y-direction for the ZC soil class. These increases reached 161% and 169% for the ZD soil class, and 269% and 279% for the ZE soil class, respectively.
- The inter-story drift results were also highly sensitive to changes in soil class. Compared with the ZA soil class, the maximum inter-story drift increased by 91% in the x-direction and 88% in the y-direction for the ZC soil class. These increases reached 167% and 173% for the ZD soil class, while increases of 281% and 288% were obtained for the ZE soil class in the x- and y-directions, respectively. These results show that softer soil conditions significantly increase not only the overall displacement demand but also the deformation demands between adjacent stories.
- The increase in base shear force associated with changes in soil class became even more pronounced. Compared with the ZA soil class, the base shear force increased by 81% in both the x- and y-directions for the ZC soil class. For the ZD soil class, the increases were 134% in the x-direction and 145% in the y-direction, while for the ZE soil class, they reached 219% and 234% in the x- and y-directions, respectively.
- The results obtained for the ZA and ZB soil classes were found to be very close to each other. In contrast, significant increases in maximum displacement, inter-story drift, and base shear force were observed starting from the ZC soil class, with the highest demands consistently obtained for the ZE soil class. This finding demonstrates that the local soil class should not be regarded merely as a classification parameter in structural analysis, but rather as an important factor that directly influences the seismic demand imposed on the structure.
- When the structural response in the two horizontal directions was examined, the maximum displacement and inter-story drift values were generally higher in the y-direction, whereas the base shear forces were higher in the x-direction. This difference can be attributed to the differences in the stiffness and dynamic characteristics of the structural system in the two horizontal directions.

ACKNOWLEDGEMENTS

During the preparation of this work, ChatGPT was used to improve the grammar, clarity, and readability of the text. All scientific analyses, interpretations, and conclusions were developed by the authors, who reviewed and take full responsibility for the final manuscript.

REFERENCES

[1] Ivanov, M. L., & Chow, W. K. (2023). Structural damage observed in reinforced concrete buildings in Adiyaman during the 2023 Turkiye Kahramanmaras Earthquakes. In Structures (Vol. 58, p. 105578). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105578

[2] Avğın, S., Köse, M. M., & Özbek, A. (2024). Damage assessment of structural and geotechnical damages in Kahramanmaraş during the February 6, 2023 earthquakes. Engineering Science and Technology, an International Journal, 57, 101811. https://doi.org/10.1016/j.jestch.2024.101811

[3] Gürsoy, Ş., & Aydoğan, F. B. Ç. (2024). 06 February 2023 Kahramanmaraş earthquakes (Mw= 7.8 and 7.6) field observations and preliminary assessment report. Engineering Science and Technology, an International Journal, 60, 101898. https://doi.org/10.1016/j.jestch.2024.101898

[4] İnce, O. (2024). Structural damage assessment of reinforced concrete buildings in Adıyaman after Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes on 6 February 2023. Engineering Failure Analysis, 156, 107799. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107799

[5] Gurbuz, T., & Cengiz, A. (2025). Structural damages during the February 06, 2023 Kahramanmaraş earthquakes in Turkey. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 191, 109214. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2025.109214

[6] Özmen, A., İnce, O., Taş, Ö. F., Atar, M., Ozbulut, O. E., & Sayın, E. (2025). Seismic performance assessment of structures in Malatya Province after 6 February 2023 Turkey earthquake sequences. Natural Hazards, 121(5), 5293-5326. https://doi.org/10.1007/s11069-024-07017-x

[7] Vuran, E., Serhatoğlu, C., Timurağaoğlu, M. Ö., Smyrou, E., Bal, İ. E., & Livaoğlu, R. (2025). Damage observations of RC buildings from 2023 Kahramanmaraş earthquake sequence and discussion on the seismic code regulations. Bulletin of Earthquake Engineering, 23(3), 1153-1182. https://doi.org/10.1007/s10518-023-01843-3

[8] İnce, E. G. (2026). Seismic performance of RC buildings with one-way joist slab: Insights from the 2023 Kahramanmaraş earthquakes. Structural Concrete, 27(2), 2147-2157. https://doi.org/10.1002/suco.70403

[9] İnce, E. G., Çakıl, B., Şimşek, M., & İnce, O. (2026). Evaluation of ground motions and seismic performance of RC buildings after 2023 Kahramanmaraş earthquakes: design and construction deficiencies. Bulletin of Earthquake Engineering, 24(2), 727-754. https://doi.org/10.1007/s10518-025-02323-6

[10] Tan, M., Atmaca, N., & Atmaca, K. (2026). Influence of subsurface conditions on the seismic behavior of structurally identical buildings: A case study from the 2023 Kahramanmaraş earthquakes. Engineering Failure Analysis, 110629. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2026.110629

[11] Borcherdt, R., Glassmoyer, G., Andrews, M., & Cranswick, E. (1989). 3 Effect of site conditions on ground motion and damage. Earthquake spectra, 5(1_suppl), 23-42. https://doi.org/10.1193/1.1585233

[12] Şafak, E. (2001). Local site effects and dynamic soil behavior. Soil dynamics and earthquake engineering, 21(5), 453-458. https://doi.org/10.1016/S0267-7261(01)00021-5

[13] Türkiye Building Earthquake Code (TBEC). (2018). Specifications for buildings to be built in seismic areas. In Ministry of Public Works and Settlement. [In Turkish.] Ankara, Turkey.

[14] Özgür, M., & Bozdoğan, K. B. (2022). Betonarme binalarda zemin-yapı etkileşiminin sismik tasarım parametrelerine etkileri. El-Cezeri, 9(2), 507-521. https://doi.org/10.31202/ecjse.966259

[15] Tam, G., & Yön, B. (2024). Birleşik deprem etkilerinin ve ek dışmerkezliğin betonarme binaların davranışına etkisi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 15(4), 993-1002. https://doi.org/10.24012/dumf.1563505

[16] Kim, M., Lee, C. S., Kim, B., & Jeon, J. S. (2025). Effect of soil profile-related parameters on seismic performance of ductile reinforced concrete building frames in California. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 190, 109118. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.109118

[17] Tan, M., Atmaca, N., & Atmaca, K. (2026). Influence of subsurface conditions on the seismic behavior of structurally identical buildings: A case study from the 2023 Kahramanmaraş earthquakes. Engineering Failure Analysis, 110629. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2026.110629

[18] SAP2000. Integrated finite element analysis and design of structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA https://www.csiamerica.com/

[19] Disaster and Emergency Management Authority (DEMA). Earthquake Department of the Disaster and Emergency Management Presidency. Ankara, Turkey. http://www.afad.gov.tr

EFFECT OF GROUND-STORY COLUMN SIZE ON THE PERFORMANCE OF SOFT-STORY RC BUILDINGS

Research Assistant Burak ÇAKIL
Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering
ORCID: 0000-0002-4972-8874

Dr. Ozan İNCE
Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering
ORCID: 0000-0002-6319-1129

Prof. Dr. Erkut SAYIN
Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering
ORCID: 0000-0003-0266-759X

Assoc. Prof. Dr. Mesut GÖR
Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering
ORCID: 0000-0002-5463-9278

Dr. Elif Gökçe İNCE
Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering
ORCID: 0000-0001-6003-9052

ABSTRACT
In buildings subjected to earthquake effects, changes in the distribution of stiffness and strength between stories may lead to soft-story irregularity, which directly affects structural safety. Increasing the ground-story height compared to the upper stories for architectural or functional reasons can cause horizontal deformations to concentrate at this story during an earthquake. This may result in excessive drift and increased internal forces in the ground-story columns, adversely affecting the seismic performance of the structural system. Increasing the cross-sectional dimensions of the ground-story columns is a commonly adopted approach to mitigate these adverse effects.

This study investigates the nonlinear behavior of reinforced concrete frame systems with soft-story irregularity and the effect of increasing ground-story column dimensions on structural performance. For this purpose, four numerical models were developed: a reference model with a standard ground-story height, a model with an increased ground-story height to create soft-story irregularity, and two additional models in which the ground-story column dimensions were increased to 50 × 50 cm and 60 × 60 cm, respectively, to mitigate this irregularity. The models were investigated using nonlinear static pushover analysis and compared in terms of their capacity curves, base shear forces, and displacement responses. Based on the obtained results, the effect of increasing the ground-story height on the lateral capacity and deformation behavior of the structure, as well as the role of increasing the ground-story column dimensions in mitigating this effect, were evaluated.

Keywords: Reinforced concrete building, soft-story irregularity, nonlinear static pushover analysis

1. INTRODUCTION

Earthquakes are among the most important natural hazards that directly threaten structural safety, particularly in regions located along active fault zones. The extent of structural damage caused by earthquakes depends not only on the characteristics of the seismic motion but also on the structural properties and vertical irregularities of buildings. The severe damage and collapses observed in different types of structures following the February 6, 2023 Kahramanmaraş-centered earthquakes once again demonstrated the importance of structural irregularities in seismic behavior [1-4]. Therefore, evaluating the seismic performance of structures requires consideration not only of the strength of the lateral load-resisting system but also of the distribution of stiffness and deformation between stories.

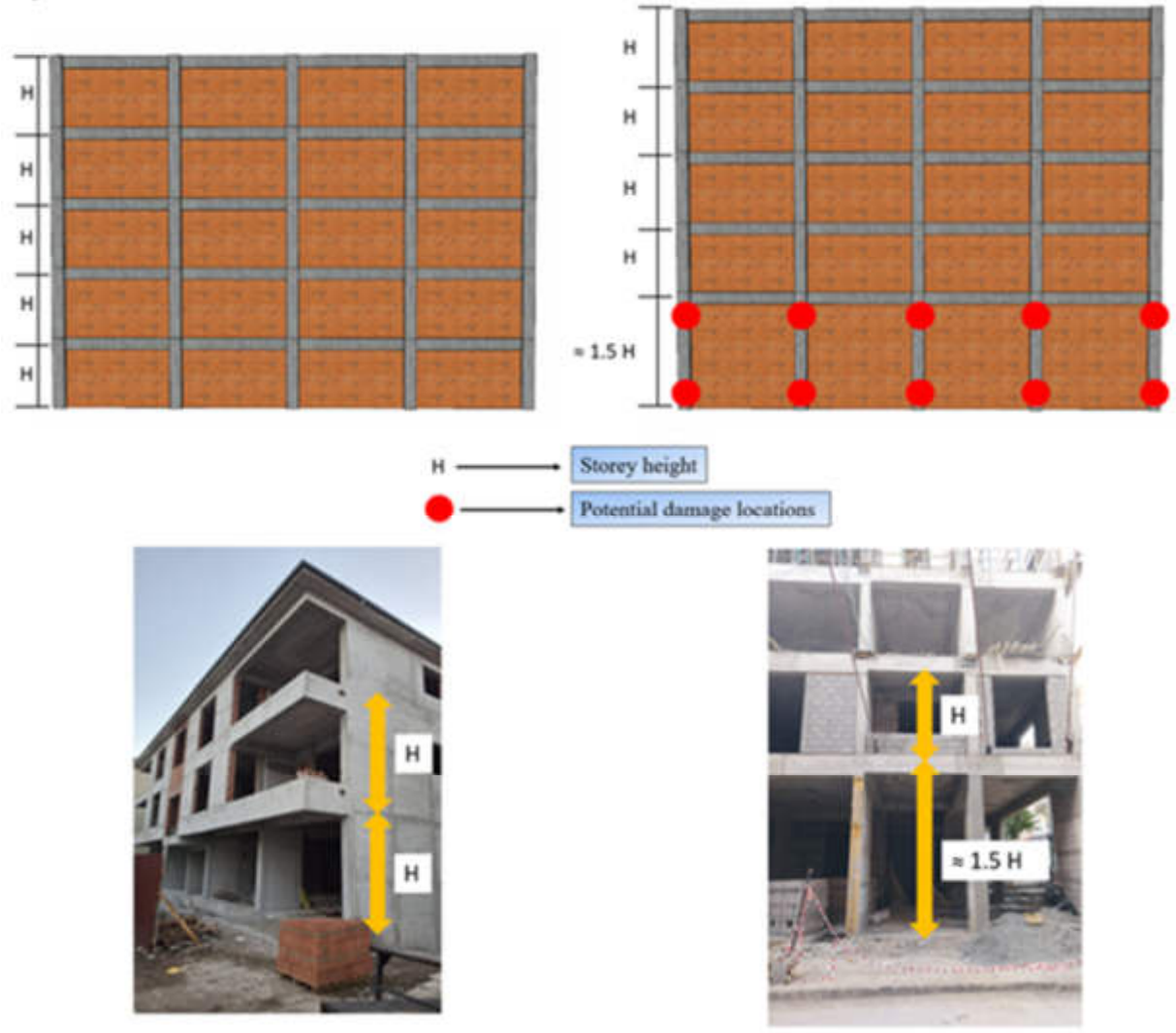
Among structural irregularities, soft-story irregularity is a critical condition that can significantly influence the behavior of structures during earthquakes. Soft-story behavior is associated with a sudden reduction in the vertical distribution of stiffness within the load-resisting system [5-7]. In particular, increasing the height of the ground story compared with the upper stories can reduce the lateral stiffness of the ground story and lead to larger inter-story drifts under seismic loading. Although greater ground-story heights are commonly adopted to provide larger and more flexible spaces for commercial purposes, this geometric modification can result in significant changes in the seismic response of the structural system [8-9].

Previous research has examined how variations in ground-story height influence the seismic behavior of structures. Güneş and Bora (2024) found that a taller ground story may amplify soft-story effects, with deformation demands becoming increasingly concentrated at the ground level as the height disparity between the ground and upper stories becomes more pronounced [10]. According to Santos et al. (2024), increasing the height of either the ground or an intermediate story may lead to a reduction in lateral stiffness, accompanied by higher inter-story drift and base shear demands. The authors further noted that reducing column dimensions can exacerbate these effects [11]. Demirtaş et al. (2025) demonstrated that a relatively flexible ground story may result in the localization of deformation and damage demands at this level [12]. Overall, these studies emphasize that the seismic implications of increased ground-story height should be assessed in conjunction with the stiffness properties of the structural members.

In this study, the effects of increasing the ground-story height and modifying the ground-story column dimensions on the seismic behavior of a reinforced concrete structure were investigated numerically using nonlinear static pushover analysis. For this purpose, a reference structure with 3 m story heights for all stories and 40×40 cm columns was defined as Model 1. Subsequently, only the ground-story height was increased to 5 m while the upper-story heights were kept at 3 m, resulting in Model 2. To further investigate the influence of the ground-story column dimensions, Model 2 was used as the basis, and the ground-story columns were increased to 50×50 cm and 60×60 cm, defining Model 3 and Model 4, respectively. In this way, the effects of increasing the ground-story height and the corresponding increase in ground-story column dimensions were comparatively evaluated through nonlinear static pushover analyses. The obtained results were used to assess the changes in structural response associated with the increased ground-story height and to examine the extent to which increasing the ground-story column dimensions influences this behavior.

2. MATERIALS AND METHOD

Soft-story irregularity represents a significant form of vertical structural irregularity associated with abrupt variations in stiffness along the height of a building [13]. When the ground story is constructed with a larger height than the stories above, its lateral stiffness may decrease, leading to a greater concentration of seismic deformation demands at the ground level. As a consequence, inter-story drift demands may increase, potentially affecting the overall seismic performance of the structure. For this reason, the role of ground-story height in determining structural seismic response warrants careful consideration. Two structural models together with a field photograph illustrating soft-story irregularity are provided in Figure 1.



(a) (b)

Figure 1. RC building (a) without soft-story irregularity, (b) with soft-story irregularity [14]

Although seismic design codes generally rely on comparable concepts when defining and evaluating soft-story irregularity, the numerical limits adopted for its identification are not uniform. TBEC 2018, FEMA 450, and ASCE/SEI 7-22 specify different assessment requirements for determining whether a soft-story condition exists.

Under the FEMA and ASCE provisions, the evaluation is based on the stiffness ratio between a story and the story immediately above it, whereas TBEC 2018 uses inter-story drift ratios as the primary measure. The corresponding provisions and limiting criteria are summarized and compared in Table 1 [15–17].

Table 1. Comparison of soft-story irregularity criteria in different codes [15-17]

Code	**Soft-Story Irregularity**	**Extreme Soft-Story Irregularity**
TBEC (2018)*	With basement levels excluded from the evaluation, a soft-story condition is considered to exist when the average story drift ratio at a given story is greater than twice the corresponding ratio at the story immediately above or below. $(\frac{\Delta_i}{h_i})_{avg} / (\frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}})_{avg} > 2$ or $(\frac{\Delta_i}{h_i})_{avg} / (\frac{\Delta_{i-1}}{h_{i-1}})_{avg} > 2$	– (no separate definition for extreme soft story)
FEMA 450* * ASCE/SEI 7-22**	A soft-story condition is identified when the lateral stiffness of a story falls below 70% of the stiffness of the story directly above it, or below 80% of the mean lateral stiffness calculated for the three stories immediately above. $\frac{k_i}{k_{i+1}} < 0.7$ or $\frac{3k_i}{k_{i+1}+k_{i+2}+k_{i+3}} < 0.8$	A soft-story irregularity is deemed to occur if the lateral stiffness of a given story is below 60% of that of the story immediately above, or below 70% of the average lateral stiffness of the three stories above it. $\frac{k_i}{k_{i+1}} < 0.6$ or $\frac{3k_i}{k_{i+1}+k_{i+2}+k_{i+3}} < 0.7$

*Δ_i: the story drift at the i-th story, h_i: the height of the i-th story
**k_i: the stiffness of the i-th story

The detrimental consequences of soft-story irregularity have been documented in numerous major earthquakes. Post-earthquake investigations of buildings with a ground story that is less stiff or weaker than the stories above have revealed that seismic deformations can become concentrated at this level, making the ground story a common location for the initiation of structural collapse.

Figure 2 provides representative examples of buildings that experienced severe damage or collapse associated with soft-story irregularity during the February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquakes.



Figure 2. Examples of collapsed structures due to soft-story irregularity observed in the February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquake.

3. NUMERICAL MODELING

In this study, four different numerical models were developed to investigate the effect of soft-story irregularity on the capacity behavior of a reinforced concrete building and to examine the role of ground-story column sizing in this behavior. In the reference model, Model 1, all story heights were taken as 3 m, and all columns of the building were defined with cross-sectional dimensions of 40 × 40 cm. To investigate the effect of soft-story irregularity, the ground-story height was increased to 5 m in Model 2, while the heights of the upper stories were maintained at 3 m. In Models 3 and 4, the geometry of Model 2 was retained, while the cross-sectional dimensions of the ground-story columns were increased to 50 × 50 cm and 60 × 60 cm, respectively. In this way, the effects of the irregularity introduced by increasing the ground-story height and the corresponding increase in column dimensions on the structural capacity were comparatively evaluated. The structural system consists of reinforced concrete columns and beams. The typical floor plan of the reference model and the three-dimensional finite element model of the building are presented in Figure 3. In addition, to illustrate the geometric and structural differences among the four models, the variations in story heights and ground-story column dimensions along a selected structural axis are schematically presented in Figure 4. Figure 4 comparatively illustrates the changes in story heights and ground-story column cross-sections for Models 1, 2, 3, and 4.

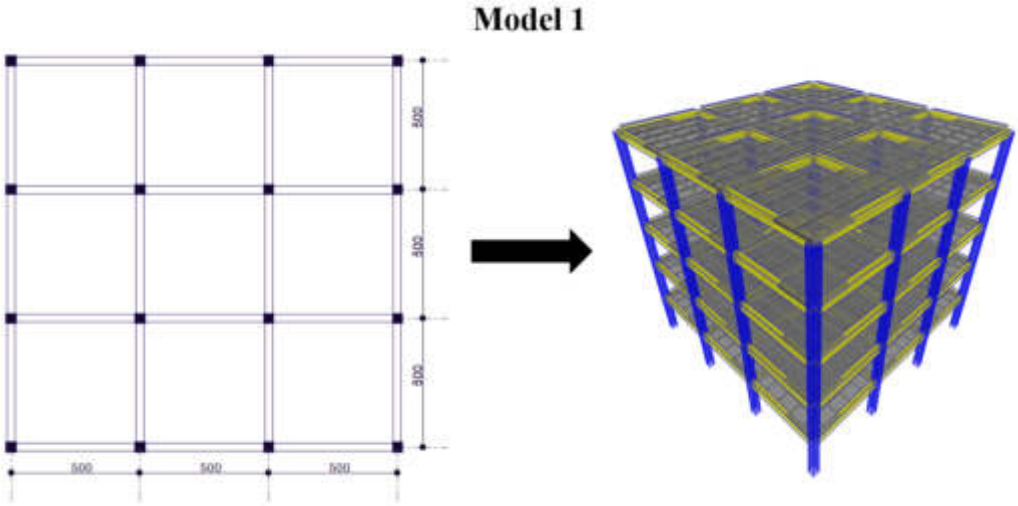


Figure 3. Typical floor plan (cm) and three-dimensional finite element model of the reference building (Model 1).

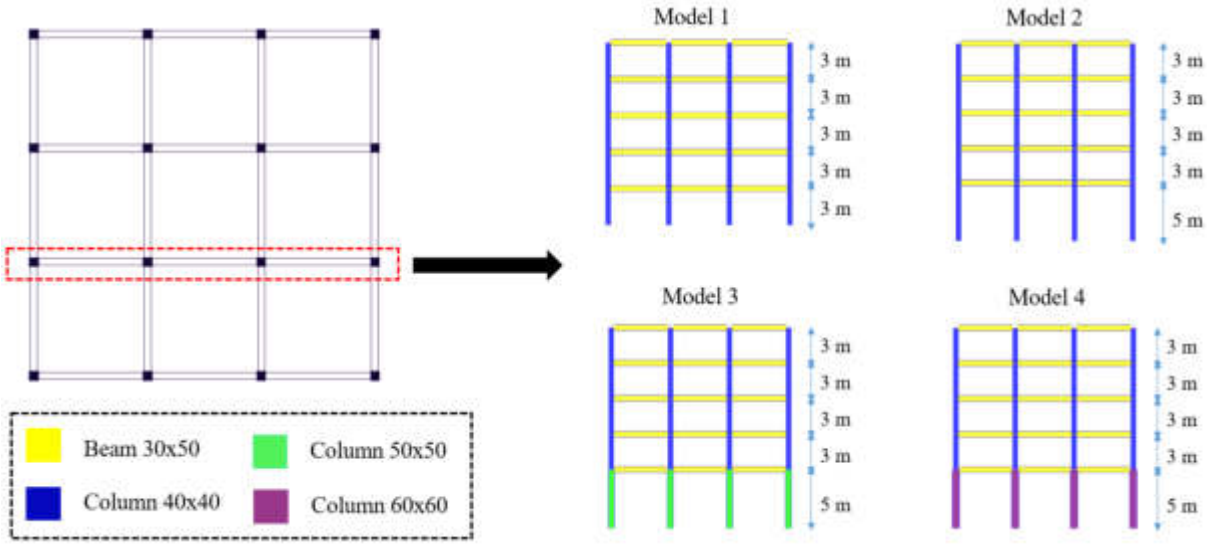


Figure 4. Schematic representation of Models 1–4 showing story heights and ground-story column dimensions.

The numerical modeling and analyses were carried out using SAP2000 [18]. The floor slabs were modeled as 15-cm-thick reinforced concrete shell elements to represent the diaphragm behavior of the structure under lateral loads, and a semi-rigid diaphragm assumption was adopted. Thus, the in-plane stiffness of the floor slabs was directly incorporated into the numerical model. Dead and live floor loads were assigned at the corresponding story levels and transferred to the structural members. To more realistically represent the behavior of the structural members in the analyses, the effective section stiffnesses specified in TBDY-2018 were adopted for the columns, beams, and slabs [17]. The same material properties, load assumptions, and effective section stiffnesses were used for all models, ensuring that the comparison among the models was based solely on the changes in story height and ground-story column dimensions.

4. DISCUSSION

Nonlinear static pushover analyses were performed for the four numerical models to evaluate their lateral capacity, and the corresponding capacity curves were obtained. For the comparison, the relationship between base shear force and roof displacement was considered, and the analysis step corresponding to a 3% interstory drift ratio at the ground story was taken as the reference deformation level. The total displacement and base shear force values obtained at this deformation level are presented in Table 2, while the capacity curves of the models are shown in Figure 5. In this way, the effects of the soft-story irregularity induced by increasing the ground-story height to 5 m and the enlargement of the ground-story column dimensions on the lateral capacity, stiffness, and deformation behavior of the structure were comparatively evaluated.

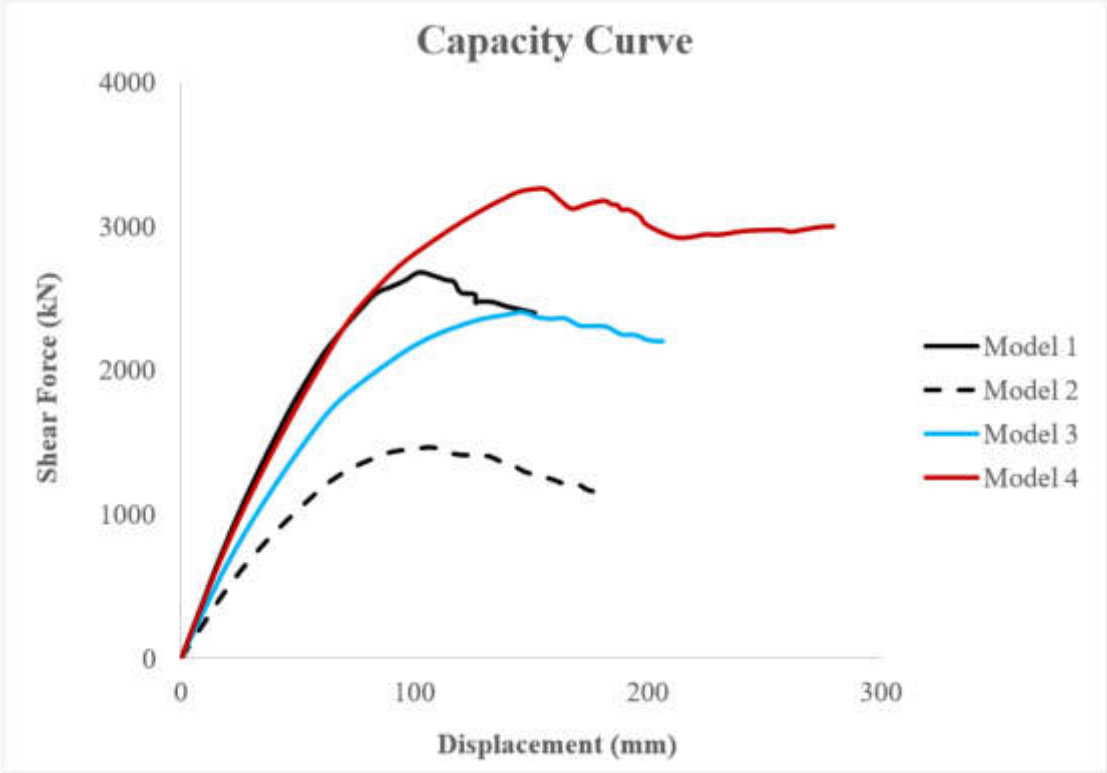


Figure 5. Capacity curves of the numerical models obtained from nonlinear static pushover analyses.

Table 2. Total displacement and base shear force at 3% ground-story interstory drift ratio.

Model	Total Displacement (mm)	Base Shear Force (kN)
Model 1	152	2396
Model 2	182	1154
Model 3	207	2201
Model 4	279	3005

The results presented in Table 2 show that increasing the ground-story height from 3 m to 5 m reduced the base shear force from 2396 kN in Model 1 to 1154 kN in Model 2. This indicates that the increase in ground-story height significantly reduced the lateral capacity of the structure. In Models 3 and 4, increasing the ground-story column dimensions resulted in an increase in the base shear force to 2201 and 3004, respectively.

On the other hand, increasing the column dimensions also led to higher total displacement values. These results indicate that increasing the ground-story column dimensions has a significant effect on the capacity behavior of the structure.

5. CONCLUSIONS

This study investigated the effect of soft-story irregularity induced by increasing the ground-story height on the lateral capacity behavior of a reinforced concrete building and examined how this effect changes with increasing ground-story column dimensions. For this purpose, four numerical models with different ground-story heights and column dimensions were developed, and nonlinear static pushover analyses were performed. The results showed that the ground-story geometry and the dimensions of the structural members have a significant effect on the capacity and deformation behavior of the structure.

- Increasing the ground-story height from 3 m to 5 m resulted in a significant reduction in the lateral capacity of the structure. At the 3% ground-story inter-story drift ratio, the base shear force of Model 2 was considerably lower than that of the reference Model 1.
- Increasing the ground-story column dimensions to 50 × 50 cm and 60 × 60 cm substantially reduced the capacity loss caused by the soft-story irregularity and increased the base shear capacity. In particular, Model 4, with 60 × 60 cm ground-story columns, reached the highest base shear force among the investigated models.
- Increasing the column dimensions also resulted in higher total displacement values. This finding indicates that the sizing of ground-story columns should be evaluated not only in terms of strength but also in terms of the deformation behavior of the structure.

ACKNOWLEDGEMENTS

During the preparation of this work, ChatGPT was used to improve the grammar, clarity, and readability of the text. All scientific analyses, interpretations, and conclusions were developed by the authors, who reviewed and take full responsibility for the final manuscript.

REFERENCES

[1] Celik, O. C., Ulker, M. B. C., Gocer, C., Guntepe, S., Koz, O., Eyupgiller, M. M., ... & Yaz, A. (2024). Multidisciplinary reconnaissance investigation covering structural, geotechnical, and architectural based damage to mid-rise residential buildings following the February 6th, 2023 Kahramanmaraş, Türkiye earthquake doublets (mw 7.8, mw 7.6). Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 182, 108738. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108738

[2] İnce, O. (2024). Structural damage assessment of reinforced concrete buildings in Adıyaman after Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes on 6 February 2023. Engineering Failure Analysis, 156, 107799. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107799

[3] Ertuncay, D., & Costa, G. (2025). Analysis of impulsive ground motions from February 2023 Kahramanmaraş earthquake sequence. Bulletin of Earthquake Engineering, 23(3), 965-999. https://doi.org/10.1007/s10518-024-01897-x

[4] Vuran, E., Serhatoğlu, C., Timurağaoğlu, M. Ö., Smyrou, E., Bal, İ. E., & Livaoğlu, R. (2025). Damage observations of RC buildings from 2023 Kahramanmaraş earthquake sequence and discussion on the seismic code regulations. Bulletin of Earthquake Engineering, 23(3), 1153-1182. https://doi.org/10.1007/s10518-023-01843-3

[5] Noorifard, A., Tabeshpour, M. R., & Saradj, F. M. (2020, April). New approximate method to identify soft story caused by infill walls. In Structures (Vol. 24, pp. 922-939). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.01.050

[6] Özmen, H., Inel, M., & Demirtaş, Y. (2020). Evaluation of different cases of soft story formation for mid-rise RC buildings. Research on Engineering Structures and Materials, 6(3). https://doi.org/10.17515/resm2019.168ea1204

[7] Pesaralanka, V., Challagulla, S. P., Vicencio, F., Chandra Babu, P. S., Hossain, I., Jameel, M., & Ramakrishna, U. (2023). Influence of a soft story on the seismic response of non-structural components. Sustainability, 15(4), 2860. https://doi.org/10.3390/su15042860

[8] Erdem, S., & Saifullah, K. (2016). Soft-story effects on the behaviour of seismically isolated buildings under near and far-fault earthquakes. Challenge Journal of Structural Mechanics, 2(4), 234-245. http://dx.doi.org/10.20528/cjsmec.2016.12.038

[9] Gautham, A., & Sahoo, D. R. (2022). Seismic collapse performance of soft-story RC frames with SRC columns designed using the energy-based method. Journal of Performance of Constructed Facilities, 36(6), 04022062. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001779

[10] Güneş, N., & BORA, P. (2024). First-storey height effects on the collapse performance of buildings in extreme events. Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics (Online), 7(2). https://doi.org/10.31462/jseam.2024.02136147

[11] Santos, D., Melo, J., & Varum, H. (2024). Comparative analysis of the impact of vertical irregularities on reinforced concrete moment-resisting frame structures according to Eurocode 8. Buildings, 14(9), 2982. https://doi.org/10.3390/buildings14092982

[12] Demirtaş, Y., Avşar, Ö., Bozer, A., & Dindar, A. A. (2025, October). Investigation of code based criteria for soft-story irregularity. In Structures (Vol. 80, p. 109668). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109668

[13] Yön, B., Sayın, E., & Koksal, T. S. (2013). Seismic response of buildings during the May 19, 2011 Simav, Turkey earthquake. Earthquakes and Structures, 5(3), 343. https://doi.org/10.12989/eas.2013.5.3.343

[14] Çakil, B., Karaton, M., İnce, O., Çanakçi, K., Taş, Ö. F., Osmanli, Ö. F., & Sayin, E. (2026). Investigation of soft story effect in RC structures using different strengthening methods. Bulletin of Earthquake Engineering, 1-38. https://doi.org/10.1007/s10518-026-02573-y

[15] American Society of Civil Engineers. (2022, January). ASCE/SEI 7-22 Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers.

[16] Federal Emergency Management Agency (FEMA) – 450. (2003). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New. Buildings and Other Structures, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C. USA.

[17] Türkiye Building Earthquake Code (TBEC). (2018). Specifications for buildings to be built in seismic areas. In Ministry of Public Works and Settlement. [In Turkish.] Ankara, Turkey.

[18] SAP2000. Integrated finite element analysis and design of structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA https://www.csiamerica.com.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EFFECT OF SUPPLEMENTARY CEMENTITIOUS MATERIAL TYPE ON THE ULTRASONIC PULSE VELOCITY–COMPRESSIVE STRENGTH CALIBRATION OF CONCRETE

Muhammed ULUCAN
Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Firat University
SEBIZA Technology Limited Company, Firat Technopark
ORCID: 0000-0001-7629-6846

Ibrahim CEBECI
Civil Engineering Department, Technology Faculty, Firat University
ORCID: 0000-0002-4844-3180

Abstract
Ultrasonic pulse velocity is widely used to estimate the compressive strength of concrete in place, but the empirical relationship between the two requires calibration, and the effect of supplementary cementitious materials on that calibration has not been established on a common basis. This study examines 98 concrete mixes compiled from four literature sources, covering fly ash, ground granulated blast-furnace slag, silica fume, metakaolin and rice husk ash used singly as partial cement replacements at 5–70% by mass, at curing ages from 1 to 120 days, with pulse velocity from 2720 to 4898 m/s and compressive strength from 2.4 to 91.0 MPa. A pooled exponential calibration outperformed a linear one (RMSE 10.00 against 11.70 MPa) but left mean bias within individual material groups ranging from +27.6% to −22.4%. Nested model comparisons tested separately whether material type displaces the calibration in level or in gradient. In a laboratory-controlled subset of 52 mixes sharing one experimental programme, control mix, aggregate source and testing protocol, group-specific intercepts did not significantly improve the fit ($F(3,47) = 1.76$, $p = 0.167$) whereas group-specific slopes did ($F(3,44) = 5.27$, $p = 0.003$); over the full database both effects were significant and persisted once curing age was controlled for. Raw fitted slopes differed by a factor of nine, but the steepest belonged to the groups sampling the narrowest velocity ranges; standardising the slopes reduced the spread to a factor of two, from 0.463 for the control group to 0.958 for silica fume, with an ordering that follows reactivity and fineness and with rice husk ash markedly weaker at 0.632. Applying an optimal material-specific correction factor reduced error materially only for silica fume, leaving it unchanged or worse for slag, fly ash and rice husk ash. The results indicate that supplementary cementitious materials alter the gradient of the velocity–strength calibration rather than its level, that a constant correction factor is therefore not a general remedy, and that fitted calibration coefficients from different experimental programmes should not be compared without standardisation.
Keywords: ultrasonic pulse velocity; supplementary cementitious materials; compressive strength prediction; calibration transferability; non-destructive testing; standardised regression slope

1. Introduction
Supplementary cementitious materials are now used routinely in concrete, both to reduce the clinker content of the binder and to improve performance. Fly ash and ground granulated blast-furnace slag are industrial by-products available in large volumes; silica fume and metakaolin are finer and more reactive materials used at lower replacement levels; rice husk ash is an agricultural residue whose amorphous silica content makes it pozzolanic after controlled combustion (Tokyay, 2016; Siddique and Klaus, 2009).

Their effects on concrete differ in kind as well as degree. Slag is latently hydraulic and contributes to strength through its own reaction, whereas pozzolans consume the calcium hydroxide released by cement hydration to form additional calcium silicate hydrate (Neville, 2012). The rate at which they act also differs: metakaolin and silica fume contribute substantially at early ages owing to their fineness and reactivity, while fly ash reacts slowly and continues to develop strength well beyond 28 days (Khatib, 2008; Mardani-Aghabaglou et al., 2014; Demirboğa et al., 2004). Each material also modifies the pore structure and the interfacial transition zone to a different extent (Kou et al., 2011).

Assessing such concretes in place requires non-destructive methods. Ultrasonic pulse velocity is among the most widely applied, standardised in ASTM C597 and EN 12504-4, and is attractive because it samples the full cross-section rather than a surface layer. Its relationship to compressive strength, however, is empirical rather than physical (Lin et al., 2003): velocity is governed by the density, continuity and stiffness of the solid phase, and is sensitive to moisture content, aggregate type and volume, path length and reinforcement, several of which influence velocity and strength to different degrees (Malhotra and Carino, 2004; Bungey and Millard, 1996). For this reason it has long been accepted that velocity–strength expressions require calibration, and correction factors for cement type and content, aggregate petrology and specimen conditions were built into the combined SonReb framework from its inception (Facaoaru, 1970; RILEM, 1983).

Numerous velocity–strength expressions have been proposed and catalogued (Hannachi and Guetteche, 2012), and their transferability between concretes has been examined for conventional Portland-cement mixes. Where supplementary materials are considered, they are generally treated as a single undifferentiated category. The few studies that address them directly report that the relationship is altered: Demirboğa et al. (2004) found the velocity–strength relationship for high-volume fly ash and slag concrete to be exponential rather than linear, and observed that mixes containing 60 and 70% slag gave lower pulse velocities than plain Portland concrete of comparable age. Evidence of this kind, however, is confined to individual materials examined in isolation.

Two questions therefore remain open. The first is whether the displacement differs between supplementary materials, given that they act on the microstructure by different mechanisms and on different timescales; if it does, a calibration established for one material cannot be assumed valid for another. The second concerns the form the displacement takes. A calibration may be displaced in level, so that predictions are systematically high or low by a roughly constant proportion, or in gradient, so that the error depends on where in the velocity range the measurement falls. The distinction is not merely descriptive: a displacement in level can be absorbed by a single correction factor established from a small number of cores, whereas a change in gradient cannot (Authors, 2026).

Answering either question requires supplementary materials to be compared on a common basis, which existing studies do not provide. A further difficulty is methodological. Comparing calibration coefficients reported by different experimental programmes is not straightforward, because programmes differ in the range of concrete they sample, and a fitted slope depends on the range of the predictor over which it was estimated. Coefficients tabulated side by side in comparative reviews are therefore not necessarily on a common footing.

This study addresses these questions using a database of 98 concrete mixes compiled from the literature, covering five supplementary cementitious materials used singly as partial cement replacements, with replacement levels from 5 to 70% and curing ages from 1 to 120 days.

Pooled and group-specific calibrations are fitted and compared; nested model comparisons are used to test separately whether supplementary material type displaces the calibration in level or in gradient, with curing age controlled for; slopes are standardised so that groups sampling different velocity ranges can be compared; and a subset of 52 mixes originating from a single experimental programme is analysed separately, so that the principal comparison is free of inter-laboratory variation. Finally, the extent to which a material-specific correction factor can recover the pooled calibration is quantified for each material.

2. Materials and Methods

2.1. Database compilation

A literature database was compiled to examine whether the relationship between ultrasonic pulse velocity (UPV) and compressive strength is displaced by the type of supplementary cementitious material (SCM) used. Studies were included when UPV and destructively measured compressive strength were reported for the same mix at the same curing age, and when a single SCM was used as a partial replacement of Portland cement. Binary and ternary SCM blends were excluded, since their presence would prevent any observed displacement from being attributed to a particular material. Normal-weight concrete with natural aggregate was required; mortars, foamed and lightweight concretes, fibre-reinforced mixes, alkali-activated and geopolymer binders, and specimens tested after thermal or chemical exposure were excluded.

Four sources met these criteria, yielding 98 mixes covering five SCMs (Table 1). Fly ash and ground granulated blast-furnace slag were obtained from Ayaz et al. (2021) and Demirboğa et al. (2004), silica fume from Ayaz et al. (2021), rice husk ash from Umoh (2012), and metakaolin from Khatib (2008). Replacement levels span 5–70% by mass of binder, curing ages 1–120 days, UPV 2720–4898 m/s and compressive strength 2.4–91.0 MPa. Mixes containing no SCM are retained as a reference group.

2.2. Overlap between sources and deduplication

The studies by Ayaz et al. (2021) and Demirboğa et al. (2004) originate from the same research group, and inspection of their control mixes showed them to be identical: 27.9 MPa and 4060 m/s at 3 days, 38.1 MPa and 4270 m/s at 7 days, 43.6 MPa and 4310 m/s at 28 days, with agreement to within 0.4% at 120 days. The two publications therefore report a single experimental programme, extended in Ayaz et al. (2021) to include silica fume and lower replacement levels. Control mixes were retained once, from Ayaz et al. (2021), and the corresponding rows from Demirboğa et al. (2004) were removed. The SCM series themselves do not overlap: Demirboğa et al. (2004) covers 50–70% replacement while Ayaz et al. (2021) covers 15–30%, so the two together provide continuous coverage of 15–70% for both fly ash and slag within a single laboratory.

This shared origin is exploited in Section 3.5, where the 52 mixes from these two sources are analysed separately as a laboratory-controlled subset.

2.3. Data extraction and verification

Values were transcribed from published tables. Where a source reported both pulse transit time and velocity, the two were cross-checked against the nominal specimen dimension; 15 of 16 cells in Umoh (2012) agreed, and one inconsistent entry (reported as 4.56 km/s against a transit time implying 3.56 km/s) was corrected, with the neighbouring mix confirming the corrected value. UPV values for Khatib (2008) were digitised from the published figures using WebPlotDigitizer, as only compressive strengths were tabulated.

2.4. Regression models

Two functional forms were fitted to the pooled database:

$$fc = a + b \cdot V \qquad (1)$$

$$fc = A \cdot exp(B \cdot V) \qquad (2)$$

where fc is compressive strength (MPa) and V is pulse velocity (m/s). The exponential form was fitted by ordinary least squares in log space; because this does not minimise squared error in the original units, root mean square error for both forms is reported in MPa so that the two are comparable on the same basis.

Separate regressions of the linear form were then fitted within each SCM group. To assess how far a single pooled calibration misrepresents individual groups, the mean percentage bias of the pooled model was computed within each group (Authors, 2026).

2.5. Comparison of slopes across groups

Direct comparison of fitted slopes across SCM groups is confounded by differences in the range of pulse velocity each group spans, since a narrow predictor range inflates the fitted slope for a given spread in the response. The group ranges here differ by a factor of three, from 500 m/s for silica fume to 1590 m/s for fly ash.

Two remedies were considered. Refitting all groups within their common velocity range was attempted but proved infeasible: the intersection of all six groups spans only 4163–4310 m/s and contains between two and six mixes per group. Standardised slopes were therefore used instead:

$$\beta = b \cdot sV / sfc \qquad (3)$$

where sV and sfc are the within-group standard deviations of pulse velocity and compressive strength respectively. This expresses the slope in units of standard deviation and is invariant to the width of the range sampled. Raw and standardised slopes are both reported.

2.6. Statistical tests

Whether SCM type displaces the calibration was tested by comparing nested linear models using F-tests:

Model A: fc = a + b·V

Model B: Model A with SCM indicator variables, allowing each group its own intercept

Model C: Model B with SCM × V interaction terms, allowing each group its own slope

A significant improvement from A to B indicates that the calibration is displaced vertically; a significant improvement from B to C indicates that its slope changes. The no-SCM group serves as the reference category. The same sequence was repeated with the natural logarithm of curing age included as a covariate, to establish whether any SCM effect persists once maturity is controlled for, and again on the laboratory-controlled subset of Section 2.2.

Finally, an SCM-specific multiplicative correction factor was computed as the mean ratio of measured to predicted strength within each group, and the mean absolute percentage error before and after its application was compared. This distinguishes groups whose deviation is unidirectional, and therefore removable by a single factor, from those whose deviation is not.

Table 1. Sources comprising the database.

Source	SCM	Replacement (%)	Ages (days)	w/b	UPV range (m/s)	fc range (MPa)	n
Ayaz et al. (2021)	Silica fume	7.5, 15	3, 7, 28, 120	a	3910–4410	25.7–54.5	8
Ayaz et al. (2021)	Fly ash	15, 30	3, 7, 28, 120	a	3870–4310	15.0–51.0	8
Ayaz et al. (2021)	GGBFS	15, 30	3, 7, 28, 120	a	3850–4470	17.8–59.1	8
Ayaz et al. (2021)	— (control)	0	3, 7, 28, 120	a	4060–4460	27.9–54.6	4
Demirboğa et al. (2004)	Fly ash	50, 60, 70	3, 7, 28, 120	a	2720–4140	2.4–35.0	12
Demirboğa et al. (2004)	GGBFS	50, 60, 70	3, 7, 28, 120	a	3330–4340	4.9–50.2	12
Umoh (2012)	Rice husk ash	30, 40, 50	28	b	3500–4340	18.9–36.2	12
Umoh (2012)	— (control)	0	28	b	4350–4890	23.7–41.2	4
Khatib (2008)	Metakaolin	5, 7.5, 12.5, 15, 20	1, 7, 14, 28, 56	0.30	4163–4898	22.8–91.0	25
Khatib (2008)	— (control)	0	1, 7, 14, 28, 56	0.30	4314–4716	28.9–71.3	5
Total					2720–4898	2.4–91.0	98

a Total binder content 350 kg/m³; water-to-binder ratio to be confirmed from the source. b Four design strength classes (15, 20, 25, 30 N/mm²), each with its own water-to-binder ratio; values to be confirmed from the source. Control mixes of Demirboğa et al. (2004) are identical to those of Ayaz et al. (2021) and were retained once, under the latter (Section 2.2).

3. Results

3.1. Pooled calibration

Two functional forms were fitted to all 98 mixes. The linear form gave fc = −158.77 + 0.04704·V with R^2 = 0.757 and RMSE of 11.70 MPa. The exponential form gave fc = 0.04374·exp(0.001562·V), with R^2 of 0.874 in log space and RMSE of 10.00 MPa when back-transformed to the original units. The exponential form is therefore retained as the pooled reference model, consistent with the functional form reported by Demirboğa et al. (2004) for high-volume mineral-admixtured concrete.

Even so, a residual scatter of 10 MPa across a database whose measured strengths span 2.4 to 91.0 MPa indicates that a single curve represents these concretes poorly.

3.2. Deviation of the pooled model within SCM groups

Table 2 reports the error of the pooled exponential model within each SCM group.

Table 2. Performance of the pooled model within SCM groups.

SCM	n	MAPE (%)	Bias (%)	Mean error (MPa)
— (control)	13	36.5	+27.6	+8.14
Fly ash	20	21.6	+3.7	−2.08
GGBFS	20	16.7	+0.9	−2.62
Metakaolin	25	14.1	+6.5	+1.00
Rice husk ash	12	23.5	−5.5	−1.23
Silica fume	8	22.4	−22.4	−9.93

Mean bias ranges from +27.6% for the control group to −22.4% for silica fume, a spread of 50 percentage points. For fly ash, slag, metakaolin and rice husk ash, however, bias remains within ±7% while MAPE stays between 14 and 24%. In these four groups the errors are therefore large but scattered in both directions rather than systematically displaced.

3.3. Group-specific calibrations

Fitting the linear form separately within each group (Table 3) produces slopes ranging from 0.0112 for rice husk ash to 0.1021 for metakaolin, a factor of nine.

Table 3. Group-specific linear calibrations and standardised slopes.

SCM	n	a	b	R^2	RMSE (MPa)	UPV range (m/s)	β
— (control)	13	−98.22	+0.03165	0.215	13.39	830	+0.463
Rice husk ash	12	−19.04	+0.01122	0.399	3.54	840	+0.632
Fly ash	20	−87.25	+0.02863	0.743	7.00	1590	+0.862
GGBFS	20	−155.33	+0.04568	0.857	5.88	1140	+0.926
Metakaolin	25	−410.52	+0.10208	0.889	7.32	735	+0.943
Silica fume	8	−234.30	+0.06565	0.918	3.18	500	+0.958

This nine-fold spread is largely an artefact of unequal predictor ranges. The groups with the steepest slopes are also those spanning the narrowest velocity ranges: metakaolin covers 735 m/s and silica fume 500 m/s, against 1590 m/s for fly ash. Refitting within the common range of all groups was not possible, the intersection spanning only 4163–4310 m/s with two to six mixes per group.

Standardised slopes (β, final column) remove this dependence. Expressed in standard-deviation units, the spread falls from a factor of nine to a factor of two, from 0.463 for the control group to 0.958 for silica fume. The ordering is nonetheless preserved and is not random: silica fume, metakaolin and slag show the strongest coupling between velocity and strength ($\beta \geq 0.93$), fly ash is intermediate (0.862), and rice husk ash is markedly weaker (0.632).

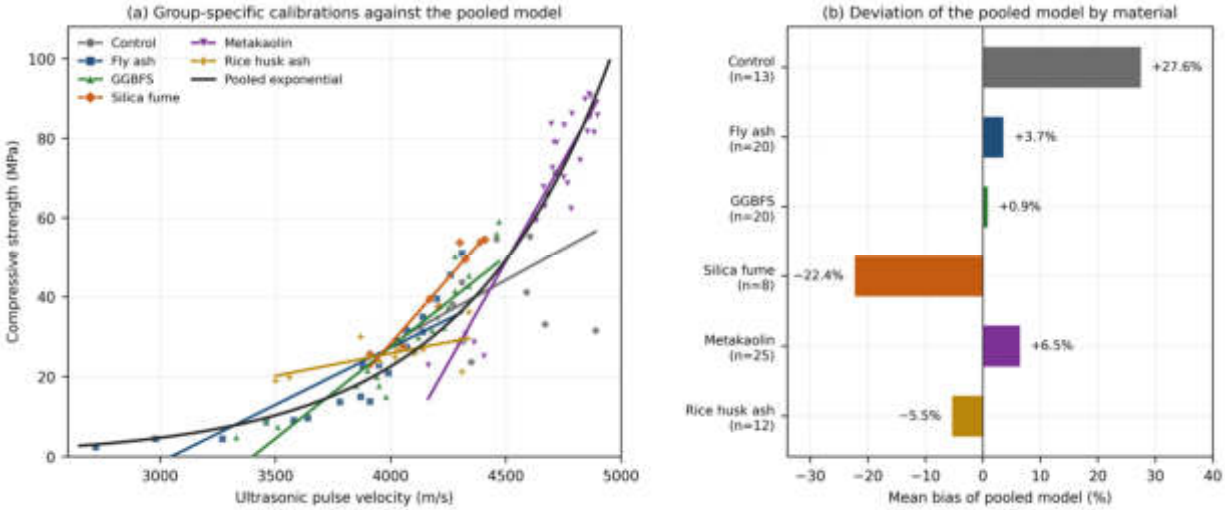


Fig. 1. (a) Group-specific linear calibrations plotted over the velocity range each material spans, against the pooled exponential model fitted to all 98 mixes. (b) Mean percentage bias of the pooled model within each material group.

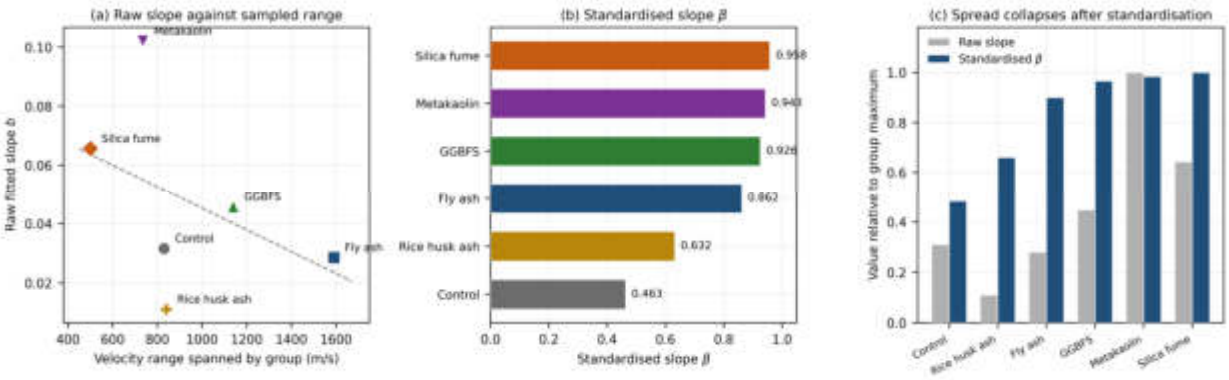


Fig. 2. (a) Raw fitted slope against the velocity range spanned by each group; the dashed line is a least-squares trend. (b) Standardised slopes. (c) Raw and standardised slopes normalised to their group maxima, showing the reduction in spread after standardisation.

3.4. Significance of the SCM effect

Nested model comparisons over the full database are given in Table 4.

Table 4. Nested model comparison, full database (n = 98).

Model	Terms	Parameters	R^2	Adjusted R^2	RMSE (MPa)
A	V	2	0.757	0.754	11.70
B	A + SCM indicators	7	0.803	0.790	10.54
C	B + SCM × V	12	0.899	0.886	7.54

Adding group-specific intercepts improved the fit, $F(5, 91) = 4.22$. Adding group-specific slopes improved it considerably further, $F(5, 86) = 16.40$. The slope effect is therefore the dominant one.

Because curing age varies between and within sources, and the pooled model's bias varies systematically with age — from +35.2% at 1 day to −18.9% at 120 days — the sequence was repeated with ln(age) as a covariate. Both effects persisted: $F(5, 90) = 14.75$ for intercepts and $F(5, 85) = 9.13$ for slopes, with R^2 rising from 0.772 to 0.874 and then to 0.918.

3.5. Laboratory-controlled subset

The 52 mixes from Ayaz et al. (2021) and Demirboğa et al. (2004) share a single experimental programme, control mix, aggregate source and testing protocol, and cover a control group together with fly ash, slag and silica fume at replacement levels from 15 to 70%. Differences observed within this subset cannot be attributed to inter-laboratory variation.

Table 5. Nested model comparison, laboratory-controlled subset (n = 52).

Model	Parameters	R^2	RMSE (MPa)	Comparison	F	p
A	2	0.797	7.16	—	—	—
B	5	0.817	6.79	A → B	1.76 (3, 47)	0.167
C	8	0.866	5.82	B → C	5.27 (3, 44)	0.003
				A → C	3.76 (6, 44)	0.004

Group-specific intercepts did not significantly improve the fit. Group-specific slopes did. Within a single laboratory, therefore, SCM type does not displace the calibration vertically; it changes its gradient.

3.6. Effect of a group-specific correction factor

Table 6 reports the multiplicative factor that minimises mean deviation within each group, and the change in MAPE it produces.

Table 6. SCM-specific correction factors applied to the pooled model.

SCM	n	Factor	MAPE before (%)	MAPE after (%)	Change
Silica fume	8	1.296	22.4	5.5	−16.9
— (control)	13	0.892	36.5	34.3	−2.1
Metakaolin	25	0.965	14.1	13.2	−0.9
GGBFS	20	1.034	16.7	16.9	+0.2
Fly ash	20	1.019	21.6	22.0	+0.4
Rice husk ash	12	1.168	23.5	27.1	+3.6

Only silica fume benefits substantially. For slag, fly ash and rice husk ash the correction leaves the error unchanged or increases it, confirming that their deviations are not unidirectional. This is consistent with Section 3.5: a change in gradient cannot be absorbed by a constant multiplier.

4. Discussion

4.1. Why the gradient changes rather than the level

The laboratory-controlled subset gives the cleanest result in this study: replacing part of the cement with fly ash, slag or silica fume does not move the UPV–strength curve up or down, but changes how steeply strength rises with velocity.

A plausible reading concerns what each measurement responds to as the microstructure develops. Pulse velocity is governed by the continuity and stiffness of the solid skeleton, and saturates once that skeleton is continuous: beyond a certain degree of hydration, further densification adds little to the transmission path. Compressive strength does not saturate in the same way, since it continues to benefit from the refinement of the pore system and of the interfacial transition zone. In a plain Portland system these two processes advance roughly in step. In a pozzolanic system the secondary reaction proceeds after the skeleton is already largely continuous, so strength continues to develop while velocity changes comparatively little. A given increment in velocity therefore corresponds to a larger increment in strength — a steeper gradient.

This reading is consistent with the ordering of standardised slopes. Silica fume and metakaolin, the two most reactive materials in the database and the finest, show the strongest coupling (β = 0.958 and 0.943). Slag, which is latently hydraulic rather than purely pozzolanic, follows at 0.926. Fly ash, whose reaction is slower and less complete at the ages examined, is lower at 0.862.

It should be stated plainly that this is an interpretation of a pattern, not a demonstrated mechanism. The database contains no measurements of degree of hydration, porosity, calcium hydroxide consumption or interfacial transition zone properties against which it could be tested, and the ordering it explains rests on four SCMs.

4.2. The weak coupling in rice husk ash concrete

Rice husk ash departs from the ordering, with a standardised slope of 0.632 and the lowest group R^2 of any SCM (0.399). Pulse velocity carries less information about strength in these mixes than in any other group examined.

Two explanations are available and the data do not separate them. Rice husk ash is highly porous at the particle scale, with a cellular silica structure retained from the husk, and its incorporation may introduce fine porosity that affects wave transmission and load-bearing capacity differently. Alternatively, the result may be structural: the mixes of Umoh (2012) span only 18.9 to 36.2 MPa, a narrow range in which measurement scatter accounts for a larger share of the total variance, and all come from a single study at a single age. A group whose response barely varies cannot exhibit a strong correlation with anything.

The second explanation is the more parsimonious, and the finding should be treated as provisional.

4.3. On comparing fitted slopes across datasets

The nine-fold spread in raw slopes reported in Section 3.3 is, on inspection, mostly an artefact. The groups with the steepest slopes span the narrowest velocity ranges, and a narrow predictor range inflates a fitted slope for any given spread in the response. Standardising the slopes reduces the spread from a factor of nine to a factor of two.

The point generalises beyond this study. Comparative reviews of non-destructive strength prediction routinely tabulate fitted coefficients from different experimental programmes side by side, and the programmes differ in the range of concrete they sample. Coefficients compared in this way are not on a common footing, and apparent differences between materials may partly reflect differences in experimental scope.

Where the ranges cannot be equalised by refitting — as here, where the intersection of all groups spans 147 m/s — a standardised measure should be reported alongside the raw coefficients.

4.4. Practical consequence: correction factors are not sufficient

A distinction drawn in the companion study (Authors, 2026) separates deviations that a single multiplicative factor can absorb from those it cannot. The present results place most SCMs in the second category. Applying an optimal factor improved the error materially only for silica fume, and for slag, fly ash and rice husk ash it left the error unchanged or made it worse.

This follows directly from Section 3.5. A constant factor shifts a calibration curve; it cannot rotate one. Where SCM type acts on the gradient, site assessment cannot be rescued by calibrating a general-purpose expression against a handful of cores. The calibration itself has to be established for the binder in question, over the velocity range of interest.

Silica fume is the exception in this database, with a factor of 1.296 reducing MAPE from 22.4 to 5.5%. This should not be over-interpreted: the group contains eight mixes from one source at two replacement levels, and its apparent tractability may not survive a broader sample.

4.5. The control group

The no-SCM group shows the largest deviation from the pooled model (+27.6% bias) and the weakest internal fit ($R^2 = 0.215$) of any group. Both are artefacts of composition rather than of material behaviour. Its 13 mixes come from three sources spanning water-to-binder ratios from 0.30 upward and 28-day strengths from 23.7 to 71.3 MPa, so the group is not a coherent population. The pooled model, fitted predominantly to SCM-bearing mixes, is correspondingly ill-suited to it.

The control group is therefore of limited value as a reference category, and the laboratory-controlled subset of Section 3.5 — where the four control mixes share a single mix design — provides the more meaningful comparison

.

4.6. Limitations

The database comprises 98 mixes from four sources, and the SCMs are not evenly represented: silica fume contributes eight mixes from one source and rice husk ash twelve from one source, against twenty each for fly ash and slag. Conclusions concerning the two smaller groups are correspondingly weaker.

SCM type is confounded with strength regime. The metakaolin mixes were produced at a water-to-binder ratio of 0.30 and reach 66–91 MPa at 28 days, well above the remainder of the database. What is attributed to metakaolin may partly reflect behaviour at high strength, and the present data cannot separate the two.

Replacement levels differ systematically between materials, from 5–20% for metakaolin to 50–70% for the high-volume fly ash and slag mixes. This reflects how these materials are used in practice rather than a deficiency of the search, but it means that SCM type and replacement level cannot be varied independently.

Curing age is unevenly distributed, with 35 of 98 mixes at 28 days and only six each at 1, 14 and 56 days. The age covariate is therefore estimated from an unbalanced design.

Finally, water-to-binder ratio is recorded for only one source. Given the strength of its influence on both velocity and strength, its absence limits how far the analysis can control for mix design, and completing this field is the single most valuable addition that could be made to the database.

5. Conclusions

The relationship between ultrasonic pulse velocity and compressive strength was examined across 98 concrete mixes from four sources, covering five supplementary cementitious materials used singly as partial cement replacements. The following conclusions are drawn.

1. A single pooled calibration represents these concretes poorly. An exponential form outperformed a linear one (RMSE 10.00 against 11.70 MPa) but still left a residual scatter of 10 MPa, and its mean bias within individual SCM groups ranged from +27.6% to −22.4%.
2. Supplementary cementitious materials alter the gradient of the calibration rather than its level. In a laboratory-controlled subset of 52 mixes sharing one experimental programme, control mix, aggregate source and testing protocol, group-specific intercepts did not significantly improve the fit ($F(3,47) = 1.76$, $p = 0.167$) whereas group-specific slopes did ($F(3,44) = 5.27$, $p = 0.003$). Over the full database both effects were significant and persisted after curing age was controlled for, with the slope effect the larger.
3. Fitted slopes cannot be compared across groups without accounting for the velocity range each spans. Raw slopes differed by a factor of nine, but the steepest belonged to the groups sampling the narrowest ranges. Expressed in standard-deviation units the spread fell to a factor of two, from 0.463 for the control group to 0.958 for silica fume. Comparative tabulations of calibration coefficients drawn from different experimental programmes should report a standardised measure alongside the raw values.
4. The ordering that survives standardisation follows reactivity and fineness. Silica fume (0.958) and metakaolin (0.943) show the strongest coupling between velocity and strength, slag follows (0.926), and fly ash is lower (0.862). Rice husk ash is markedly weaker (0.632) with the poorest within-group fit, though this may reflect the narrow strength range of the available mixes rather than material behaviour.
5. A constant correction factor is not a general remedy. Applying an optimal multiplier reduced error materially only for silica fume (MAPE 22.4 to 5.5%); for slag, fly ash and rice husk ash it left the error unchanged or increased it. A multiplier shifts a calibration but cannot rotate one, so where SCM type acts on the gradient the calibration must be re-established for the binder and velocity range in question rather than corrected from a general-purpose expression.
6. Practical implication for in-situ assessment: the binder composition of the concrete under test is not a secondary detail in non-destructive strength estimation. Calibrations transferred from plain Portland concrete, or between different supplementary materials, carry errors of a magnitude that site assessment cannot absorb.

These conclusions rest on four sources in which supplementary material type is partly confounded with strength regime and replacement level, and in which two of the five materials are represented by a single study each. They should be regarded as indicative, and the laboratory-controlled comparison of conclusion 2 as the most secure of them.

References

ASTM C597. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Authors (2026). Evaluation of existing UPV, rebound and SonReb models for strength prediction in concrete containing metakaolin. Companion paper, [congress name, place, year]. [AUTHOR NAMES AND CONGRESS DETAILS TO BE COMPLETED]

Ayaz, Y., Karakoç, M.B., Türkmen, İ., Demirboğa, R. (2021). Prediction of compressive strength and ultrasonic pulse velocity of admixtured concrete using tree model M5P. Structural Concrete, 22(S1).

Bungey, J.H., Millard, S.G. (1996). Testing of Concrete in Structures, 3rd ed. Blackie Academic & Professional, London.

Demirboğa, R., Türkmen, İ., Karakoç, M.B. (2004). Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixtured concrete. Cement and Concrete Research, 34(12), 2329–2336.

EN 12504-4:2004. Testing concrete — Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity. CEN, Brussels.

Facaoaru, I. (1970). Non-destructive testing of concrete in Romania. Symposium on NDT of Concrete and Timber, Institution of Civil Engineers, London, 39–49.

Hannachi, S., Guetteche, M.N. (2012). Application of the combined method for evaluating the compressive strength of concrete on site. Open Journal of Civil Engineering, 2, 16–21.

Khatib, J.M. (2008). Metakaolin concrete at a low water to binder ratio. Construction and Building Materials, 22(8), 1691–1700.

Kou, S.C., Poon, C.S., Agrela, F. (2011). Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures. Cement and Concrete Composites, 33, 788–795.

Lin, Y., Lai, C.P., Yen, T. (2003). Prediction of ultrasonic pulse velocity (UPV) in concrete. ACI Materials Journal, 100(1), 21–28. [CITATION TO BE VERIFIED]

Malhotra, V.M., Carino, N.J. (2004). Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton.

Mardani-Aghabaglou, A., İnan Sezer, G., Ramyar, K. (2014). Comparison of fly ash, silica fume and metakaolin from mechanical properties and durability performance of mortar mixtures view point. Construction and Building Materials, 70, 17–25.

Neville, A.M. (2012). Properties of Concrete, 5th ed. Pearson Education, London.

RILEM Report TC43-CND (1983). Draft Recommendation for In Situ Concrete Strength Determination by Combined Non-Destructive Methods.

Siddique, R., Klaus, J. (2009). Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: a review. Applied Clay Science, 43(3–4), 392–400.

Tokyay, M. (2016). Cement and Concrete Mineral Admixtures. CRC Press, Boca Raton.

Umoh, A.A. (2012). Relationship between compressive strength and pulse velocity of medium grade concrete incorporating rice husk ash. International Journal of Engineering Research and Technology. [VOLUME / ISSUE / PAGES TO BE COMPLETED]

EVALUATION OF EXISTING UPV, REBOUND AND SonReb MODELS FOR STRENGTH PREDICTION IN CONCRETE CONTAINING METAKAOLIN

Muhammed ULUCAN
Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Firat University
SEBIZA Technology Limited Company, Firat Technopark
ORCID: 0000-0001-7629-6846

Ibrahim CEBECI
Civil Engineering Department, Technology Faculty, Firat University
ORCID: 0000-0002-4844-3180

Abstract
Metakaolin is increasingly used as a supplementary cementitious material, yet the reliability of non-destructive strength assessment for concrete containing metakaolin has not been established. This study evaluates ten empirical models predicting compressive strength from ultrasonic pulse velocity (UPV), rebound index (RI), or both, against an independent literature database of 21 concrete mixes containing metakaolin in which UPV, RI and destructively measured strength were reported together and metakaolin was the sole supplementary cementitious material. Mean absolute error, root mean square error, mean absolute percentage error (MAPE) and signed mean bias were computed for each model. No model achieved a MAPE below 10%: combined UPV–RI models ranged from 11.8 to 15.7%, single-variable models from 25.6 to 44.2%, and models developed for high-performance concrete containing metakaolin from 44.3 to 79.0%. Deviations showed no systematic trend with metakaolin content, varying by less than 4 percentage points across the 0–20% replacement range. Aggregate type, by contrast, shifted the mean bias of velocity-based models by up to 24 percentage points between natural and fully recycled aggregate and reversed its sign for one model, while the purely rebound-based model remained within a 3.5-point band across all subgroups. Reporting MAPE together with signed bias distinguished models whose error is unidirectional, and therefore removable by a single correction factor, from one combining 44.2% MAPE with −2.2% bias, whose bidirectional error no constant correction can address. Models applied outside their declared validity domain produced the largest errors, the velocity and rebound forms of one calibration deviating by +39.9% and −79.0%. Existing calibrations therefore transfer poorly to concrete containing metakaolin, aggregate type rather than metakaolin content governs the transfer error, and the experimental basis for combined non-destructive assessment of such concrete remains narrow.
Keywords: metakaolin; non-destructive testing; ultrasonic pulse velocity; rebound index; SonReb; compressive strength prediction; model evaluation

1. Introduction
Metakaolin has become one of the more widely studied supplementary cementitious materials for concrete, produced by calcining kaolinitic clay at 650–800 °C to yield a highly reactive alumina-silicate (Sabir et al., 2001). Unlike industrial by-products such as fly ash or silica fume, it can be manufactured under controlled conditions, giving lower compositional variability and higher purity (Brooks and Megat Johari, 2001). In concrete it acts through three mechanisms — pozzolanic reaction with calcium hydroxide, a filler effect arising from its fineness, and acceleration of cement hydration — which together refine pore structure and densify the interfacial transition zone (Siddique and Klaus, 2009; Khatib, 2008).

Reported optimum replacement levels typically fall between 10 and 15% by mass of cement (Dinakar et al., 2013; Muduli and Mukharjee, 2019). Metakaolin has also proved effective in compensating the strength and durability penalties associated with recycled aggregate (Kou et al., 2011; Muduli and Mukharjee, 2019).

As concretes containing metakaolin move from laboratory study toward field application, the ability to assess them in place becomes relevant. Non-destructive testing offers this capability without damaging the structure, and two methods dominate practice: the rebound hammer, standardised in ASTM C805 and EN 12504-2, and ultrasonic pulse velocity, standardised in ASTM C597 and EN 12504-4. Each is individually limited. Rebound readings are sensitive to surface moisture, carbonation, aggregate type near the surface and specimen restraint, and reflect only a thin surface layer (Malhotra and Carino, 2004; Bungey and Millard, 1996). Pulse velocity is affected by moisture content, reinforcement, path length, aggregate type and volume, and bears no direct physical relation to strength (Lin et al., 2003).

The combined or SonReb approach, developed under RILEM TC43-CND (RILEM, 1983) following earlier work in Romania (Facaoaru, 1970), addresses these limitations by exploiting the opposing sensitivities of the two methods: increased moisture, for instance, raises pulse velocity while lowering the rebound index, so that combining them partially cancels the influence of variables that affect strength differently from the measurements themselves. Numerous single-variable and multi-variable expressions have been proposed on this basis and have been catalogued in comparative reviews (Hannachi and Guetteche, 2012).

No single calibration transfers reliably between concretes. Cement type and content, aggregate type, curing conditions and age all displace the relationship. Correction factors were therefore part of the SonReb framework from the outset (Facaoaru, 1970). Field studies reinforce the point: Hannachi and Guetteche (2012) obtained coefficients of determination of 0.40 for rebound and 0.52 for pulse velocity on cast specimens at a construction site, falling to 0.09 for both on cores extracted from the same structure. Existing evaluations of this kind, however, have concentrated on conventional Portland-cement concretes. Where supplementary cementitious materials are addressed at all, they are generally treated as a single undifferentiated category rather than examined individually.

For metakaolin specifically, the position is unsatisfactory in two respects. First, calibrations developed on concrete containing metakaolin are scarce, and those that exist were derived on high-performance mixes with low water-to-binder ratios and carry validity domains that exclude normal-strength concrete (Al-Mishhadani et al., 2009). Second, the experimental basis for developing or testing such calibrations is thin: studies that report pulse velocity, rebound index and destructive strength for the same mixes containing metakaolin are uncommon, since many measure pulse velocity alone, and others report rebound results already converted to strength by the instrument's internal calibration curve. Whether the general-purpose expressions in wide circulation are adequate for concrete containing metakaolin has, to the authors' knowledge, not been assessed against an independent dataset.

This study addresses that question. Ten empirical models — two based on pulse velocity, two on rebound index, three combining both, and three developed for high-performance concrete containing metakaolin or silica fume — are evaluated against a database of 21 concrete mixes containing metakaolin compiled from the literature under strict inclusion criteria. Four error metrics are computed, and mean absolute percentage error is reported jointly with signed bias in order to distinguish unidirectional errors, which a single correction factor can absorb, from bidirectional errors, which it cannot. Deviations are further examined against metakaolin replacement level and aggregate type to establish whether they are systematic, and the behaviour of models applied outside their stated validity domains is quantified.

2. Materials and Methods

2.1. Database compilation

A literature database was compiled to evaluate the performance of existing non-destructive strength-prediction models on concretes containing metakaolin. Studies were included only when all three of the following were reported for the same mix and the same curing age: ultrasonic pulse velocity (UPV), rebound index (RI), and destructively measured compressive strength (fc). Two further criteria were applied. First, metakaolin had to be the only supplementary cementitious material in the binder, so that any systematic deviation could not be attributed to a second pozzolan. Second, the binder system had to be Portland-cement based; alkali-activated and geopolymer systems were excluded, since their calibration behaviour is not comparable.

An extensive search returned only two studies meeting all criteria simultaneously, yielding 21 concrete mixes in total. Muduli and Mukharjee (2019) contributed 15 mixes in which metakaolin replaced cement at 0, 5, 10, 15 and 20% by weight, combined with natural coarse aggregate and recycled coarse aggregate (RCA) at 0, 50 and 100% replacement, at a constant water-to-binder ratio of 0.43. Jin et al. (2022) contributed 6 mixes with metakaolin at 0, 10 and 20% and crushed natural aggregate, at water-to-cement ratios of 0.45 and 0.55. Only the coal-gangue-free mixes of the latter study were retained, in accordance with the single-SCM criterion. The scarcity of qualifying studies is itself a finding and is returned to in Section 4.

The resulting database spans UPV from 3070 to 5147 m/s, RI from 27.7 to 39.0, and fc from 32.4 to 54.8 MPa. All NDT measurements correspond to 28 days of curing.

2.2. Data extraction and harmonisation

Values reported in tabular form were transcribed directly. Where results were presented only graphically, values were digitised from the published figures using WebPlotDigitizer. Where the source text reported relative changes rather than absolute values, absolute values were back-calculated and verified against any ranges stated in the text; agreement was within 0.5%.

Two harmonisation issues were addressed. Specimen geometry differed between sources: 150 mm cubes in Muduli and Mukharjee (2019) and 100 mm cubes in Jin et al. (2022). The 100 mm cube strengths were converted to 150 mm cube equivalents using a factor of 0.95, corresponding to the 100/150 mm strength ratio of 1.05 commonly adopted in practice. Reported values for this ratio are not unanimous: Neville (2012) gives 0.96, fib Bulletin 42 (fib, 2008) gives 0.97, whereas BS 8500 treats the two specimen sizes as equivalent. The analysis was therefore repeated without conversion, so that the sensitivity check spans the full range of proposed factors from 0.95 to 1.00.

Rebound testing protocols also differed. Muduli and Mukharjee (2019) averaged 24 readings taken over four faces, whereas Jin et al. (2022) used 16 measurement points. No correction was applied, as no generally accepted conversion exists between protocols; the implication is discussed in Section 4.

2.3. Predictive models evaluated

Ten empirical models were evaluated (Table 1): two single-variable UPV models, two single-variable RI models, three combined UPV–RI models drawn from the general concrete literature, and three models developed specifically for high-performance concrete containing metakaolin or silica fume (Al-Mishhadani et al., 2009). The latter carry an explicitly stated validity domain of RI $\geq$ 35 and UPV $\geq$ 4.12 km/s. The expressions were taken as catalogued by Hannachi and Guetteche (2012).

Unit conventions were handled individually for each model, since reported units are inconsistent across the source literature. Two models required interpretation. For the model of Kheder (1998) based on pulse velocity, evaluation with UPV in km/s as tabulated yields physically impossible values (below 0.01 MPa), whereas evaluation in m/s yields realistic strengths; the latter was therefore adopted. For the model of Arıoğlu et al. (1991), the coefficient of the velocity term is ambiguous in secondary sources; the value 0.515 was adopted, which yields realistic strengths and is consistent with the same coefficient appearing in a companion expression, whereas 0.0515 yields values an order of magnitude too low. Predictions expressed in kg/cm² were converted to MPa using a factor of 0.0980665.

A further seven expressions catalogued in the secondary literature were not evaluated (Table 2). Five are reproduced with corrupted coefficients, exponents or unit labels and could not be verified against primary sources; two relate to probe-penetration testing and are outside the scope of this study.

The two regression equations proposed by Muduli and Mukharjee (2019) were evaluated separately and only on that study's own 15 mixes. As these were fitted to the same data, their errors do not measure predictive performance; they are reported as a reference upper bound on achievable accuracy.

2.4. Error metrics and subgroup analysis

For each model, four metrics were computed over the n mixes, where a_i is the measured and p_i the predicted compressive strength:

$$MAE = (1/n)\ \Sigma\ |p_i - a_i| \qquad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{[\ (1/n)\ \Sigma\ (p_i - a_i)^2\ ]} \qquad (2)$$

$$MAPE = (100/n)\ \Sigma\ |p_i - a_i| / a_i \qquad (3)$$

$$Bias = (100/n)\ \Sigma\ (p_i - a_i) / a_i \qquad (4)$$

MAPE and bias are reported jointly because their relationship is diagnostic. When the absolute values of MAPE and bias coincide, the error is unidirectional and can in principle be removed by a single correction factor. When MAPE is large but bias is near zero, errors are scattered in both directions and no constant correction can recover the model.

Mean percentage bias was additionally computed for subgroups defined by metakaolin replacement level (0%, 5–10%, 15–20%) and by aggregate type (natural, 50% RCA, 100% RCA), in order to identify whether deviations are systematic with respect to either variable.

Table 1. Empirical models evaluated in this study.

#	Model	Expression	Input(s)	Velocity unit	Output unit	Category
1	Kheder (1998)	$fc = 1.2\times10^{-5} \cdot V^{1.7447}$	V	m/s [a]	MPa	UPV
2	Qasrawi (2000)	$fc = 36.72 \cdot V - 129.077$	V	km/s	MPa	UPV
3	Kheder (1998)	$fc = 0.4030 \cdot R^{1.2083}$	R	—	MPa	RI
4	Qasrawi (2000)	$fc = 1.353 \cdot R - 17.393$	R	—	MPa	RI
5	Bellander (1979)	$fc = -25.568 + 6.35\times10^{-4} \cdot R^3 + 8.397 \cdot V$	R, V	km/s	MPa	Combined
6	Meynink et al. (1979)	$fc = -24.668 + 1.427 \cdot R + 0.0294 \cdot V^4$	R, V	km/s	MPa	Combined
7	Arıoğlu et al. (1991)	$fc = 18.6 \cdot \exp(0.019 \cdot R + 0.515 \cdot V)$	R, V	km/s	kg/cm² [b]	Combined
8	Al-Mishhadani et al. (2009)	$fc = 3.106 \cdot R - 91.107$	R	—	MPa	RI [c]
9	Al-Mishhadani et al. (2009)	$fc = 46.784 \cdot V - 158.406$	V	km/s	MPa	UPV [c]
10	Al-Mishhadani et al. (2009)	$fc = 2.168 \cdot R + 16.347 \cdot V - 122.041$	R, V	km/s	MPa	Combined [c]

[a] Reported as km/s in secondary sources; evaluation in km/s yields physically implausible values (< 0.01 MPa), whereas m/s yields realistic strengths. The latter was adopted. [b] Converted to MPa using 1 kg/cm² = 0.0980665 MPa. [c] Developed for high-performance concrete incorporating 10% silica fume or 10% high-reactivity metakaolin; the two branches were not separated by the authors. Stated validity domain: $R \geq 35$ and $V \geq 4.12$ km/s. R = rebound index; V = ultrasonic pulse velocity; fc = compressive strength.

Table 2. Expressions catalogued by Hannachi and Guetteche (2012) but excluded from evaluation.

Model	Reason for exclusion
Postacıoğlu (1985)	Reproduced form yields values two orders of magnitude below plausible range; primary source not verified
Arıoğlu et al. (1994)	Exponent and radical structure corrupted in the reproduced form
Raymar et al. (1996)	Coefficient of the velocity term reproduced as an invalid numeral
Arıoğlu et al. (1996)	Leading coefficient yields values an order of magnitude too low; primary source not verified
Kheder (1998), third expression	Leading coefficient yields values an order of magnitude too low under either velocity unit
NDT Windsor Systems (1994)	Probe-penetration test; outside the scope of UPV/RI evaluation
Malhotra et al.	Probe-penetration test; outside the scope of UPV/RI evaluation

3. Results

3.1. Overall performance of the evaluated models

Table 3 summarises the four error metrics for the ten models over the 21-mix database. None of the models achieved a mean absolute percentage error below 10%. The three combined UPV–RI models performed best, with MAPE between 11.8 and 15.7%, followed by the single-variable models at 25.6 to 44.2%. The three models of Al-Mishhadani et al. (2009), developed specifically for high-performance concrete containing metakaolin, performed worst, with MAPE between 44.3 and 79.0%.

Table 3. Error metrics for the evaluated models (n = 21, 100 mm cube values converted to 150 mm equivalents).

Model	MAE (MPa)	RMSE (MPa)	MAPE (%)	Bias (%)
Meynink et al. (1979)	4.72	6.54	11.8	−11.7
Bellander (1979)	5.31	6.70	13.8	−13.8
Arıoğlu et al. (1991)	6.52	9.39	15.7	−7.3
Kheder (1998), UPV	10.68	13.04	25.6	−25.6
Kheder (1998), RI	13.37	13.64	32.9	−32.9
Qasrawi (2000), RI	13.91	14.06	34.6	−34.6
Qasrawi (2000), UPV	17.54	21.27	44.2	−2.2
Al-Mishhadani et al. (2009), combined	17.24	19.26	44.3	−44.3
Al-Mishhadani et al. (2009), UPV	29.14	31.24	75.2	+39.9
Al-Mishhadani et al. (2009), RI	30.90	31.21	79.0	−79.0
Source-own calibration (reference upper bound, n = 15)				
Muduli and Mukharjee (2019), UPV	0.52	0.67	1.4	+0.5
Muduli and Mukharjee (2019), RI	0.95	1.17	2.5	+0.0

The two regression equations proposed by Muduli and Mukharjee (2019) reproduce their own data with MAPE of 1.4 and 2.5%. As these were fitted to the same mixes, the values do not represent predictive capability; they indicate the accuracy attainable when a calibration is derived from the concrete under test. The gap between this reference and the best external model — 11.8% against 1.4% — quantifies the cost of transferring a calibration across mix designs.

Repeating the analysis without specimen-size conversion raised every MAPE by approximately one percentage point and left the ranking of models unchanged (Meynink et al. 12.8%, Bellander 14.9%, Arıoğlu et al. 16.5%). The conclusions are therefore not sensitive to the conversion factor.

3.2. Direction of error

Comparison of MAPE with mean bias distinguishes two error patterns. For seven of the ten models the two quantities are equal in magnitude, indicating that every prediction in the database falls on the same side of the measured value.

The rebound-based model of Kheder (1998) is the clearest case, with MAPE of 32.9% and bias of −32.9%: the model underestimates strength in all 21 mixes without exception.
The velocity-based model of Qasrawi (2000) behaves differently. Its MAPE of 44.2% is among the largest, yet its bias of −2.2% is near zero, and its RMSE exceeds its MAE by 21%. Errors of comparable magnitude therefore occur in both directions and cancel in the mean. The distinction matters for practical correction: a unidirectional error can in principle be absorbed into a single multiplier, whereas a bidirectional error of this magnitude cannot be corrected without knowing in advance which way a given mix will deviate.

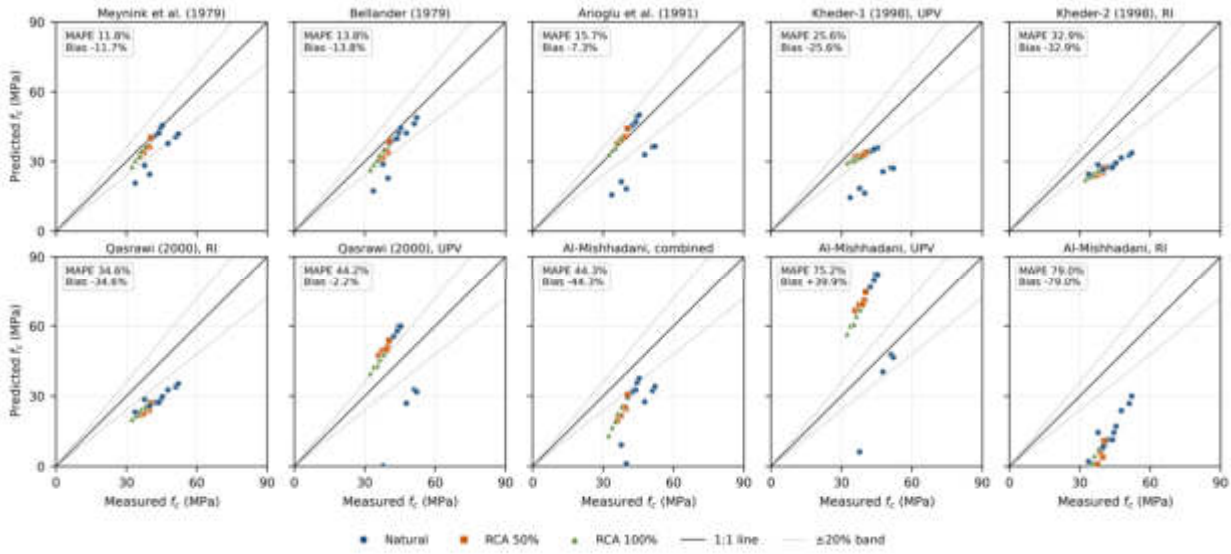


Fig. 1. Measured versus predicted compressive strength for the ten evaluated models, ordered by mean absolute percentage error. Solid line is the 1:1 relation; dotted lines bound the ±20% band. Marker shape denotes coarse aggregate type.

3.3. Systematic deviation with respect to metakaolin content and aggregate type

Table 4 reports mean bias within subgroups.

Table 4. Mean percentage bias by subgroup.

Subgroup	n	Kheder (1998), UPV	Kheder (1998), RI	Bellander (1979)	Meynink et al. (1979)	Arıoğlu et al. (1991)
Metakaolin 0%	5	−27.8	−31.9	−19.9	−16.8	−13.7
Metakaolin 5–10%	8	−23.7	−33.0	−12.1	−10.1	−4.8
Metakaolin 15–20%	8	−26.2	−33.5	−11.8	−10.1	−5.7
Natural aggregate	11	−36.5	−33.3	−15.4	−15.5	−17.8
RCA 50%	5	−14.7	−34.3	−11.8	−6.7	+5.4
RCA 100%	5	−12.5	−30.8	−12.5	−8.4	+3.4

Across metakaolin replacement levels the bias of each model is essentially constant. The spread between the 0% and 15–20% subgroups does not exceed 4 percentage points for any model, and no monotonic trend with replacement level is evident.

Aggregate type produces a markedly different picture, but only for models containing a velocity term. The bias of the velocity-based model of Kheder (1998) moves from −36.5% for natural aggregate to −12.5% for 100% RCA, a shift of 24 percentage points. For the model of Arıoğlu et al. (1991) the bias changes sign, from −17.8% to +3.4%. The model of Bellander (1979), whose velocity term carries the smallest weight relative to its cubic rebound term, shifts by only 2.9 percentage points.

The purely rebound-based model of Kheder (1998) is the limiting case: its bias remains within a 3.5-point band across all six subgroups, varying between −30.8 and −34.3%. Its error is large but uniform with respect to both variables examined.

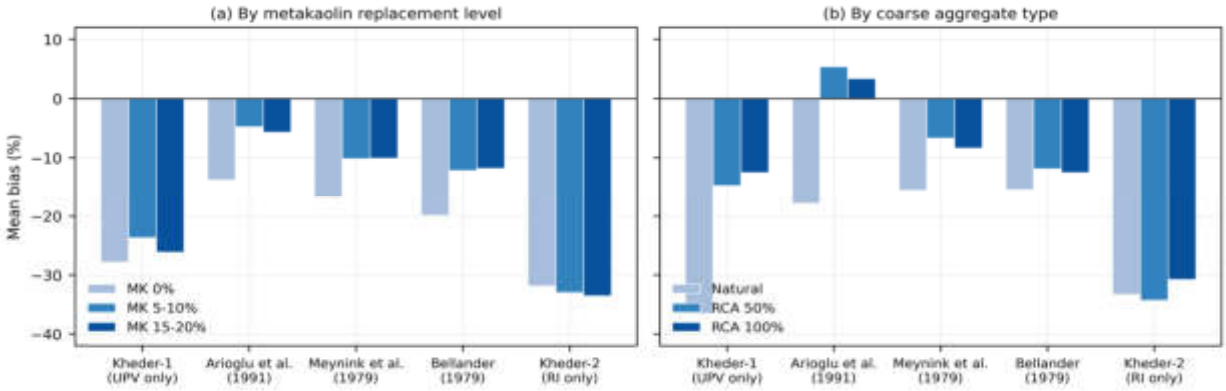


Fig. 2. Mean percentage bias by subgroup: (a) metakaolin replacement level, (b) coarse aggregate type. Models are ordered by the weight assigned to the velocity term, from velocity-only (left) to rebound-only (right).

3.4. Behaviour outside the stated validity domain

The three models of Al-Mishhadani et al. (2009) specify a validity domain of RI ≥ 35 and UPV ≥ 4.12 km/s. Only 3 of the 21 mixes in the database satisfy both conditions, all of them from Jin et al. (2022) at a water-to-cement ratio of 0.45. The database as a whole spans RI from 27.7 to 39.0 and UPV from 3.07 to 5.15 km/s.

Applied across the full database, these models produce the largest errors observed in this study. Their UPV and RI forms deviate in opposite directions — bias of +39.9% and −79.0% respectively — despite having been calibrated on the same experimental programme.

4. Discussion

4.1. Why velocity-based models shift with aggregate type

The subgroup results in Section 3.3 point to a mechanism rooted in what each measurement actually senses. Rebound testing responds to the hardness and stiffness of a surface layer of a few tens of millimetres, which in a well-compacted specimen is mortar-dominated. Pulse velocity, by contrast, traverses the full specimen, and the wave travels preferentially through the stiffer phase — the coarse aggregate — so the measured velocity is weighted by aggregate stiffness and by the volume and continuity of the aggregate skeleton.

Recycled aggregate carries adhered mortar with higher porosity and lower elastic modulus than virgin aggregate. Replacing natural with recycled aggregate therefore depresses pulse velocity more than it depresses compressive strength. A model calibrated on natural-aggregate concrete, presented with a recycled-aggregate mix, receives an input that has fallen further than the strength it is meant to predict.

Because all evaluated velocity models are monotonically increasing in V, the prediction falls with it — and since these models already underestimate strength in this database, the additional depression moves the prediction toward, and in the case of Arıoğlu et al. (1991) past, the measured value.

This reading is consistent with the graded response observed across models. The shift scales with how heavily each expression weights its velocity term: 24 percentage points for the velocity-only model of Kheder (1998); 21 points for Arıoğlu et al. (1991), where velocity enters the exponent with a coefficient of 0.515; and 2.9 points for Bellander (1979), where the cubic rebound term dominates. The rebound-only model of Kheder (1998), which contains no velocity term, shows no aggregate sensitivity at all.

It should be stressed that this is an interpretation of a pattern in 21 mixes, not a demonstrated mechanism. The database contains no measurements of aggregate stiffness, porosity or interfacial transition zone properties that would allow it to be tested directly.

4.2. The absence of a metakaolin effect

The initial expectation of this study was that metakaolin replacement level would systematically displace the calibrations, since metakaolin refines pore structure and densifies the interfacial transition zone, and might therefore raise pulse velocity disproportionately to strength. The data do not support this. Bias varies by no more than 4 percentage points across metakaolin levels for any model, with no monotonic trend.

Two readings are possible. The first is that metakaolin, at the replacement levels examined, improves the matrix in a way that raises velocity, rebound and strength in roughly equal proportion, leaving the calibrations undisturbed. This would be a useful practical result: it implies that a calibration valid for a plain concrete remains valid when metakaolin is introduced, provided the aggregate is unchanged.

The second is that the effect exists but is too small to resolve against the scatter of a 21-mix database drawn from two laboratories. The replacement range covered here is 0–20%, and levels above this are not represented. The present data cannot distinguish between these readings.

4.3. Correctable and uncorrectable error

The pairing of MAPE with signed bias, applied in Section 3.2, separates the evaluated models into two practically distinct classes.

Models whose MAPE and bias coincide in magnitude err in one direction only. The rebound-based model of Kheder (1998) underestimates strength in all 21 mixes by an amount that stays within a 3.5-point band across every subgroup examined. Such a model is wrong but well-behaved: a single multiplicative correction, established from a modest number of cores or cast specimens, would bring its predictions close. Its apparent inferiority to the combined models on raw MAPE is therefore misleading when the intended use is site assessment with local calibration.

Models whose MAPE is large while bias approaches zero are in a different position. The velocity-based model of Qasrawi (2000) errs by 44.2% on average with a mean bias of only −2.2%, meaning that substantial overestimates and underestimates coexist. No constant correction addresses this, and the direction of error for any particular mix cannot be anticipated from the inputs available. For assessment purposes this is the more serious failure mode, and it is invisible in a table reporting absolute errors alone.

This distinction argues against ranking prediction models on a single aggregate error statistic, as is common practice in the comparative literature.

4.4. Extrapolation beyond stated validity domains

The models of Al-Mishhadani et al. (2009) were developed on concretes containing 10% metakaolin or silica fume and carry an explicit validity domain of RI ≥ 35 and UPV ≥ 4.12 km/s. Only 3 of 21 mixes in this database satisfy both conditions. Applied regardless, the models return the largest errors recorded here, and their UPV and RI forms diverge in opposite directions despite originating from a single experimental programme.

The divergence follows from the steepness of the fitted coefficients. The rebound form carries a slope of 3.106 MPa per rebound unit, roughly twice that of the general-literature rebound models evaluated here, which is defensible over the narrow high-strength range on which it was calibrated but collapses when extended downward: at RI = 28 it returns −4.1 MPa. The velocity form, with a slope of 46.784 MPa per km/s, overshoots in the opposite direction at the velocities typical of this database.

The practical implication is narrow but worth stating: models derived from high-performance concrete should not be applied to normal-strength concrete containing metakaolin, even when the binder chemistry appears comparable. The relevant compatibility criterion is the measured NDT range, not the mix constituents.

4.5. Limitations

Four limitations constrain the generality of these findings.

The database comprises 21 mixes from two studies. This is a consequence of the inclusion criteria rather than of an incomplete search: requiring UPV, rebound index and destructive strength for the same mix, with metakaolin as the sole supplementary cementitious material, excludes the large majority of the relevant literature. Many studies measure only pulse velocity; others report rebound results already converted to strength by the instrument's own calibration curve, which cannot be used here; others still combine metakaolin with a second pozzolan or waste. The scarcity is itself informative — combined non-destructive assessment of concrete containing metakaolin has not been systematically calibrated — but it limits statistical power.

The metakaolin and aggregate subgroups are not independent. All six mixes from Jin et al. (2022) use natural crushed aggregate and cover metakaolin levels of 0, 10 and 20%, so the natural-aggregate subgroup carries both sources while the RCA subgroups derive from one. Part of what is attributed to aggregate type in Section 3.3 may reflect differences between laboratories, and the present data cannot separate the two.

Rebound protocols differ between sources, with 24 readings over four faces in one and 16 measurement points in the other, and no accepted conversion exists. Some portion of the residual scatter in rebound-based predictions is attributable to this rather than to model inadequacy.

Finally, two of the ten evaluated expressions required interpretation of ambiguous coefficients or unit labels reproduced in secondary sources, and seven further expressions were excluded for the same reason. Verification against primary sources would strengthen the evaluation and extend its coverage.

5. Conclusions

Ten empirical models for predicting compressive strength from ultrasonic pulse velocity and rebound index were evaluated against a literature database of 21 concrete mixes containing metakaolin, assembled under the requirement that both non-destructive measurements and destructive strength be reported for the same mix with metakaolin as the sole supplementary cementitious material. The following conclusions are drawn.

1. None of the evaluated models predicted compressive strength to within 10% mean absolute percentage error. The combined pulse-velocity–rebound models performed best (11.8–15.7%), single-variable models followed (25.6–44.2%), and models developed for high-performance concrete containing metakaolin performed worst when applied across the full database (44.3–79.0%). By comparison, the regression equations fitted by one source study to its own mixes reproduced them to within 1.4–2.5%, indicating the accuracy attainable when calibration and application concern the same concrete.
2. Deviations were not systematic with respect to metakaolin replacement level. Mean bias varied by no more than 4 percentage points across the range 0–20% for any model, with no monotonic trend. Within the levels examined, introducing metakaolin does not appear to displace existing calibrations.
3. Deviations were systematic with respect to aggregate type, but only for models containing a velocity term. Mean bias shifted by 24 percentage points between natural and fully recycled aggregate for the velocity-only model, changed sign for one combined model, and shifted by less than 3 percentage points for the model in which the rebound term dominates. The purely rebound-based model showed no aggregate sensitivity, its bias remaining within a 3.5-point band across all subgroups. This ordering follows the weight each expression assigns to velocity.
4. Absolute error alone is an insufficient basis for ranking models. Seven of the ten models erred in one direction only, so that their mean absolute percentage error and signed bias coincided in magnitude; such error is in principle removable by a single site-established correction factor. One model combined a large absolute error (44.2%) with near-zero bias (−2.2%), indicating errors of comparable size in both directions that no constant correction can address. The second pattern is the more consequential failure for in-situ assessment, and is not visible in absolute error statistics.
5. Models applied outside their stated validity domains produced the largest errors observed. Only 3 of 21 mixes satisfied the domain declared for the high-performance models, and applied regardless, their velocity and rebound forms deviated in opposite directions (+39.9% and −79.0%) despite deriving from a single experimental programme. Compatibility should be judged on the measured non-destructive range rather than on similarity of binder composition.
6. The scarcity of qualifying studies is itself a result. An extensive search identified only two studies reporting pulse velocity, rebound index and destructive strength for the same mixes containing metakaolin without a second supplementary material. Combined non-destructive assessment of such concrete therefore rests on a narrow experimental base, and dedicated calibration studies covering normal-strength mixes, a range of aggregate types and multiple curing ages would be of practical value.
These conclusions rest on 21 mixes from two laboratories, in which metakaolin content and aggregate type are not fully independent, and should be regarded as indicative rather than definitive.

References

Al-Mishhadani, S.A., Al-Qaisi, W.A., Al-Khafaji, S.F. (2009). Predicting mechanical properties of high performance concrete by using non-destructive tests. Engineering and Technology Journal, 27(3), 425–444.

Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Girgin, C. (1991). Expression reported in Hannachi and Guetteche (2012).

ASTM C597. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C805. Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Bellander, U. (1979). Expression reported in Hannachi and Guetteche (2012).

Brooks, J.J., Megat Johari, M.A. (2001). Effect of metakaolin on creep and shrinkage of concrete. Cement and Concrete Composites, 23(6), 495–502.

Bungey, J.H., Millard, S.G. (1996). Testing of Concrete in Structures, 3rd ed. Blackie Academic & Professional, London.

Dinakar, P., Sahoo, P.K., Sriram, G. (2013). Effect of metakaolin content on the properties of high strength concrete. International Journal of Concrete Structures and Materials, 7(3), 215–223.

EN 12504-2:2001. Testing concrete in structures — Part 2: Non-destructive testing — Determination of rebound number. CEN, Brussels.

EN 12504-4:2004. Testing concrete — Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity. CEN, Brussels.

Facaoaru, I. (1970). Non-destructive testing of concrete in Romania. Symposium on NDT of Concrete and Timber, Institution of Civil Engineers, London, 39–49.

fib (2008). Constitutive modelling of high strength / high performance concrete. fib Bulletin 42, Fédération internationale du béton, Lausanne.

Hannachi, S., Guetteche, M.N. (2012). Application of the combined method for evaluating the compressive strength of concrete on site. Open Journal of Civil Engineering, 2, 16–21.

Jin, L., Zhang, S., Li, X., Wang, Y. (2022). Development of backfill concrete including coal gangue and metakaolin and prediction of compressive strength by extreme learning machine. Minerals, 12(3), 330. [AUTHOR LIST TO BE VERIFIED]

Kheder, G.F. (1998). Expressions reported in Hannachi and Guetteche (2012).

Khatib, J.M. (2008). Metakaolin concrete at a low water to binder ratio. Construction and Building Materials, 22(8), 1691–1700.

Kou, S.C., Poon, C.S., Agrela, F. (2011). Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures. Cement and Concrete Composites, 33, 788–795.

Lin, Y., Lai, C.P., Yen, T. (2003). Prediction of ultrasonic pulse velocity (UPV) in concrete. ACI Materials Journal, 100(1), 21–28. [CITATION TO BE VERIFIED]

Malhotra, V.M., Carino, N.J. (2004). Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton.

Meynink, P., Samarin, A. (1979). Expression reported in Hannachi and Guetteche (2012).

Muduli, R., Mukharjee, B.B. (2019). Effect of incorporation of metakaolin and recycled coarse aggregate on properties of concrete. Journal of Cleaner Production, 209, 398–414.

Neville, A.M. (2012). Properties of Concrete, 5th ed. Pearson Education, London.

Qasrawi, H.Y. (2000). Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted. Cement and Concrete Research, 30(5), 739–746.

RILEM Report TC43-CND (1983). Draft Recommendation for In Situ Concrete Strength Determination by Combined Non-Destructive Methods.

Sabir, B.B., Wild, S., Bai, J. (2001). Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. Cement and Concrete Composites, 23, 441–454.

Siddique, R., Klaus, J. (2009). Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: a review. Applied Clay Science, 43(3–4), 392–400.

ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ SUCUK: FERMANTASYON, ISIL İŞLEM VE KURUTMA KOŞULLARI

Yurdaer ŞAHİN
Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0009-0008-0411-7181

Dr. Yağmur AKYOL
Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0003-0174-9307

Prof. Dr. Mükerrem KAYA
Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0001-6340-828X

ÖZET

Yarı kuru fermente sosisler grubunda yer alan ısıl işlem görmüş sucuk, fermantasyon, ısıl işlem ve kurutma olmak üzere üç ana işlem basamağı uygulanarak üretilmektedir. Fermantasyon sıcaklığı genellikle 22-24 °C arasında değişirken, ısıl işlemde 60-68 °C'lik iç sıcaklık uygulamalarını esas alan ısıl işlem prosedürleri uygulanmaktadır. Kurutma ise ürünün nem:protein oranı < 3,7 kriteri esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu ürünün üretiminde kürleme ajanı olarak sodyum nitrit kullanılmaktadır. Üretim süresinin kısa olması üretici için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca ısıl işlem ürün güvenliğine katkıda bulunmakta ve bu uygulama tüketicinin tercihini de olumlu yönde etkilemektedir. Bununla birlikte bu üründe üretiminde arzu edilen aroma gelişimi sağlanamamaktadır. Fermantasyon işleminden sonra uygulanan ısıl işlem teknolojik açıdan önem arz eden mikroorganizmaların inaktivasyonuna sebep olmaktadır. Isıl işlem yoğunluğuna bağlı olarak laktik asit bakterileri ile Gram (+) ve Katalaz (+) kokların sayılarında da önemli redüksiyonlar söz konusu olmakta ve hatta bazı durumlarda sayı saptanabilir sınırın altına kadar düşebilmektedir. Bu aşamadan sonra uygulanan kurutma aşamasında bu mikroorganizmalar arzu edilen etkilerini gösterememekte ve neticede aroma açısından daha zayıf ürünler ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan ısıl işlem görmüş sucukta fermantasyon sırasındaki asitleşme için glukano delta lakton da kullanılmakta ve bu da arzu edilen aromayı olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Diğer fermente sosislerde olduğu gibi ısıl işlem uygulanan bu üründe de fermantasyon sıcaklığı ürün güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir. Yüksek fermantasyon sıcaklığı, düşük iç sıcaklık uygulaması ve yetersiz kurutma patojen mikroorganizma riskini artabilmektedir. Bu durum, özellikle piliç eti kullanılarak üretilen ısıl işlem görmüş sucukta gıda güvenliği açısından kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmada fermantasyon sıcaklığı ile ısıl işlem ve kurutma koşullarının ürünün duyusal, mikrobiyolojik ve fiziko-kimyasal özelliklerine etkilerine yönelik çalışmalar değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isıl işlem görmüş sucuk, fermantasyon sıcaklığı, aroma, ürün güvenliği

HEAT-TREATED SUCUK: FERMENTATION, HEAT TREATMENT, AND DRYING CONDITIONS

ABSTRACT
Heat-treated sucuk, which belongs to the semi-dry fermented sausage group, is produced using three main process steps: fermentation, heat treatment, and drying. The fermentation temperature generally ranges between 22-24 °C, while heat treatment procedures are based on internal temperatures of 60-68 °C. Drying is carried out based on a moisture:protein ratio of < 3,7. Sodium nitrite is used as a curing agent in the production of this product. The short production time provides a significant advantage for the manufacturer. Furthermore, heat treatment contributes to product safety and positively influences consumer preference. However, the desired aroma development cannot be achieved in the production of this product. The heat treatment applied after the fermentation process causes the inactivation of microorganisms that are of technological importance. Depending on the intensity of the heat treatment, there are significant reductions in the numbers of lactic acid bacteria and Gram (+) and catalase (+) cocci, and in some cases, their numbers can even fall below the detectable limit. During the drying stage applied after this stage, these microorganisms are unable to show their desired effects, resulting in products with weaker aroma. On the other hand, glucono delta lactone is also used for acidification during fermentation in heat-treated sucuk, which can negatively affect the desired aroma. As with other fermented sausages, the fermentation temperature is of great importance for product safety in this heat-treated product. High fermentation temperatures, low internal temperatures, and inadequate drying can increase the risk of pathogenic microorganisms. This is critically important for food safety, especially in heat treated sucuk produced using chicken meat. In this study, research on the effects of fermentation temperature, heat treatment, and drying conditions on the sensory, microbiological, and physicochemical properties of the product was evaluated and discussed.
Keywords: Heat-treated sucuk, fermentation temperature, aroma, product safety.

GİRİŞ
Fermente et ürünleri, fermente sosisler ve parça halde işlenen kuru kür edilmiş et ürünleri olmak üzere iki grup altında toplanmaktadır. Fermente sosisler kuruma derecesine bağlı olarak genellikle kuru ve yarı kuru fermente sosisler olarak adlandırılmaktadır. Bununla birlikte bazı fermente sosis çeşitleri hem kuru hem de yarı kuru fermente sosisler grubunda yer alabilmektedir (Lücke 2017). Fermente sosisler, kıyılmış et ve yağın baharat, şeker, nitrat ve/veya nitrit gibi katkı maddeleri ile karıştırıldıktan sonra doğal veya yapay kılıflara doldurulup kurutma ve fermantasyon işlemlerine tabi tutulan et ürünleridir. Bu ürünler tekstür, renk ve lezzet bakımından farklılık göstermekte ve hemen hemen her coğrafyada üretilmektedir. Bu ürünlerin karakteristik özelliklerini kazanmasında fermantasyon önemli rol oynamaktadır (Kaya ve Kaban 2019; Chen *et al.* 2025). Kuru fermente sosislerde su aktivitesi (a_w) genellikle 0,90'ın altında iken yarı kuru fermente sosisler daha yüksek a_w değerlerine (0,90-0,95) sahiptir. Yarı kuru ürünlerde genellikle iç sıcaklık 60-68 °C olan ısıl işlem prosesi uygulanmaktadır (Caplice and Fitzgerald 1999; Kaya ve Kaban 2019). Et endüstrisinde, sucuk, ısıl işlem görmüş sucuk, salami, hard salami, thuringer, peperroni ve cervelat gibi yarı kuru ve kuru fermente sosislerin yanı sıra bazı ülkelerde Sobrasada, Mettwurst ve Teewurst gibi yüksek nemli fermente sosisler de üretilmektedir. Kuru, yarı kuru ve yüksek nemli fermente sosislerde nem oranı sırasıyla %20-35, %35-50 ve %50-60 arasında değişmektedir (Campbell-Plantt 1995; Lücke 2017; Kaya ve Kaban 2019).

Fermente sosislerin üretiminde %2-3 oranında sodyum klorür kullanılmaktadır. Kürleme ajanı olarak ise sosis hamuruna ürün tipine bağlı olarak nitrat ve/veya nitrit ilave edilmektedir (Lücke 1998; Toldra *et al.* 2001; Kaya ve Kaban 2019). Bu ürünlerde asit oluşum hızı ve buna bağlı olarak pH düşüşü ürünün tekstürü, renk ve karakteristik aroması ile arzu edilmeyen mikroorganizmaların inaktivasyonu açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle fermente sosislerin üretiminde karbonhidrat kaynağı olarak glikoz ve sakaroz gibi şekerlere yer verilmektedir (Lücke 2017). Ayrıca kontrollü bir fermantasyon için starter kültürler de kullanılmaktadır. Avrupada özellikle laktobasiller veya pediokoklar, koagülaz (-) stafilokoklar ile birlikte kullanılırken ABD'de tekli kültürlerin (pediokoklar veya laktobasiller) kullanımı daha yaygındır (Kaya ve Kaban 2019).

Fermente sosislerde fermantasyon koşulları ürün tipi ile starter kültürlerin varlığı ve çeşidine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Fermantasyon başlangıç sıcaklığı açısından ABD ile Avrupa arasında önemli farklılıklar söz konusudur. Avrupada üretilen fermente kuru sosislerde fermantasyon sıcaklığı genellikle 22 °C'nin altında iken "winter salami" olarak adlandırılan bazı fermente sosis çeşitlerininin üretiminde 8-12 °C arasında değişen sıcaklıklar kullanılmaktadır. Yarı kuru ürünlerde ise fermantasyon sıcaklığı 22-26 °C arasında değişiklik göstermektedir (Lücke 1998; Lücke 2017). Amerikan tipi sosislerde ise 32-43 °C civarında fermantasyon sıcaklıkları kullanılmakta ve pH değerinin 5,8'e düşmesi 15 saatten daha kısa sürede gerçekleşebilmektedir. Bu ürünlerde fermantasyonu durdurmak ve/veya ürün güvenliğini artırmak amacıyla sıklıkla ısıl işlem uygulanmaktadır (Santchurn and Collignan 2007). Fermente sosis üretiminde fermantasyon özellikle ürün güvenliğinin sağlanması ve ürünün bazı duyusal özelliklerinin gelişimi açısından en kritik aşamadır (Akyol *et al.* 2024). Bu aşamada spontan veya starter kültür olarak ilave edilen laktik asit bakterileri ile Gram (+) katalaz (+) koklar etkili olmaktadır. Fermantasyondan sonra uygulanan kurutma sırasında da ürünün karakteristik özelliklerinin gelişiminde laktik asit bakterileri ile Gram (+) katalaz (+) koklar ile lipolisiz, proteolisiz ve lipit oksidasyonu gibi reaksiyonlar büyük önem arz etmektedir (Stegmayer *et al.* 2023; Li *et al.* 2025). Diğer taraftan yarı kuru fermente sosislerde fermantasyondan sonra uygulanan ısıl işlem sırasında arzu edilen florada önemli redüksiyonlar söz konusu olmakta ve bu da ürüne arzu edilen duyusal özelliklerin kazandırılmasını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Armutçu *et al.* 2020; Yılmaz Oral and Kaban 2021). Bazı fermente sosis çeşitlerinde ise fermantasyondan sonra kurutma ve müteakiben ısıl işlem uygulanmaktadır (Incze 2007).

Ülkemizde sucuk ve ısıl işlem görmüş sucuk olmak üzere iki farklı fermente sosis çeşidi üretilmektedir. Sucuk üretiminde fermantasyon ve kurutma ana işlem basamakları söz konusu iken ısıl işlem görmüş sucuk üretiminde fermantasyonu müteakiben ısıl işlem uygulamasına yer verilmektedir. Yarı kuru fermente sosisler grubunda yer alan ısıl işlem görmüş sucuk üretimine 1980'li yıllarda sucuk üretim prosesine ısıl işlem uygulamasının dahil edilmesi ile başlanmıştır (Tayar 1989). Bu ürünün üretiminde kanatlı eti kullanımına da müsaade edilmektedir (Anonim 2026). Kısa süreli bir üretim periyoduna sahip bu üründe kürleme ajanı olarak nitrit kullanılmaktadır. Ayrıca starter kültürler de sucuk hamuruna ilave edilmektedir. Bu üründe fermantasyonu müteakiben 60-68 °C arasında değişen iç sıcaklıkları esas alan ısıl işlem uygulamaları söz konusudur (Ercoşkun *et al.* 2010; Toptancı and Ercoşkun 2017; Armutçu *et al.* 2020; Yılmaz Oral and Kaban 2021; Akyol *et al.* 2024). Isıl işlemden sonra ise ürün nem:protein oranı < 3,7 kriteri esas alınarak kurutulmaktadır (Anonim 2026). Mevcut bu çalışmada, ısıl işlem görmüş sucuk üretiminde uygulanan fermantasyon, ısıl işlem ve kurutma koşulları ile bu aşamaların ürünün duyusal, mikrobiyolojik ve fiziko-kimyasal özelliklerine etkilerine yönelik çalışmalar değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

FERMANTASYON

Fermantasyon, gıdanın muhafazasında kullanılan en eski metotlardan biri olup gıdanın lezzetini artırmak, gıda kaynaklı patojenler ile arzu edilmeyen mikroorganizmaların gelişimini engellemek ve gıdanın raf ömrünü artırmak amacıyla kullanılmaktadır (Lücke 2017). Bu muhafaza tekniği, ısıl işlem görmüş sucuk ve diğer fermente sosis çeşitlerinde en önemli aşamadır. Hammadde seçimi, hamurun hazırlanması ve dolum işlemlerinden sonra uygulanan fermantasyonda, başlangıç fermantasyon sıcaklığı 22-24 °C arasında değişim göstermektedir (Kaban and Bayrak 2015; Bilenler *et al.* 2017; Armutçu *et al.* 2020; Yılmaz Oral and Kaban 2021; Akyol *et al.* 2024; Dursun *et al.* 2025; Katmer and Kaya 2025). Diğer taraftan ısıl işlem görmüş sucuk üretiminde 20 °C'lik başlangıç fermantasyon sıcaklığı da uygulanabilmektedir (Temelli *et al.* 2005; Ercoşkun *et al.* 2010; Ercoşkun 2021; Şen and Ertürkmen 2025). Fermantasyonda arzu edilen düzeyde bir asitleşmenin sağlanması açısından hamurun pH değeri dolayısıyla hammaddenin pH değeri önemli bir faktördür. Kırmızı et kullanılan ürünlerde hammaddenin pH değerinin 5,8'den yüksek olmaması gerekmektedir (Gökalp vd 2012). Yarı kuru fermente sosislerde hammadde olarak kanatlı eti de kullanılabilmektedir. Ancak kanatlı etinden hazırlanan sosis hamurlarında başlangıç pH değerinin yüksek olması nedeniyle fermantasyon sırasındaki pH düşüşü, patojen mikroorganizmaların inhibisyonu açısından önem arz etmektedir. pH değerinde yeterli bir düşüşün olmaması durumunda *Staphylococcus aureus* gelişimi söz konusu olabilmektedir. Bundan dolayı endüstride hızlı asitleşmeyi sağlamak amacıyla glukono delta lakton (GDL) formülasyona dahil edilebilmektedir. (Santchurn and Collignan 2007). Isıl işlem görmüş sucukta da kanatlı eti hammadde olarak kullanıldığında daha yüksek başlangıç pH değerleri söz konusu olmakta ve bu da fermantasyon sırasındaki pH düşüşünü olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bundan dolayı ısıl işlem görmüş sucukta kontrollü bir fermantasyon için starter kültür kullanımı elzemdir. Laktik starter kültürler hamurdaki şekerleri kullanarak laktik asit üretmekte ve dolayısıyla pH'yı düşürmektedir. Fermantasyon sırasında pH değerinin düşüş hızı hem ürün güvenliği hem de duyusal özelliklerin gelişimi açısından önem arz etmektedir. Fermantasyon aşamasında pH'nın et proteinlerinin izoelektrik noktasına kadar düşmesi neticesinde su tutma kapasitesi azalmakta ve dolayısıyla ürünün kuruması kolaylaşmaktadır. Ancak aşırı asitleşme ve dolayısıyla çok düşük pH değerleri, su tutma kapasitesinde artışa neden olmakta ve bu da kurumayı geciktirmektedir (Kaya ve Kaban 2019). Bundan dolayı fermantasyon sırasında pH'nın 5,3 civarına kadar düşürülmesi teknolojik açısından önemli bir kriterdir. Fermente ürünlerde pH'daki hızlı düşüş renk, tat ve aroma üzerinde etkili olan Gram (+) katalaz (+) kokların gelişimini de olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Lücke 1998). Bundan dolayı ısıl işlem görmüş sucukta pH düşüşünün kotrollü bir şekilde gerçekleştirilmesi aroma gelişimi açısından önem arz etmektedir. Fermente ürünlerde kür lezzetinin gelişimi, renk oluşumu, antimikrobiyal aktivite ve oksidasyonun geciktirilmesi amacıyla ürün tipine bağlı olarak nitrat ve/veya nitrit kürleme ajanı olarak kullanılmaktadır (Honikel 2008). Isıl işlem görmüş sucukta kürleme ajanı olarak nitrit kullanılmaktadır. Kullanım oranı ise 150 mg/kg ile sınırlandırılmıştır (Anonim 2023). Nitritin beklenen etkileri gösterebilmesi için nitrik okside dönüşmesi gerekmektedir. Bunun için fermantasyon sırasındaki pH düşüşü elzemdir. Nitrit, kimyasal olarak nitrik okside dönüşmekte ve nitrik oksit myoglobin ile reaksiyona girerek kür edilmiş et rengi olan nitrozomyoglobini oluşturmaktadır (Stegmayer *et al.* 2023). Isıl işlem görmüş sucukta olduğu gibi fermantasyondan sonra uygulanan ısıl işlem ile nitrozomyoglobin, nitrozohemokroma dönüşmekte ve böylelikle ürün parlak kırmızımsız bir rengi kazanmaktadır (Gökalp vd 2012).

Kaban and Bayrak (2015) tarafından hindi eti kullanılarak üretilen ısıl işlem görmüş sucuk üzerinde yapılan bir çalışmada 24 °C'lik başlangıç fermantasyon sıcaklığı uygulanmış ve starter kültür mevcudiyetinde pH değeri fermantasyonun sonunda 4,93'e kadar düşmüştür.

Armutçu *et al.* (2020) ise 5,84 olan başlangıç pH değerinin 24 °C'lik fermantasyon sıcaklığında 5,06'ya kadar düştüğünü rapor etmişlerdir. Ayrıca starter kültür olarak kullanılan *Pediococcus acidilactici* S147'nin bu fermantasyon sıcaklığında iyi bir gelişme göstererek ürün özelliklerinin gelişiminde önemli rol oynadığını da vurgulamışlardır. *Latilactobacillus sakei* S15'in ve bu suşun *Staphylococcus xylosus* GM92 suşu ile birlikte kullanımının ısıl işlem görmüş sucuğun kalitatif özelliklerine etkisini belirlemek üzere yürütülen bir araştırmada, 22 °C'de 48 saatlik fermantasyon sonunda her iki starter kültür mevcudiyetinde de pH'nın 5,0'in altına düştüğü bildirilmiştir (Yılmaz Oral and Kaban 2021). Akyol *et al.* (2024) tarafından ısıl işlem görmüş sucuk üzerinde yapılan araştırmada ise yerel laktik asit bakteri suşlarının (*L. sakei* S15, *Lactiplantibacillus plantarum* S91 ve *P. acidilactici* S147b) *S. aureus*'un gelişimine ve enterotoksin üretimine etkileri incelenmiştir. Araştırmada 22 °C'de uygulanan fermantasyonda 48 saatin sonunda tekli ve çoklu kültürlerin pH'yı 5,0'in altına düşürdüğü, starter kültür kullanılmayan grupta ise 72 saatin sonunda bile pH'nin 5,3'ün üzerinde kaldığı bildirilmiştir. Ayrıca starter kültür kullanılmayan grupta *S. aureus*'un gelişme gösterdiği de rapor edilmiştir. Bu sonuçtan da anlaşılacağı üzere ısıl işlem görmüş sucukta, fermantasyon sırasındaki pH düşüşü gıda kaynaklı patojenlerin inhibisyonu açısından da oldukça önem arz etmektedir.

ISIL İŞLEM

Isıl işlem görmüş sucuk üretim prosesinde fermantasyondan sonra 55-70 °C arasında değişen sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanmaktadır. Ancak en yaygın kullanılan sıcaklık aralığı 60-68 °C'dir (Vural 1998; Toptancı 2007; Ercoşkun *et al.* 2010; Çakır *et al.* 2013; Armutçu *et al.* 2020; Yılmaz Oral and Kaban 2021; Akyol *et al.* 2024; Katmer and Kaya 2025). Isıl işlem görmüş sucuk ile ilgili olarak 2012 yılında yayınlanan Türk Gıda Kodeksi Et ve Et Ürünleri Tebliği'nde ısıl işlem görmüş sucuk üretiminde ısıl işlem uygulama normlarına yer verilmiştir. Bu tebliğde kırmızı et kullanılarak üretilen ürünlerde 68 °C'lik iç sıcaklık, kanatlı eti kullanılan ürünlerde ise 72 °C'lik bir iç sıcaklık uygulanması gerektiği belirtilmiştir (Anonim 2012). Ancak daha sonra tebliğde yapılan değişiklik ile bu uygulamalar kaldırılmıştır (Anonim 2019). 2026 yılında yayınlanan tebliğde de yine ısıl işlem normlarına yönelik bir hükme yer verilmemiştir (Anonim 2026). Böylelikle sıcaklık süre ilişkisine uygun bir ısıl işlem prosedürünün geliştirilmesine imkan verilmiştir. Isıl işlem uygulaması gıda kaynaklı patojenlerin inhibisyonu, raf ömrünün uzatılması ve üretim süresinin kısaltılması açısından önemli avantajlar sağlayabilmektedir. Bununla birlikte ısıl işlemden dolayı bu ürünler daha zayıf tat ve aroma profiline sahiptir (Coşkuner *et al.* 2010; Armutçu *et al.* 2020). Ayrıca bu ürünlerde protein denatürasyonu, jel oluşumu ve düşük oranda nem kaybı nedeniyle sıkı ve yumuşak bir tekstür söz konusudur (Coşkuner *et al.* 2010).

Isıl işlem görmüş sucukta fermantasyondan sonra uygulanan ısıl işlemin yoğunluğuna bağlı olarak teknolojik açıdan önem arz eden laktik asit bakterileri ile Gram (+) katalaz (+) kokların sayısında önemli redüksiyonlar gerçekleşmektedir (Armutçu *et al.* 2020; Yılmaz Oral and Kaban 2021; Akyol *et al.* 2024; Katmer and Kaya 2025). Böylelikle ısıl işlem görmüş sucuğun tat ve aroması üzerinde etkili olan mikroorganizmaların faaliyetleri sınırlandırılmaktadır. Bu mikroorganizmalardan özellikle koagülaz (-) stafilokoklar katalaz aktiviteleri ile lipit oksidasyonunun geciktirilmesi, nitrat redüktaz aktiviteleri ile rengin oluşumu ve sürekliliğinin sağlanması ve lipolitik/proteolitik aktiviteleri ile aroma gelişiminde önemli rol oynamaktadır (Chen *et al.* 2022; Stegmayer *et al.* 2023; Chen *et al.* 2025). Isıl işlem görmüş sucuk üretiminde diğer bazı fermente sosis çeşitlerinde olduğu gibi fermantasyondan sonra kurutma ve müteakiben ısıl işlem uygulamasına yönelik araştırmalar yapılarak ürün aromasının artırılması sağlanabilir.

Ancak uygulanacak kurutma sıcaklığının pH değerinde düşüşe neden olmayacak derecede düşük tutulması önem arz etmektedir. Ayrıca kullanılacak starter kültürün seçiminde de bu hususun göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Tayar (1994) tarafından yürütülen bir çalışmada farklı sıcaklık uygulamalarının sucuğun kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerine etkileri incelenmiş ve 62 °C'lik bir iç sıcaklık uygulamasında mikrobiyal florada önemli redüksiyonlar kaydedilmiştir. Sonuç olarak da standart bir sucuk üretimi için bu uygulamanın kaçınılmaz olduğu kanaatine varılmıştır. Vural (1998) ise Türk tipi yarı kuru bir sosis üretimi için farklı starter kültür preparatları kullanmış ve deney gruplarını fermantasyondan sonra 55 °C'lik iç sıcaklık uygulamasına tabi tutmuştur. Bu araştırmada ısıl işlemden sonra örnekler kurutmaya alınmıştır. Sonuç olarak ise *P. acidilactici*'nin fermantasyon sırasında pH değerinde arzu edilen bir düşüşe neden olduğu ve duyusal özellikleri de olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir. Anar vd (2000) tarafından yapılan bir araştırmada ise sucuk üretiminde 63 °C'de 1 saat süreyle yapılan ısıl işlem ve starter kültür kombinasyonunun koliform bakterilerin sayısında çok önemli azalmaya sebep olduğu ve duyusal puanları artırdığı rapor edilmiştir. Toptancı (2007) ise sucuk üretiminde fermantasyondan (23-25 °C'de 3 gün) sonra farklı ısıl işlem uygulamalarının (60 °C/15dk, 65 °C/10 dk ve 70 °C/1sn) ürün özelliklerine etkisini incelemiş ve ısıl işlem uygulamasının tekstür ve bazı renk parametreleri üzerinde olumlu etkiler gösterdiğini bildirmiştir. Coşkuner *et al.* (2010) tarafından yapılan araştırmada ise 70 °C'de 10 dakikalık ısıl işlemin ürün özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Yarı kuru fermente sosislerde ısıl işlem uygulaması gıda kaynaklı patojenlerin inhibisyonu açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Ancak süre ve zaman kombinasyonunun yeterli olması gerekmektedir. Nitekim Soyutemiz vd (2001) tarafından yapılan bir çalışmada 63 °C'lik iç sıcaklık uygulamasının *Listeria monocytogenes* sayısında 4 logaritmik birimlik bir azalma sağladığı ancak *L. monocytogenes*'in kontaminasyonunun 10^5 kob/g seviyesinde olması durumunda bu iç sıcaklık uygulamasının yeterli olmadığı tespit edilmiştir.

KURUTMA

Isıl işlem görmüş sucukta son aşama olan kurutma işlemi 18 °C veya daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir (Dalmış and Soyer 2008; Kaban and Bayrak 2015; Yılmaz Oral and Kaban 2021; Akyol *et al.* 2024; Katmer and Kaya 2025). Kurutmada kriter olarak nem:protein oranı esas alınmaktadır. Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği'ne göre bu oranın < 3,7'den düşük olması gerekmektedir (Anonim 2026). Diğer bazı yarı kuru fermente sosis çeşitlerinde de nem:protein oranı 2,3 ile 3,7 arasında değişmektedir. Su aktivitesi ise 0,92 veya daha düşük seviyelerdedir (Ockerman and Bacus 2007). Bu ürünlerde proses sonunda ağırlık kaybının ise %15-20 arasında değiştiği bildirilmektedir (Ockerman and Basu 2017). Ancak bazı yarı kuru fermente sosis çeşitlerinde ise %10-15 arasında ağırlık kaybı olduğu da belirtilmektedir (Paramithiotis and Drosinos 2017). Bu tip ürünler pH değerinin ≤ 5,0 ve nem:protein oranının ise ≤ 3,1 olması durumunda soğutmaya ihtiyaç duyulmadan muhafaza edilebilmektedir. Bununla birlikte pek çok yarı kuru fermente sosis çeşidi soğukta muhafaza edilmektedir (Ockerman and Basu 2007). Isıl işlem görmüş sucuk ise üretimden sonra genellikle vakum veya modifiye atmosfer uygulanarak soğukta muhafaza edilmektedir.

SONUÇ

Yarı kuru fermente ürünler grubunda yer alan ısıl işlem görmüş sucuğun üretiminde en kritik aşama fermantasyondur. Fermantasyonda uygulanan sıcaklık 22-24 °C arasındadır. Kontrollü bir fermantasyon için starter kültür kullanımı elzemdir. Kürleme ajanı olarak kullanılan nitrit ise önemli bir engel etkendir.

Fermantasyondan sonra uygulanan ısıl işlemin yoğunluğu işletmeden işletmeye değişiklik gösterebilmektedir. Isıl işlem ürün güvenliğine katkıda bulunmasına rağmen aroma gelişimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Isıl işlem aroma gelişimi üzerinde etkili olan mikroorganizmalarda önemli redüksiyonlara neden olmaktadır. Bu nedenle fermantasyondan sonra kontrollü bir kurutma yapılarak ürün aromasının geliştirilmesine yönelik araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda yapılacak araştırmalarda kurutma aşamasında pH düşüşünü engellemeye yönelik uygulamaların da dikkate alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Akyol, Y., Yılmaz Oral, Z.F., Kaban, G. and Kaya, M. 2024. Effects of Autochthonous Starter Cultures on The Behavior of *Staphylococcus aureus* During The Production of a Semi-Dry Fermented Sausage. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences, 38(3), 486-494.

Anar, Ş., Soyutemiz, E., Temelli, S. ve Çetinkaya, F., 2000. Doğal koşullarda üretilen ve ısı işlemi uygulanan sucuklarda starter kültürlerin kullanım olanakları. Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 19(1-2), 51-57.

Anonim, 2012. Türk Gıda Kodeksi Et ve Et Ürünleri Tebliği. Tebliğ No: 2012/74. T.C. Resmi Gazete Sayı: 28488, Ankara.

Anonim, 2019. Türk Gıda Kodeksi Et ve Et Ürünleri Tebliği. Tebliğ No: 2018/52. T.C. Resmi Gazete Sayı: 30670, Ankara.

Anonim, 2023. Türk Gıda Kodeksi Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete Sayı: 32338, Ankara.

Anonim, 2026. Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği (2026/15), T.C. Resmi Gazete Sayı: 33372.

Armutçu, Ü., Hazar, F.Y., Yılmaz Oral, Z.F., Kaban, G. and Kaya, M. 2020. Effects of different internal temperature applications on quality properties of heat-treated sucuk during production. Journal of Food Processing and Preservation, 44 (6), 1-8.

Bilenler, T., Karabulut, I. and Candogan, K. 2017. Effects of encapsulated starter cultures on microbial and physicochemical properties of traditionally produced and heat treated sausages (sucuks). LWT, 75, 425-433.

Campbell-Plantt, G. 1995. Fermented meats-a world perspective. pp.39-51. In: Fermented Meats, Eds. G. Campbell-Platt and P. E. Cook, Blackie Academic and Professional, Glasgow.

Caplice, E. and Fitzgerald, G.G. 1999. Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation. International Journal of Food Microbiology, 50, 131-149.

Chen, J., Li, S., Lin, Y., Toldrá, F. and Lu, X. 2025. The role of coagulase-negative staphylococci on aroma generation of fermented sausage. Meat science, 221, 109730.

Chen, J., Zhang, J., Yang, Z., Niu, Y., Cai, Z., Wang, J., Yin, L., Lin, Y. and Lu, X. 2022. Characterization of indigenous coagulase-negative staphylococci isolated from Chinese spontaneously fermented meat products. Microbiological Research, 263, Article 127160.

Coşkuner, Ö., Ertaş, A.H., and Soyer, A. 2010. The effect of processing method and storage time on constituents of Turkish sausages (sucuk). Journal of food processing and preservation, 34, 125-135.

Çakır, M. A., Kaya, M. and Kaban, G. 2013. Effect of heat treatment on the volatile compound profile and other qualitative properties of sucuk. Fleischwirtschaft International, 5, 69–74.

Dalmış, Ü. and Soyer, A. 2008. Effect of processing methods and starter culture (Staphylococcus xylosus and Pediococcus pentosaceus) on proteolytic changes in Turkish sausages (sucuk) during ripening and storage. Meat science, 80(2), 345-354.

Dursun, A., Türkmen, D. and Güler, Z. 2025. Heat-treated sucuk in natural casings: a source of higher fermentative and oxidative volatile compounds?. Food Science & Nutrition, 13(4), e70137.

Ercoşkun, H. 2021. The effects of fermentation time on heat treated sucuk (Turkish-style dry-fermented sausage). Journal of Food Safety and Food Quality-Archiv für Lebensmittelhygiene, 72(5), 164-175.

Ercoşkun, H., Tağı, Ş. and Ertaş, A. H. 2010. The effect of different fermentation intervals on the quality characteristics of heat-treated and traditional sucuks. Meat Science, 85(1), 174–181.

Gökalp, H.Y., Kaya, M. ve Zorba, Ö. 2012. Et ürünleri işleme mühendisliği. Atatürk Üniversitesi Yayın No:786, Ziraat Fakültesi Yayın No:320, Ders Kitapları Serisi, No: 70, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum.

Honikel, K.O. 2008. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. Meat Science, 78, 68–76.

Incze, K. 2007. European Products, Chapter 29, Handbook of fermented meat and poultry, (Ed:Fidel Toldra), ss: 307-318, Blackwell publishing.

Kaban, G. and Bayrak, D. 2015. The effects of using turkey meat on qualitative properties of heat treeated sucuk. Czech Journal Food Science, 33 (4), 377-383.

Katmer, B. and Kaya, M. 2025. The effect of swiss chard powder as a curing agent on volatile compound profile and other qualitative properties of heat-treated sucuk. Foods, 14(21), 3785.

Kaya, M. ve Kaban, M. 2019. Fermente Et Ürünleri. Gıda Biyoteknolojisi. Editör Necla ARAN, ss.157- 195, 7. Basım, ISBN: 978-605-133-134-8, Nobel Yayıncılık, İstanbul.

Li, D., Du, Y., Su, L., Lin, Y., Zheng, J., Toldrá, F. and Chen, J. 2025. Evaluation of the lipolytic and antioxidant activities of different strains of coagulase-negative staphylococci in fermented sausages. Meat science, 109932.

Lücke, F. K. 1998. Fermented sausages. pp. 441-483. In: Microbiology of Fermented Foods. Volume 2, Eds. B. J. B. Wood. Blackie Academic and Professional, London.

Lücke, F.K. 2017. Fermented Meat Products-An Overview, Fermented Meat Products-Health Aspects, (Ed: Nevijo Zdolec), pp: 1-14, CRC press, Taylor & Francis Group.

Lücke, F.K. 1998. Fermented sausage. Microbiology of Fermented Foods. Ed: Wood, B.J.B. Blackie Academic and Professional, London, 441-483.

Ockerman, H. W. and Basu, L. 2017. Current status of fermented meat production. Fermented meat products: Health aspects, 15.

Ockerman, H.V. and Basu, L. 2007. Production and consumption of fermented meat product. In: Handbook of fermented meat and poultry. Ed Fidel Toldrá, pp. 9-16, Blackwell Publishing Professional, USA.

Paramithiotis, S. and Drosinos, E.H. 2017. Microbial spoilage of fermented meat products. Fermented Meat Products: Health Aspects, 343.

Santchurn, S. J. and Collignan, A. 2007. Fermented poultry sausages. Handbook of fermented meat and poultry, 361-368.

Soyutemiz, E., Çetinkaya, F. and Anar, Ş. 2001. Yerli sucuklarımızda olgunlaşmanın ve pastörizasyon işlemi uygulamanın *Listeria monocytogenes* üzerine etkisi. İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi. 27(1), 99-113.

Stegmayer, M. A., Sirini, N. E., Ruiz, M. J., Soto, L. P., Zbrun, M. V., Lorenzo, J. M. and Frizzo, L. S. 2023. Effects of lactic acid bacteria and coagulase-negative staphylococci on dry-fermented sausage quality and safety: Systematic review and meta-analysis. Meat science, 206, 109337.

Şen, D. B. and Ertürkmen, P. 2025. Anti-clostridial effects and technological properties of nisin against Clostridium sporogenes in nitrite-reduced heat-treated Turkish-type dry fermented sausage (sucuk). Meat Science, 221, 109720.

Tayar, M. 1989. Yerli sucuklarımızın pastörize olarak üretilmeleri üzerine bir araştırma. Uludağ Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Bursa.

Tayar, M. 1994. Türk sucuğuna uygulanan ısıl işlemlerin kaliteye etkisi. Gıda, 19(1), 17-21.

Temelli, S., Anar, S., Sen, M. C. and Beyaz, D. 2005. Heat treated turkish style sucuk: evaluation of microbial contaminations in processing steps. J. Res. Vet. Med, 24, 81-88.

Toldra, F., Sanz, Y. and Flores, M. 2001. Meat fermentation technology. pp. 538-561. In: Meat Science and Applications, Eds. Y. H. Hui, W. K. Nip, R. W. Rogers and O. A. Young. Marcel Dekker, Inc., New York.

Toptancı, İ. 2007. Effect of different thermal processing temperatures on colour and texture of sucuk (Ms thesis). Ankara University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, Turkey.

Toptancı, İ. and Ercoşkun, H. 2017. Physicochemical and microbiological properties of sucuk produced with different heat treatment temperatures. Academic Food Journal, 15(4), 344-349.

Vural, H. 1998. The use of commercial starter cultures in the production of Turkish semi-dry fermented sausages. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung A-Food Research and Technology, 207(5), 410–412.

Yılmaz Oral, Z.F. and Kaban, G. 2021. Effects of autochthonous strains on volatile compounds and technological properties of heat-treated sucuk. Food Bioscience, 43, 101140.

FERMENTE SOSİS ÜRETİMİNDE FONKSİYONEL BİR BİLEŞEN OLARAK PROPOLİSİN KULLANIM POTANSİYELİ

Özlem TAYANÇ
Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0009-0005-8035-7660

Prof. Dr. Güzin KABAN
Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0001-6720-7231

ÖZET
Et, esansiyel amino asitleri, B grubu vitaminleri, demir, çinko ve selenyum gibi mineralleri ile vazgeçilmez bir gıda kaynağıdır. Ancak et, yüksek su aktivitesi ve uygun pH değeri ile hızlı bozulan gıdalar arasında yer almaktadır. Yüzyıllar boyunca etin muhafazasında kurutma, tuzlama, fermentasyon ve tütsüleme gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Et ürünleri içerisinde sucuk, pepperoni ve chorizo gibi fermente sosisler tipik karakteristik özellikleri ile bilinmekte ve dünyanın hemen hemen her coğrafyasında üretilmektedir. Fermente sosislerin arzu edilen karakteristik özelliklerinin kazanmasında fermentasyon önemli rol oynamaktadır. Bu ürünlerde fermentasyon aşaması arzu edilmeyen mikroorganizmaların inhibisyonu açısından da büyük önem arz etmektedir. Fermente sosislerde nitrat ve/veya nitrit renk oluşumu, lezzet gelişimi, ürün güvenliği ve lipid oksidasyonunun geciktirilmesinde rol oynayan önemli katkı maddeleridir. Bununla birlikte bu maddeler nitrozamin oluşumunda da etkili olmaktadır. Bu nedenle özellikle son yıllarda temiz etiket uygulamaları kapsamında bu sentetik katkı maddelerinin kullanım oranını azaltmak veya tamamen çıkarmak sıklıkla gündeme gelmektedir. Bu kapsamda arı ürünleri ve bitki ekstraktları gibi biyoaktif açıdan zengin ürünlerin kullanımına yönelik araştırmalar yapılmıştır. Arı ürünleri arasında biyolojik olarak aktif bileşen içeriğiyle öne çıkan propolis, amino asitler, uçucu yağlar, polifenolik bileşikler, aromatik asitler ve mumlar gibi çok sayıda metabolit içermektedir. Bu özellikleri sayesinde propolis, güçlü antimikrobiyal ve antioksidan aktivite göstermektedir. Nitekim, yapılan çalışmalar propolisin patojen mikroorganizmalara karşı engelleyici etkiler gösterdiğini ve güçlü bir serbest radikalleri süpürme kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Hazırlanmış et karışımları ve taze sosisler üzerinde yapılan araştırmalarda da propolisin kalite prametrelerini olumlu yönde etkilediği rapor edilmiştir. Fermente sosislerde de propolisin mikrobiyolojik ve fizikokimyasal özellikler açısından önemli avantajlar sağladığı bildirilmiştir. Ancak bu doğal ürünün fermente sosislerde kullanımının daha iyi anlaşılması için hala daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu derleme, propolisin kimyasal bileşiminin yanı sıra antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteleri de dikkate alınarak fermente sosislerdeki potansiyel uygulamasını değerlendirmektedir.
Anahtar Kelimeler: Fermente sosis, propolis, antioksidan aktivite, antimikrobiyal aktivite

POTENTIAL USE OF PROPOLIS AS A FUNCTIONAL INGREDIENT IN FERMENTED SAUSAGE PRODUCTION

ABSTRACT
Meat is an indispensable food source due to its essential amino acids, B vitamins, and minerals such as iron, zinc, and selenium. However, meat is among the most perishable foods due to its high water activity and favorable pH. For centuries, various methods have been used to preserve meat, including drying, salting, fermentation, and smoking.

Among meat products, fermented sausages such as sucuk, pepperoni, and chorizo are known for their distinctive characteristics and are produced in almost every region of the world. Fermentation plays a significant role in the development of the desired characteristics of fermented sausages. In these products, the fermentation stage is also of great importance for inhibiting undesirable microorganisms. In fermented sausages, nitrate and/or nitrite are important additives that contribute to color formation, flavor development, product safety, and the delay of lipid oxidation. However, these additives also play a role in the formation of nitrosamines. Therefore, particularly in recent years, reducing or completely eliminating the use of these synthetic additives has frequently been discussed within the framework of clean-label initiatives. In this context, research has conducted on the use of bioactive-rich products, such as bee products and plant extracts. Propolis, which stands out among bee products due to its bioactive component content, contains numerous metabolites such as amino acids, essential oils, polyphenolic compounds, aromatic acids, and waxes. Owing to these properties, propolis exhibits strong antimicrobial and antioxidant activities. Indeed, studies have demonstrated that propolis exerts inhibitory effects against pathogenic microorganisms and possesses a strong free radical scavenging capacity. Studies on fresh meat preparations and fresh sausages have also reported that propolis positively affects quality parameters. In fermented sausages, propolis has also been shown to provide significant advantages in terms of microbiological and physicochemical properties. However, further research is still needed to better understand the use of this natural product in fermented sausages. This review evaluates the potential application of propolis in fermented sausages by considering its chemical composition, as well as its antimicrobial and antioxidant activities.
Keywords: Fermented sausage, propolis, antioxidant activity, antimicrobial activity

GİRİŞ

İnsan beslenmesinde besin içeriği ile vazgeçilmez bir gıda olan et, mikroorganizmalar için uygun bir ortam olduğundan hızlı bozulan gıdalar arasında yer almaktadır (Toldra and Reig, 2011; Mologni et al., 2019). Tarih boyunca gıda muhafazasında çeşitli yöntemlere başvurulmuştur (Khalid et al., 2023). Geçmişten günümüze ulaşan muhafaza yöntemlerinden biri olan fermentasyon ile gıdaya arzu edilen duyusal özelliklerin kazandırılması ve ürün güvenliğinin sağlanması mümkün olmaktadır (Cocolin et al., 2008). Fermente et ürünlerinin içerisinde en önemli payı fermente sosis grubu almaktadır. Bu ürünler nem içeriği, su aktivitesi, nem: protein oranı ve coğrafi bölge gibi faktörlere bağlı olarak sınıflandırılmaktadır (Lücke, 2017). Bu ürünlerin formülasyonuna et ve yağın yanı sıra baharat, sarımsak, şeker, tuz, kürleme ajanı ve antioksidanlar girmektedir (Vignolo et al., 2010).

Et ürünlerinde lipid oksidasyonunu sınırlandırmak için bütillenmiş hidroksianisol (BHA) ve bütillenmiş hidroksitoluen (BHT) gibi sentetik antioksidanlar kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar, sentetik antioksidanların uzun süreli kullanımının sağlık üzerinde bazı potansiyel risklerinin olabileceğini ortaya koymuştur (Vargas-Sanchez et al., 2019). Fermente sosislerde ise formülasyona ürün tipine ve olgunlaştırma koşullaraına bağlı olarak kürleme ajanı olarak sentetik nitrat ve/veya nitrit girmektedir. Bu katkıların ürünün rengi, lezzeti, lipid oksidasyonun engellenmesi ve gıda güvenliğinin sağlanması açısından önemli etkileri söz konusudur. Bununla bereber bu sentetik katkı maddeleri kanserojenik özelliğe sahip nitrozamin oluşumunda da önemli rol oynamaktadır. Bundan dolayı kür edilmiş et ürünleri tüketicilerde büyük bir endişe kaynağı oluşturmaktadır (Sallan et al., 2019). Tüketicilerin katkı maddelerine olan artan farkındalığı ve doğal alternatiflerine karşı olan talepleri nedeni ile ürün formülasyonlarında sentetik katkıların yerine doğal katkıların kullanımına yönelik araştırmaların önemi artmıştır.

Bu katkılara alternatif olarak bitkisel ekstraktlar, uçucu yağlar ve arı ürünleri gibi biyoaktif maddelerce zengin katkıların kullanımına yönelik araştırmalar gerçekleştirilmiştir (Barberis et al., 2018; Pobiega et al., 2019; Kahramanoğlu et al., 2020). Bu derlemede, propolisin kimyasal bileşimi, antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteleri ile fermente sosis üretiminde kullanılabilme potansiyeli değerlendirmektedir.

PROPOLİS

Arıcılık ürünleri arasında biyolojik ve ekonomik açıdan önemli bir yere sahip olan propolisten M.Ö. 300'den beri geleneksel bir ilaç olarak yararlanılmaktadır (Yong and Liu, 2021). Arı tutkalı olarak da bilinen ve reçinemsi (mum benzeri) bir yapıya sahip olan propolis, işçi arılar tarafından ağaç (çam, kestane, meşe, kızılağaç, kayın ve kavak vb.) tomurcukları, reçineleri ve bitki salgılarının toplanması ile üretilmektedir (Şekil 1)(Kutluca et al., 2006). Propolis, kovanda oluşan açıklık ve çatlakları onarmada kullanılmakla birlikte peteklerin mikrobiyal enfeksiyondan korunmasında da önemli rol oynamaktadır. Bunlara ek olarak propolis kovana su girişinin önlenmesi ve dolayısıyla nem seviyesinin korunmasında da etkili olmaktadır. Propolisin kovandaki diğer bir rolü ise kovanda arzu edilmeyen unsurların parçalanmasını önlemektir. Diğer bir ifade ile propolis, bir kovan savunma maddesi olarak rol oynamaktadır (Anjum et al., 2019). Propolisin içeriğinde uçucu yağlar, amino asitler, polifenolik bileşikler, aromatik asitler ve mumlar da dahil olmak üzere 400'den fazla bileşen tanımlanmıştır. Bu maddeler propolisin antimikrobiyal, anti-inflamatuar, prebiyotik, antioksidan, anti-tümör, antiviral, kardiyoprotektif, nöroproteksiyon ve yara iyileştirici etkilerine katkıda bulunmaktadır (Yong ve Liu, 2021). Propolisin özellikle çok güçlü antimikrobiyal ve antioksidan aktivite göstermesi (Kalogeropoulos et al., 2019; Pant et al., 2024), bu ürünün gıda ürünlerinin işlenmesi ve muhafazasındaki önemini artırmaktadır (Ebadi et al., 2019; Zelca et al., 2023; Pant et al., 2024)



Şekil 1. Propolis

FERMENTE SOSİSLERDE PROPOLİS KULLANIMININ ETKİLERİ

Antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri ile propolis, et ve et ürünlerinde önemli bir kullanım potansiyeline sahip doğal bir katkıdır (Vargas-Sanchez et al., 2019; de Medeiros Neto et al., 2021). Fermente bir sosis çeşidi olan ve Alheira olarak adlandırılan bir et ürününde *Listeria innocua* PHLS 2030c'nın kontrolünde propolis etanolik ekstraktının etkisinin incelendiği bir çalışmada, propolisin mevcudiyetinde *Listeria* sayısının 8 günlük depolama sonunda tespit edilebilir sınırın altına düştüğü rapor edilmiştir. Sonuç olarak ise *Listeria* açısından riskli ürünlerde propolis ekstraktının sentetik koruyuculara bir alternatif olarak kullanılabileceği ve böylelikle raf ömrünün uzatılabileceği kanaatine varılmıştır (Casquete et al., 2016).

Propolis ekstraktının Toskana tipi sosislerde antimikrobiyal aktivitesinin incelendiği bir çalışmada da bu ekstraktın ürünün raf ömrünün uzatılması ve mikrobiyolojik stabilitenin sağlanmasında pozitif etkilerinin olduğu bildirilmiştir (Viera et al., 2016).

Propolis etanol (%0,6) ekstraktının taze işlenmiş bir sosis çeşidinin kalite özelliklerine ve raf ömrü üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, kontrol grubu örneklerin 12. günde, propolis içeren grupların ise 21. günde bozulduğu rapor edilmiştir. Ayrıca propolis ekstraktı içeren gruplarda kontrol grubuna göre TBARS ve TVB-N değerlerinin daha düşük olduğu da tespit edilmiştir. Tüm sonuçlar dikkate alınarak propolisin bu tip ürünlerde koruyucu olarak kullanılabileceği kanaatine varılmıştır (Ali et al., 2010).

Kunrath et al. (2017) tarafından propolisin iki farklı oranı (%0,01 ve %0,05) ile BHT ve antioksidan içermeyen dört grup İtalyan tipi fermente sosis üretiminin gerçekleştirildiği bir çalışmada, %0,05 propolis içeren grubun %0,01 propolis içeren grup ve antioksidan içermeyen gruba göre daha düşük TBARS değeri verdiği, buna karşın BHT içeren grubun en düşük lipid oksidasyon değeri gösterdiği belirlenmiş ve propolisin lipid oksidasyonunu sınırlandırmak için doğal bir antioksidan olarak eklenebileceği sonucuna varılmıştır.

Nar kabuğu ve propolis tozları (%2) ile bu ürünlerin kombinasyonunun (%1 nar kabuğu ve %1 propolis tozu), farklı nitrit düzeyleri (0, 50, 100 ve 150 mg/kg) kullanılarak üretilen sucukların kalite özelliklerine etkilerinin fermantasyon (10 gün) ve depolama süresince (4°C'de 30 gün) araştırıldığı bir çalışmada, tüm gruplarda pH ve su aktivitesinin fermantasyon süresince düştüğü, nar kabuğu ve propolis tozlarının TBARS değerini sınırlandığı, koliform sayısında fermantasyon ve depolama süresince değişim olmadığı belirlenmiştir. Araştırmada sonuç olarak sucuk üretiminde hem nar kabuğu hem de propolis tozlarının antimikrobiyal ve antioksidan katkı maddesi olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Kisa et al., 2018).

Kür edilmiş et ürünlerinde kullanılan nitrit ve son üründeki kalıntı nitrit miktarı nitrozamin oluşumu açısından oldukça önemlidir (Sallan et al., 2019). Bu nedenle et ürünlerinde nitrit oranını düşürmeye yönelik araştırmalar büyük önem arz etmektedir. Laktik asit bakterileri, nitrit ve porpolis ilavesinin sucuğun kalite özelliklerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, laktik asit bakteri, toplam bakteri, maya ve küf sayılarının söz konusu faktörlerden önemli ölçüde etkilendiği, 28. günde muamele grubunda kontrol grubuna göre hem toplam bakteri hem de maya ve küf sayısı açısından daha düşük değerler verdiği rapor edilmiştir. Araştırmada ayrıca propolisin antimikrobiyal özelliğinden dolayı nitritin yerine ikame edilebileceği de bildirilmiştir (Ozdal, 2020).

Kırmızımsı, yeşilimsi ve kahverengi propolislerin ve farklı oranlarının (%0,5, %1 ve %2) sucuğun kimysal, fiziksel ve mikrobiyolojik özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, söz konusu propolis türlerinin hem nem ve protein içerikleri hem de aw, pH, asitlik ve renk değerleri üzerinde olumsuz etkilerinin olmadığı saptanmıştır. Ürünün mikrobiyolojik özelliklerinin (toplam mezofil bakteri, stafilokok, laktik asit bakteri, enterokok, maya ve küf ve Enterobactericea sayısı) de söz konusu uygulamalardan etkilenmediği de tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmada propolis türlerinin ürünün duyusal ve tekstürel özellikleri üzerinde olumsuz etkilerinin olmadığı ve hatta TBARS değerini düşürdüğü de rapor edilmiştir (Sadıgzade Zengin, 2024).

Hospital et al. (2024) tarafından kuru fermente sosislerde nitrat ve nitritin yerine arı ürünlerinin kullanıldığı bir çalışmada, kestane balı, propolis ve arı sütünden oluşan iki kombinasyon %2 oranında, 0 ve 75 mg/kg nitrat ve nitrit ile birlikte fermente sosis üretiminde kullanılmıştır.

Araştırmada arı ürünleriyle hazırlanan örneklerde oksidasyonun daha sınırlı olduğu ancak bu farklılığın duyusal analizde panalistler tarafından algılanmadığı, formülasyonda nitrat ve nitrit kullanılmadığında yalnızca a* renk parametresinde enstrümantal farklılıkların gözlemlendiği, arı ürünlerinin eklenmesinin, ürünün mikrobiyotasını (laktik asit bakterileri ve gram pozitif katalaz pozitif koklar) etkilemediği ve sonuç olarak %2 arı ürünü ve 75 mg/kg nitrat ve nitrit kombinasyonunun kullanımının daha iyi sonuçlar vereceği ifade edilmiştir .
Sığır köftelerinde etanolik propolis ekstraktının farklı seviyelerinin (%0,1, %0,3, %0,5 ve %1) etkilerinin incelendiği bir araştırmada, su aktivitesinin propolis ilavesinden etkilenmediği, yüksek seviyelerin ürünün pH değerinde düşüşe neden olduğu rapor edilmiştir. Çalışmada propolisin köftenin renk parametreleri üzerinde etkili olmadığı ancak %0.5'den fazla propolis ilavesinin köftelerin genel kabul edilebilirliğini olumsuz yönde etkilediği de bildirilmiştir. Sonuç olarak sentetik koruyucuların yerine propolisin kullanılabileceği ifade edilmiştir (Cevik Ozkir et al., 2025).
Sucuk formülasyonu esas alınarak hazırlanan köfteler üzerinde yapılan bir çalışmada kırmızımsı, kahverengi ve yeşilimsi propolislerin iki farklı kullanım oranının (%1 ve %2) psikrotrofik ve gıda kaynaklı bir patojen olan *Listeria monocytogenes*'in davranışına etkileri soğukta muhafaza süresince incelenmiştir. Yapılan sayımlar sonucunda *L. monocytogenes* üzerinde tür ve konsantrasyona bağlı olarak propolisin antimikrobiyal aktivite sergilediği, kırmızı (%1 ve %2) ve yeşil propolisin (%1), kahverengi propolise göre daha yüksek antioksidan aktivite gösterdiği, ancak kahverengi propolisin kontrole göre daha iyi antioksidan aktivite sergilediği ve özellikle kırmızımsı propolis (%2) kullanımının lipid oksidasyonunu en etkili şekilde sınırlandırdığı tespit edilmiştir. Araştırmada düşük seviyelerde propolis kullanımının ürünün duyusal açıdan kabul edilebilirliğini artırdığı, buna karşın yüksek seviyelerin duyusal açıdan ürünü olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Sonuç olarak ise propolisin doğal bir antioksidan olarak üründe kullanılabileceği belirtilmiştir (Küçükkurt, 2025).

SONUÇ

Propolis, bal arılarının çeşitli bitkilerden topladığı reçinemsi maddeleri kendi salgılarıyla karıştırarak ürettiği doğal bir bileşik olup kovan içinde antimikrobiyal bir bariyer görevi görmektedir. Yüzyıllardır geleneksel tıpta kullanılan propolis, antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri ile fermente sosis üretiminde alternatif doğal bir katkı maddesi olarak önemli bir potansiyele sahiptir. Özellikle sentetik katkı maddelerinden kaçınma eğiliminin arttığı günümüz gıda pazarında, "temiz etiket" yaklaşımıyla uyumlu bir bileşen olarak öne çıkmaktadır. Ancak propolisin duyusal kalite üzerindeki olası olumsuz etkisi, standardizasyon zorlukları ve starter kültürler ile etkileşimi nedeniyle, endüstriyel ölçekte uygulanabilmesi için kullanım oranının optimizasyonu ve ürün tipine özgü formülasyon çalışmalarına ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

Ali, F. H., Kassem, G. M., & Atta-Alla, O. A. (2010). Propolis as a natural decontaminant and antioxidant in fresh oriental sausage. Veterinaria Italiana, 46(2), 167-172.

Anjum, S. I., Ullah, A., Khan, K. A., Attaullah, M., Khan, H., Ali, H., ... & Dash, C. K. (2019). Composition and functional properties of propolis (bee glue): A review. Saudi Journal of Biological Sciences, 26(7), 1695-1703.

Barberis, S., Quiroga, H. G., Barcia, C., Talia, J. M., & Debattista, N. (2018). Natural food preservatives against microorganisms. Food Safety and Preservation, 621-658.

Casquete, R., Castro, S. M., Jácome, S., & Teixeira, P. (2016). Antimicrobial activity of ethanolic extract of propolis in "Alheira", a fermented meat sausage. Cogent Food and Agriculture, 2(1), 1125773.

Cevik Ozkir A, Demirci AS, Uran H, Gunes R, Kopuk B, Cetin B 2025. Effect of propolis on the quality characteristics and shelf life of raw beef meatballs during refrigerated storage. Food Technology and Biotechnology, 63(3): 410-420. https://doi.org/10.17113/ftb.63.03.25.8774

Cocolin, L., Dolci, P., & Rantsiou, K. (2008). Molecular methods for identification of microorganisms in traditional meat products. In Meat Biotechnology (pp. 91-127). New York, NY: Springer New York.

de Medeiros Neto, M. S., Rodrigues, A. A., Rodrigues, M. D. S. A., dos Santos Araújo, A., da Silva, O. S., de Freitas, P. V. C., ... & Sousa, B. J. (2021). Effect of the addition of brazilian red propolis extract in ground beef. Research, Society and Development, 10(2), e46610212570-e46610212570.

Ebadi, Z., Khodanazary, A., Hosseini, S. M., & Zanguee, N. (2019). The shelf life extension of refrigerated Nemipterus japonicus fillets by chitosan coating incorporated with propolis extract. International Journal of Biological Macromolecules, 139, 94-102.

Hospital, X. F., Hierro, E., Martin-Cabrejas, I., Caballero, N., Jimenez, B., Sanchez-Martin, V., ... & Fernandez, M. (2024). Bee products as an alternative for the preservation of nitrate and nitrite-reduced dry fermented sausages. Food Bioscience, 59, 104048.

Kahramanoğlu, İ., Okatan, V., & Wan, C. (2020). Biochemical composition of propolis and its efficacy in maintaining postharvest storability of fresh fruits and vegetables. Journal of Food Quality, 2020(1), 8869624.

Kalogeropoulos, N., Konteles, S. J., Troullidou, E., Mourtzinos, I., & Karathanos, V. T. (2009). Chemical composition, antioxidant activity and antimicrobial properties of propolis extracts from Greece and Cyprus. Food Chemistry, 116(2), 452-461.

Khalid, W., Maggiolino, A., Kour, J., Arshad, M. S., Aslam, N., Afzal, M. F., ... & Korma, S. A. (2023). Dynamic alterations in protein, sensory, chemical, and oxidative properties occurring in meat during thermal and non-thermal processing techniques: A comprehensive review. Frontiers in Nutrition, 9, 1057457.

Kisa, C., Karagöz, E., Cici, G., Köker, Ö., Kilic, B., Şimşek, A., ... & Soyucok, A. (2018). Effects of pomegranate peel and propolis powders and their combinations on physico-chemical and microbiological properties of Turkish dry-fermented sausage (sucuk) with various nitrite levels. Scientific Papers. Series D. Animal Science, 61.

Kutluca, S., Genç, F., & Korkmaz, A. (2006). Propolis. Samsun Tarım İl Müdürlüğü Çiftçi Eğitimi ve Yayım Şubesi, Samsun, 57.

Kunrath, C. A., Savoldi, D. C., Mileski, J. P. F., Novello, C. R., Alfaro, A. D. T., Marchi, J. F., & Tonial, I.B. (2017). Application and evaluation of propolis, the natural antioxidant in Italian-type salami. Brazilian Journal of Food Technology, 20(00), e2016035.

Küçükkurt, O. (2025). Sucuk köftelerde farklı propolis türlerinin kullanılabilirliği ve Listeria monocytogenes üzerine etkilerinin araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sağlık Bilimler Enstitüsü Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı Doktora Tezi, Afyonkarahisar.

Lücke, F.K. (2017). Fermented Meat Products—An Overview, Fermented Meat Products-Health Aspects, (Ed: Nevijo Zdolec), pp: 1-14, CRC press, Taylor and Francis Group.

Molognoni, L., Daguer, H., Motta, G. E., Merlo, T. C., & Lindner, J. D. D. (2019). Interactions of preservatives in meat processing: Formation of carcinogenic compounds, analytical methods, and inhibitory agents. Food Research International, 125, 108608.

Ozdal, T. (2020). Changes in physicochemical, microbiological and sensory characteristics of traditionally produced Turkish sucuk during ripening and storage: natural or synthetic additives?. Gıda, 45(2), 329-339.

Pant, K., Sharma, A., Chopra, H. K., & Nanda, V. (2024). Impact of biodiversification on propolis composition, functionality, and application in foods as natural preservative: A review. Food Control, 155, 110097.

Pobiega, K., Kraśniewska, K., Przybył, J. L., Bączek, K., Żubernik, J., Witrowa-Rajchert, D., & Gniewosz, M. (2019). Growth biocontrol of foodborne pathogens and spoilage microorganisms of food by Polish propolis extracts. Molecules, 24(16), 2965.

Sadıgzade Zengin, Z. (2024). Fermente sucuk kalite özellikleri üzerine farklı propolis türlerinin etkisinin araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sağlık Bilimler Enstitüsü Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı Doktora Tezi, Afyonkarahisar.

Sallan, S., Kaban, G., & Kaya, M. (2019). Nitrosamines in sucuk: Effects of black pepper, sodium ascorbate and cooking level. Food Chemistry, 288, 341-346.

Toldrá, F., & Reig, M. (2011). Innovations for healthier processed meats. Trends in Food Science and Technology, 22(9): 517-522.

Vargas-Sánchez, R. D., Torrescano-Urrutia, G. R., Torres-Martínez, B. D. M., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., & Sánchez-Escalante, A. (2019). Propolis extract as antioxidant to improve oxidative stability of fresh patties during refrigerated storage. Foods, 8(12), 614.

Viera, V.B., Piovesan, N., Moro, K.I.B., Rodrigues, A.S., Scapin, G., Rosa, C.S.D., & Kubota, E.H. (2016). Preparation and microbiological analysis of Tuscan sausage with added propolis extract. Food Science and Technology, 36, 37-41.

Vignolo, G., Fontana, C.,& Fadda, S. (2010). Semidry and dry fermented sausages, Chapter 22, Handbook of Meat Processing, (Ed: Fidel Toldra), pp:379-398, Blackwell publishing, USA.

Yong, H., & Liu, J. (2021). Active packaging films and edible coatings based on polyphenol-rich propolis extract: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(2): 2106-2145.

Zelca, Z., Merijs-Meri, R., Krumme, A., & Bernava, A. (2023). Electrospun fibrous materials with propolis extracts for edible food packagings. Molecules, 28(14), 5497.

FERMENTE SOSİSLERDE *DEBARYOMYCES HANSENİİ*'NİN ROLÜ VE KALİTEYE ETKİSİ

İlknur ORTAYOL DİNDER
Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0009-0000-1911-9456

Prof. Dr. Güzin KABAN
Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0001-6720-7231

ÖZET
Fermentasyon, mikroorganizmaların ve/veya enzimlerin aktivitesine dayanan en eski muhafaza yöntemlerinden biridir. Fermente gıdalar içerisinde karakteristik lezzeti ile dünya çapında yaygın olarak tüketilen fermente sosisler önemli bir paya sahiptir. Bu ürünler fermentasyondan sonra uygulanan kurutma dereceleri bakımından kuru ve yarı-kuru olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Her iki ürün grubunda da laktik asit bakterileri ve Gram pozitif-katalaz pozitif kokların yanı sıra mayalar da mikrobiotanın önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Fermente sosislerde *Candida, Cryptococus, Debaryomyces, Kluyveromyces, Pichia, Rhodotorula, Saccharomyces, Trichosporon* ve *Yarrowia* cinslerine giren maya türleri identifiye edilmiş ve pek çok fermente sosis çeşidinde *Debaryomyces hansenii* predominant maya türü olarak belirlenmiştir. *D. hansenii*, yüksek tuz konsantrasyonlarına ve düşük su aktivitesine dayanıklılığından dolayı fermente sosislerde gelişebilmekte ve aroma profili ve fizikokimyasal özellikler üzerinde etkili olabilmektedir. Fermentasyon ve olgunlaşma süreçlerinde aktif olarak metabolik aktivitelerini sürdürebilmekte ve ürün kalitesine etki edebilmektedir. *D. hansenii*, proteolitik ve lipolitik aktiviteleri ile olgunlaştırma sırasında tat ve aroma oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu mikroorganizma, yüksek miktarda alkol ve ester üretebildiği için uçucu profilini olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca *D. hansenii*, laktatı kullanarak fermente sosislerin pH'sını artırabilmektedir. Bu nedenle istenilen lezzet profilinin geliştirilmesi için *D. hansenii* ve laktik asit bakterilerinin kombine kullanımının gerekli olduğu belirtilmektedir. Araştırmalar, kuru fermente sosislere *D. hansenii* inokülasyonunun, ester ve organik asit konsantrasyonlarını arttırdığını göstermiştir. Ayrıca bu maya, peroksitleri parçalama yeteneği sayesinde bu ürünlerin karakteristik kırmızı renginin korunmasına da katkıda bulunmaktadır. Spontan fermantasyonda ki önemli rolü nedeniyle, *D. hansenii* günümüzde bazı fermente sosis türlerinde starter kültür olarak da kullanılmaktadır. Bu derleme, *D. hansenii*'nin karakteristik özelliklerine ve fermente sosislerin kalite özellikleri üzerindeki etkilerine kapsamlı bir bakış sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: *Debaryomyces hansenii*, Fermente sosis, Aroma profili, Starter kültür

THE ROLE OF *DEBARYOMYCES HANSENII* IN FERMENTED SAUSAGES AND ITS EFFECT ON QUALITY

ABSTRACT
Fermentation is one of the oldest preservation methods, based on the activity of microorganisms and/or enzymes. Among fermented foods, fermented sausages, with their characteristic flavor, represent a significant share and are widely consumed worldwide. These products are divided into two main groups based on the degree of drying applied after fermentation: dry and semi-dry products. In both groups, lactic acid bacteria, Gram-positive catalase-positive cocci, and yeasts constitute an important part of the microbiota.

In fermented sausages, yeast species belonging to the genera *Candida, Cryptococcus, Debaryomyces, Kluyveromyces, Pichia, Rhodotorula, Saccharomyces, Trichosporon,* and *Yarrowia* have been identified, with *Debaryomyces hansenii* being the predominant yeast species in many types of fermented sausages. *D. hansenii* can grow in fermented sausages due to its tolerance to high salt concentrations and low water activity, thereby affecting the aroma profile and physicochemical properties of the product. It remains metabolically active throughout the fermentation and ripening processes, contributing to product quality. *D. hansenii* plays a significant role in the development of taste and aroma during ripening through its proteolytic and lipolytic activities. This microorganism positively influences the volatile profile by producing high levels of alcohols and esters. In addition, *D. hansenii* can increase the pH of fermented sausages by utilizing lactate. Therefore, the combined use of *D. hansenii* and lactic acid bacteria is stated essential for the development of the desired flavor profile. Studies have shown that the inoculation of *D. hansenii* in dry fermented sausages increases the concentrations of esters and organic acids. In addition, this yeast contributes to the preservation of the characteristic red color of these products through its ability to decompose peroxides. Because of its significant role in spontaneous fermentation, *D. hansenii* is currently used as a starter culture in some types of fermented sausages. This review provides a comprehensive overview of the characteristic features of *D. hansenii* and its effects on the quality characteristics of fermented sausages.
Keywords: *Debaryomyces hansenii*, Fermented sausage, Aroma profile, Starter culture

GİRİŞ

Et, biyolojik değeri yüksek proteini, demir, çinko ve selenyum gibi mineralleri ve B grubu vitaminleri ile insan beslenmesi için önemli bir gıdadır. Bununla birlikte, et, besin içeriği, pH değeri ve yüksek su aktivitesi ile hızlı bozulan gıdalar içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle etin muhafazasında, soğutma, dondurma, kurutma, kürleme, tuzlama, tütsüleme, pastörizasyon ve sterilizasyon gibi yöntemlerin yanı sıra yüksek hidrostatik basınç, ultraviyole ışık ve darbeli elektrik alanları gibi yöntemlere başvurulmaktadır. Gıda muhafazasında kullanılan en eski yöntemlerden biri de fermentasyondur (Sallan et al., 2023). Raf ömrü uzun ve mikrobiyolojik açıdan güvenli gıdaların üretiminde kullanılan fermentasyonda bakteriler, maya ve küfler ile enzimler önemli rol oynamaktadır (Lee et al., 2023). Fermentasyon et ürünleri üretiminde tuzlama ve kurutma ile birlikte bu ürünlere has karakteristik özelliklerin kazandırılmasında önemli bir etkiye sahiptir. Fermente et ürünleri, fermente sosisler ve büyük parça etlerin hammadde olarak kullanıldığı olgunlaştırılmış etler olmak üzere iki grup altında toplanmaktadır (Lücke, 2017). Bu ürünler içerisinde sucuk, chorizo ve hard salami gibi kuru fermente sosisler karakteristik lezzeti ile dünya çapında yaygın olarak tüketilmektedir (Flores et al., 2015). Bu ürünler genellikle ısıl işleme tabi tutulmamaktadır. Fermente sosisler grubunda yer alan diğer bir ürün grubu ise yarı kuru fermente sosislerdir. Yarı-kuru fermente sosislerde fermentasyon en önemli aşamadır. Bu ürünler fermentasyondan sonra 60-68°C'de değişen iç sıcaklık uygulamalarına tabi tutulmakta ve müteakiben kurutulmaktadır. Bunun yanı sıra bazı fermente sosis çeşitlerinde fermentasyondan sonra kurutma işlemi uygulanmakta ve müteakiben ürün ısıl işleme tabi tutulmaktadır (Incze, 2007).

Fermente sosislerin üretiminde spontan veya starter kültür olarak ilave edilen laktik asit bakterileri (*Lactobacillus plantarum, L. curvatus, L. pentosus, L. sakei, Pediococcus pentosaceus, P. acidilactici*) ile Gram (+) katalaz (+) koklar (*Staphylococcus carnosus, S. xylosus ve Kocuria varians*), teknolojik açıdan önem arz eden iki mikroorganizma grubudur. Bu mikroorganizmalardan laktik asit bakterileri karbonhidratları metabolize ederek başta laktik asit olmak üzere organik asitler oluşturarak hem ürün güvenliğine hem de ürünün duyusal özelliklerinin gelişimine katkıda bulunmaktadır (Chen et al., 2025; Li et al., 2026).

Gram (+) katalaz (+) koklar ise proteolitik ve lipolitik aktiviteleri ile ürün aromasının gelişiminde önemli rol oynadıkları gibi katalaz aktiviteleri ile peroksitleri parçalayarak lipid oksidasyonunun geciktirilmesinde de etkili olmaktadır. Bunun yanı sıra nitrat redüktaz aktiviteleri ile renk oluşumuna da önemli katkı sağlamaktadır (Chen et al., 2025). Bu iki mikroorganizma grubunun yanı sıra fermente sosislerin olgunlaştırılmasında mayalar da önemli aktiviteler göstermektedir. Özellikle proteolitik ve lipolitik aktiviteleri ile lezzet ve aroma gelişiminde ve oksijeni kullanarak renk stabilitesinin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır (Kaya ve Kaban, 2019; Murgia et al., 2019; Mi et al., 2021). Ayrıca bu mikroorganizmalar peroksitleri parçalayarak lipid oksidasyonunu sınırlandırmaktadır (Cano-Garcia et al., 2014a). Mayalar, fermente et ürünlerinde genellikle starter kültür olarak kullanılmamalarına rağmen 10^6 kob/g gibi yüksek sayılarda üründe bulunabilmektedir. Bu mikroorganizmaların kaynağının ise hammadde ve işleme ortamının olduğu belirtilmektedir (Andrade et al., 2010; Murgia et al., 2019). Fermente sosislerde *Candida, Cryptococcus, Debaryomyces, Kluyveromyces, Pichia, Rhodotorula, Saccharomyces, Trichosporon* ve *Yarrowia* cinsine ait mayalar izole edilmiştir (Cano-Garcia et al., 2014b; Murgia et al., 2019). Bu mayalar içerisinde baskın maya türünün *Debaryomyces hansenii* olduğu belirtilmektedir (Mendonça et al., 2013; Cano-Garcia et al., 2014b; Murgia et al., 2019; Ramos et al., 2017). Kuru feremente bir sosis çeşidi olan sucuk üzerinde yapılan bir çalışmada da *D. hansenii* ve *Candida zeylanoides'in* dominant maya türleri olduğu rapor edilmiştir (Öztürk and Sağdıç, 2014). Bu çalışmada, *D. hansenii*'nin karakteristik özellikleri ve fermente sosislerin kalite özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

DEBARYOMYCES HANSENİİ

Debaryomyces hansenii, Debaryomycetaceae ailesine ait (Ruiz-Castilla et al., 2025), yüksek tuz (4 M NaCl/%25 NaCl 'ye kadar) ve ozmotik basınç altındaki ortamlarda canlılığını sürdürebilen halotolerant ve kserotolerant bir maya türüdür. Bu mikroorganizma, deniz suyu ve buzul ortamları gibi ekstrem koşulların yanı sıra peynir ve kür edilmiş et ürünleri gibi düşük su aktivitesine sahip ortamlarda da bulunabilmektedir (Duran Estrada, 2024). Ayrıca geniş bir sıcaklık (5-35°C) ve pH (3-10) aralığında gelişebilen bu mikroorganizma, glikozun yanı sıra çeşitli karbon kaynaklarını da metabolize edebilmektedir (Navarrete and Martinez, 2020). Zayıf fermantatif veya aerobik özellik gösteren *D. hansenii'nin* sadece yüzeyde değil, kuru fermente sosislerin iç kısmında da çoğalabildiği belitilmektedir (Flores et al., 2015). *D. hansenii*, organik asitleri metabolize edebilmekte ve deaminaz/deamidaz aktivitesi gösterebilmektedir (Toldra, 2012). Zorlu çevre şartlarında yüksek ozmotik ve oksidatif stres toleransı olduğundan gıda matrislerinde mikrobiyal stabilitenin artırılmasında önemli bir organizma olarak kabul edilmektedir (Ruiz-Castilla et al., 2025). Diğer taraftan *D. hansenii*'ye *Candida* sp. ile yakından ilişkili olduğundan potansiyel bir patojen olabileceği yönünde değerlendirmeler de yapılmaktadır. Ancak bu mayanın sağlık sorunlarına neden olduğuna dair bilimsel bir kanıt olmadığı gibi Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi tarafından da QPS listesine (Güvenli Olarak Kalite Varsayımı) dahil etmiştir (Huang et al., 2021).

FERMENTE SOSİS KALİTESİNDE *D. HANSENİİ'NİN ROLÜ*

Fermente sosisler, laktik asit bakterileri, koagülaz-negatif stafilokoklar ve mayaların birlikte faaliyet göstererek karakteristik aroma bileşiklerinin oluşumuna katkıda bulunduğu karmaşık bir mikrobiyal ekosistemdir. *Debaryomyces hansenii*, fermente et ürünlerinin olgunlaşma sürecinde yaygın olarak bulunan ve giderek starter kültür olarak kullanılması yönünde çalışmalar yürütülen halotolerant bir mayadır. Yapılan çalışmalarda, bu türün aroma ve tekstür oluşumuna katkı sağladığı bildirilmiştir.

Geleneksel ürünlerde yaygın olarak bulunan bir maya olan *D. hansenii*'nin, etil asetat ve etil propiyonat üretimi yoluyla fermente sosislerde tatlı, çiçeksi ve meyvemsi aroma özelliklerini artırdığı bildirilmiştir (Zhang et al., 2026). Ramos-Moreno et al. (2021) da *D. hansenii*'nin proteolitik ve lipolitik aktiviteleri ile olgunlaşma sırasında serbest amino asit ve yağ asidi profilini değiştirerek karakteristik aroma bileşiklerinin oluşumuna katkıda bulunabildiğini ve özellikle aldehit, alkol ve esterler gibi uçucu bileşiklerin seviyesini artırarak aromayı zenginleştirdiğini belirtmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise fermente sosis üretiminde starter kültür olarak *D. hansenii* suşlarının (Y61 ve Y67) lipid oksidasyonunun sınırlandığı ve Enterobacteriaceae sayısında redüksiyona neden olduğu rapor edilmiştir. Aynı araştırmada kullanılan maya suşlarının fermente sosisin *L** ve *a** değerleri ile serbest amino asit ve yağ asitleri seviyelerini artırdığı, duyusal özellikleri iyileştirdiği, ürün güvenliğine katkıda bulunduğu ve ester bileşikleri ile aromaya katkı sağladığı belirlenmiştir (Yang et al., 2024).

Farklı starter kültürler (*L. plantarum*, *L. plantarum* + *Micrococcus aurantiacus*, *L. plantarum* + *M. aurantiacus* + *D. hansenii*) ve olgunlaştırma sıcaklıklarının (12-14°C, 16-18°C ve 20-22°C) sucuğun kalite özelliklerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, karışık kültürlerin kalıntı nitrat ve nitrit miktarını azalttığı, TBARS değerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Aynı araştırmada *D. hansenii*'nin sucuğun kalite özelliklerine katkı sağladığı ve 20-22°C'lik olgunlaştırma sıcaklığının diğer oldunlaştırma sıcaklıklarına göre daha iyi sonuçlar verdiği de bildirilmiştir (Gökalp, 1986). Farklı *D. hansenii* suşlarının kuru fermente bir sosis çeşidinde kullanıldığı bir çalışmada, fizikokimyasal ve mikrobiyal özellikler açısından suşların önemli bir etkisinin olmadığı ancak *D. hansenii* suşlarının özellikle aldehitler, esterler ve dallanmış aldehitler üreterek ürünün uçucu bileşik profilini zenginleştirdiği bildirilmiştir (Andrade et al., 2010).

Sucuktan izole edilen iki farklı maya suşunun (*C. zeylanoides* S15c ve *D. hansenii* S3c) tekli ve laktik asit bakterileri (*L. curvatus, L. plantarum* ve *L. sakei*) ile birlikte sucuk üretiminde starter kültür olarak kullanıldığı bir çalışmada, 12 günlük olgunlaştırmanın belirli günlerinde alınan örnekler değişik parametreler açısından analiz edilmiştir. Maya suşlarının kullanıldığı grupların olgunlaştırma sonunda pH, aw, nem ve kalıntı nitrit içeriğinin diğer gruplara göre daha yüksek değerler verdiği, tüm gruplarda terpenler, aldehitler ve sülfürlü bileşiklerin uçucu bileşik profilinde önemli bir paya sahip olduğu, maya kullanımının duyusal özellikler üzerinde olumlu etki gösterdiği rapor edilmiştir. Ancak aynı çalışmada inokülasyon seviyesinin (10^6 kob/g) ürünün bazı tekstürel özelliklerinde arzu edilmeyen değişikliklere neden olduğu ve bu nedenle daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç olduğu da ifade edilmiştir (Öztürk et al., 2021). Sucuk üzerinde yürütülen diğer bir araştırmada ise karışık kültür (*Pediococcus pentosaceus ve Staphylococcus carnosus*) kullanılarak üretilen sucuklar ile *D. hansenii* ve *Yarrowia lipolytica* kullanılarak üretilen sucukların fiziksel, kimyasal ve duyusal özellikleri olgunlaştırma süresince incelenmiştir. Araştırmada starter kültür kullanılmadan üretilen sucuk grubu ise kontrol grubu olarak değerlendirilmiştir. Maya suşlarının renk parametreleri ve protein çözünürlüğü üzerinde önemli etkilerinin olmadığı rapor edilmiştir. Ayrıca sucuk gruplarının uçucu bileşik profilinde terpenlerin baskın olduğu, lipid oksidasyonundan kaynaklanan bileşiklerin *Y. lipolytica* kullanılarak üretilen gruplarda diğer gruplara göre daha düşük düzeylerde bulunduğu ve duyusal analizde maya suşlarını içeren grupların diğer gruplara kıyasla daha yüksek puanlar aldığı bildirilmiştir (Büyüktaş, 2012).

Cantonese olarak adlandırılan Çin tipi bir fermente sosis çeşidinden izole edilen laktik asit bakteri suşları ile *D. hansenii* suşlarının starter kültür olarak kullanılabilme imkânlarının araştırıldığı bir çalışmada, starter kültür kullanımının kontrol grubuna göre daha düşük nitrit ve yağ içeriğine sahip olduğu rapor edilmiştir. Araştırmada ürün özelliklerine yönelik yapılan analizlerin sonuçları dikkate alınarak laktik asit bakteri suşları ile *D. hansenii* suşlarının starter kültür olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır (Cheng, 2018).

D. hansenii'nin kuru fermente bir sosis çeşidinde lezzet gelişimine etkisinin incelendiği bir çalışmada ise *D. hansenii* SH4 suşunun hem karbonhidrat hem de amino asit metabolizması ile uçucu bileşiklerin oluşumunu teşvik ettiği ve esterlerin oluşumunu ise hızlandırdığı bildirilmiştir. Ayrıca *D. hansenii, L. sakei, L. curvatus, Leuconostoc fallax, L. plantarum, Weissella minör*, *Staphylococcus* ve *Candida* türlerinin kuru sosislerin lezzeti açısından fonksiyonel mikroorganizmalar olduğu da vurgulanmıştır (Chen et al., 2025).

Fermente sosislerde ve parça halde işlenen kuru kür edilmiş et ürünlerinin üretiminde kullanılan tuz miktarının azaltılmasından kaynaklanan olumsuzlukların giderilmesi amacı ile mayalar sıklıkla gündeme gelmektedir. Hem starter kültür preparatlarında hem de fermente sosisler ve kuru kür edilmiş parça halde işlenen et ürünlerinde spontan olarak bulunan mayalar, fermentasyonda önemli rol oynamaktadır. Bu mikroorganizmalar, karbonhidrat katabolizmi, proteoliz ve lipoliz dahil olmak üzere metabolik aktiviteleri ile fermente et ürünlerinin karakteristik lezzetine ve tekstürüne katkıda bulunan kompleks biyokimyasal reaksiyonlarda etkili olmaktadır. Örneğin, *D. hansenii*'nin proteolitik ve lipolitik aktiviteleri yoluyla serbest amino asit ve yağ asiti içeriğklerini artırdığı ve böylece fermente sosislerin genel lezzetini artırdığı bildirilmiştir (Huang et al., 2026). Bu türün kuru kür edilmiş ürünlerinde tuz oranının düşürülmesinde etkili olduğu ve hatta "doğal tuz azaltıcı ajan" olarak tanımlanabileceği de rapor etmişlerdir (Chacón-Navarrete et al., 2026).

Fermente sosislerde tuz azaltılmasına yönelik çalışmalarda potasyum klorür kullanımı oldukça yaygındır. Ancak bu tuzun kullanım oranı duyusal özelliklerden dolayı sınırlıdır. İki farklı maya suşunun (*Pichia kudriavzevii* ve *Debaryomyces hansenii*) KCl ile tuz oranı düşürülmüş (%60 NaCl+ %40 KCl) bir fermente sosis çeşidinin fizikokimyasal özellikleri, bakteri çeşitliliği ve aroma profiline etkisini inceleyen bir çalışmada, suşların sodyum oranı düşürülmüş sosislerde maya sayısı ile pH değerinde artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca maya kullanımının ester, aldehit ve ketonların seviyelerini artırdığı da bildirilmiştir. Bakteriyel çeşitlilik açısından ise P. kudriavzevii kullanılarak üretilen örneklerde *Lactobacillus, Weissella* ve *Leuconostoc* cinslerinin mikrobiotadaki paylarının düştüğü, *D. hansenii* kullanımının ise *Lactobacillus, Weissella* ve *Staphylococcus*'un mikrobiotadaki paylarını arttırdığı rapor edilmiştir. Bunun yanı sıra *D. hansenii*'nin KCl kullanımından kaynaklanan olumsuz tatları azalttığı da bildirilmiştir. Sonuç olarak da *D. hansenii*'nin hem duyusal açıdan hem de ürün güvenliği açısından stater kültürü olarak kullanılabilecek potansiyele sahip olduğu vurgulanmıştır (Li et al., 2025).

Fermente et ürünlerinde küf gelişimine bağlı olarak mikotoksin oluşumu önemli güvenlik sorunlarından biridir. *D. hansenii*'nin hem yüzeyde hem de matriks içerisinde gelişerek küflerle besin ve alan rekabetine girdiği ve ayrıca bazı suşların antifungal metabolitler üreterek küf gelişimi baskılayabildiği de belirtilmektedir (Núñez et al., 2015). İspanyol kuru fermente bir sosis çeşidi olan "chorizo"da *Penicillium nordicum* tarafından üretilen okratoksin A'nın engellenmesi için biberiye uçucu yağı, meşe palamudu kabuğu ekstraktı ve *Debaryomyces hansenii*'nin anti-okratoksijenik etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada, *D. hansenii* içeren uygulamaların OTA üretimini önemli ölçüde azalttığı ve bu durumun söz konusu mayanın okratoksin A'nın degradasyonu süreçlerini tetiklemesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir (Roncero et al., 2025).

SONUÇ

D. hansenii, güvenli olarak kabul edilen ve ekstrem şartlara dayanıklılık gösterebilen bir mikroorganizmadır. Araştırmalar bu türün fermente sosislerde ürün aromasını ve diğer bazı kalite özelliklerini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte uygun maya suşu seçiminin ve proses koşullarının etkilerinin belirlenmesi, beklenen etkilerin ortaya çıkarılabilmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Andrade, M. J., Córdoba, J. J., Casado, E. M., Córdoba, M. G., Rodríguez, M. (2010). Effect of selected strains of *Debaryomyces hansenii* on the volatile compound production of dry fermented sausage "salchichón". Meat Science, 85(2), 256-264.

Büyüktaş, D. (2012). Effects of yeast species on quality characteristics of fermented Turkish sausages. Master's thesis, Izmir Institute of Technology, Türkiye.

Chacón-Navarrete, H., Roldán-Casas, J. Á., Ruiz-Castilla, F. J., Ramos, J. (2026). *Debaryomyces hansenii* LR2 as a Natural Salt-Reducing Agent in Iberian Pork Loin: Enhancing Food Safety and Organoleptic Quality. Food and Bioprocess Technology, 19(1), 42.

Cano-Garcia L, Belloch C, Flores M. (2014a). Impact of *Debaryomyces hansenii* strains inoculation on the quality of slow dry-cured fermented sausages. Meat Science, 96, 1469-1477.

Cano-García, L., Rivera-Jiménez, S., Belloch, C., Flores, M. (2014b). Generation of aroma compounds in a fermented sausage meat model system by Debaryomyces hansenii strains. Food chemistry, 151, 364-373.

Chen, J., Li, S., Lin, Y., Toldrá, F. and Lu, X. (2025). The role of coagulase-negative staphylococci on aroma generation of fermented sausage. Meat science, 221, 109730.

Cheng, J. R., Liu, X. M., Zhang, Y. S. (2018). Characterization of Cantonese sausage fermented by a mixed starter culture. Journal of Food Processing and Preservation, 42(6), e13623.

Duran Estrada, M. (2024). Establishing *Debaryomyces hansenii* as a superior cell factory for the green transition: optimizing the use of industrial side-streams and complex feedstock for biotech applications.DTU Bioengineering, PhD thesis, Denmark.

Flores, M., Corral, S., Cano-García, L., Salvador, A., Belloch, C. (2015). Yeast strains as potential aroma enhancers in dry fermented sausages. International Journal of Food Microbiology, 212, 16-24.

Gökalp, H. Y. (1986). Residual NO^{-3} NO^{-2}, carbonyl and TBA values of Turkish soudjouk manufactured by adding different starter cultures and using different ripening temperatures. International Journal of Food Science and Technology, 21(5), 615-625.

Huang, C., Zhang, L., Johansen, P. G., Petersen, M. A., Arneborg, N., & Jespersen, L. (2021). *Debaryomyces hansenii* strains isolated from Danish cheese brines act as biocontrol agents to inhibit germination and growth of contaminating molds. Frontiers in Microbiology, 12, 662785.

Incze, K. (2007). European Products, Chapter 29, Handbook of fermented meat and poultry, (Ed:Fidel Toldra), ss: 307-318, Blackwell publishing.

Kaya, M., Kaban, M. (2019). Fermente Et Ürünleri, Gıda Biyoteknolojisi, Ed. Necla ARAN, ss.157- 195, 7. ISBN: 978-605-133-134-8, Nobel, İstanbul.

Lücke, F.K. (2017). Fermented Meat Products-An Overview, Fermented Meat Products-Health Aspects, (Ed: Nevijo Zdolec), pp: 1-14, CRC press, Taylor & Francis Group.

Lee, Y., Kang, J., Hwang, J., Shin, D. M., Han, S. G., Yoon, Y. (2023). Selection of *Debaryomyces hansenii* isolates to improve quality of dry fermented sausage. International Journal of Food Properties, 26(1), 2433-2454.

Li, X. A., Liu, J., Zhang, B., Wang, J., Kong, B., Ren, J., Chen, Q. (2025). Inoculation with autochthonous yeast strains in Harbin dry sausages with partial substitution of NaCl by KCl: Bacterial community structure and flavour profiles. Food Microbiology, 128, 104739.

Li, X. A., Yan, F., Zhang, Z., Wang, Q., Kong, B., Chen, Q. (2026). Autochthonous lactic acid bacteria-yeast symbiotic interactions: Implications for quality improvement and microbial co-occurrence networks in dry sausage. Food Bioscience, 108585.

Mendonça, R.C.S., Gouvêa, D.M., Hungaro, H.M., Sodré, A., Querol-Simón, A. (2013). Dynamics of the yeast flora in artisanal country style and industrial dry cured sausage (yeast in fermented sausage). Food Control, 29,143–148. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.057

Mi, R., Chen, X., Xiong, S., Qi, B., Li, J., Qiao, X., et al. (2021). Predominant yeasts in Chinese Dong fermented pork (Nanx Wudl) and their aroma-producing properties in fermented sausage condition. Food Science and Human Wellness, 10, 231–240.

Murgia, M. A., Marongiu, A., Aponte, M., Blaiotta, G., Deiana, P., Mangia, N. P. (2019). Impact of a selected Debaryomyces hansenii strain's inoculation on the quality of Sardinian fermented sausages. Food Research International, 121, 144-150.

Navarrete, C., Martínez, J. L. (2020). Non-conventional yeasts as superior production platforms for sustainable fermentation based bio-manufacturing processes. Aims Bioengineering, 7(4), 289-305.

Núñez, F., Lara, M. S., Peromingo, B., Delgado, J., Sánchez-Montero, L., Andrade, M. J. (2015). Selection and evaluation of *Debaryomyces hansenii* isolates as potential bioprotective agents against toxigenic penicillia in dry-fermented sausages. Food Microbiology, 46, 114-120.

Ozturk, I., Sagdic, O. (2014). Biodiversity of yeast mycobiota in “sucuk,” a traditional Turkish fermented dry sausage: phenotypic and genotypic identification, functional and technological properties. Journal of Food Science, 79(11), M2315-M2322.

Ozturk, I., Sagdic, O., Yetim, H. (2021). Effects of autochthonous yeast cultures on some quality characteristics of traditional Turkish fermented sausage “Sucuk”. Food Science of Animal Resources, 41(2), 196.

Ramos, J., Melero, Y., Ramos-Moreno, L., Michán, C., Cabezas, L. (2017). Debaryomyces hansenii strains from valle de los pedroches iberian dry meat products: Isolation, identification, characterization, and selection for starter cultures. Journal of Microbiology and Biotechnology, 27(9), 1576-1585.

Ramos-Moreno, L., Ruiz-Pérez, F., Rodríguez-Castro, E., Ramos, J. (2021). *Debaryomyces hansenii* is a real tool to ımprove a diversity of characteristics in sausages and dry-meat products. Microorganisms, *9*(7), 1512.

Roncero, E., Álvarez, M., Cerrada, L., Delgado, J., Andrade, M. J. (2025). *Debaryomyces hansenii* alone and in combination with plant extracts reduce ochratoxin A in dry-cured “chorizo”. Food Research International, 212, 116512.

Ruiz-Castilla, F.J., Chacón-Navarrete H, Ramos J. (2025). *Debaryomyces hansenii*. South Health, 2:e007. doi: 10.21142/SH-02-2025-e007

Sallan, S., Yılmaz Oral, Z. F., Kaya, M. (2023). A review on the role of lactic acid bacteria in the formation and reduction of volatile nitrosamines in fermented sausages. Foods, 12(4), 702.

Toldrá, F. (2012). Biochemistry of fermented meat. In: Food Biochemistry and Food Processing, 643-658.

Yang, X., Xiao, S., Wang, J. (2024). Debaryomyces hansenii strains from traditional chinese dry-cured ham as good aroma enhancers in fermented sausage. Fermentation, 10(3), 152.

Zhang, N., Li, R., Zhang, L., Zhang, D., Song, F., Yao, Y., ... , Rong, L. (2025). Fungal–bacterial interactions at species and strain-level influence γ-aminobutyric acid and ethyl esters accumulation in a simulated fermentation system. International Journal of Food Microbiology, 111619.

FERMENTE SOSİSLERDE PROBİYOTİK SUŞLARIN STARTER KÜLTÜR OLARAK KULLANILABİLME İMKANLARI

Hilal ORTADOĞRU
Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0009-0007-2646-358X

Dr. Yağmur AKYOL
Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0003-0174-9307

Prof. Dr. Mükerrem KAYA
Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0001-6340-828X

ÖZET

Fonksiyonel gıda üretimi gün geçtikçe artmaktadır. Probiyotik gıdalar fonksiyonel gıda pazarının önemli bir payını oluşturmaktadır. Probiyotikler insan sağlığını olumlu yönde etkileyen canlı mikroorganizmalar olarak tanımlanmaktadır. Bu mikroorganizmaların bu etkilerini gösterebilmeleri için gıdada belirli bir sayıda bulunmaları gerekmektedir. Bu nedenle probiyotik gıda üretiminde probiyotik suş seçimi ve bu suşların üretim proseslerine dayanıklılığı büyük önem arz etmektedir. Fermente sosisler, üretimlerinde ısıl işlem yer almadığından, probiyotiklerin gelişimi ve canlılığı açısından uygun ortamlardır. Ayrıca bu ürünlerin çiğ olarak tüketilmesi probiyotiklerin insan gastrointestinal sistemine taşınması açısından da önemli avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte bu ürünlerde tuz içeriği, düşük su aktivitesi ve pH değerleri, kürleme ajanları (nitrat ve/veya nitrit) ve ürün mikrobiotasındaki diğer mikroorganizmalar probiyotik suşları olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle her bir fermente sosis çeşidi için uygun suşların seçimi ve bu suşların proses koşullarına uygunluğu üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Fermente sosislerde günümüzde laktik asit bakterileri ve koagülaz (-) stafilokoklar starter kültür olarak kullanılmaktadır. Bu iki mikroorganizma grubundan laktik asit bakterileri probiyotik özellik de gösterebilmektedir. Probiyotik özellik gösteren laktik asit bakterilerinin fermente sosislerde starter kültür olarak kullanımına yönelik araştırmalar yürütülmüştür. Bu suşların probiyotik özelliklerinin yanı sıra laktik starter kültürlerin teknolojik özelliklerini de karşılayabildiği ortaya konulmuştur. Ülkemizde yaygın bir şekilde üretilen sucukta ticari probiyotik suşların kullanımına yönelik araştırmalar yürütülmüştür. Bununla birlikte yerel probiyotik suşların sucuk üretiminde kullanımına yönelik herhangi bir çalışma yürütülmemiştir. Ayrıca hem yerel hem de ticari probiyoik suşların starter kültür olarak kullanılmasına yönelik de bir çalışma bulunmamaktadır. Öte yandan, yerel probiyotik suşların kullanılmasının geleneksel ürünlerin karakteristiklerinin korunması açısından da büyük önem arz ettiği belirtilmektedir. Bu araştırmada, sucuk da dahil fermente sosislerde probiyotik suşların starter kültür olarak kullanılabilme potansiyeli değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fermente sosis, probiyotik mikroorganizmalar, duyusal, starter kültür

POSSIBILITIES OF USING PROBIOTIC STRAINS AS STARTER CULTURES IN FERMENTED SAUSAGES

ABSTRACT

Functional food production is increasing day by day. Probiotic foods constitute a significant share of the functional food market. Probiotics are defined as live microorganisms that positively affect human health. For these effects to be demonstrated, these microorganisms must be present in a specific number in the food. Therefore, in probiotic food production, the selection of probiotic strains and their resistance to production processes are of great importance. Fermented sausages, since they do not undergo heat treatment during production, provide suitable environments for the growth and viability of probiotics. Furthermore, consuming these products raw offers significant advantages in terms of the delivery of probiotics to the human gastrointestinal system. However, in these products, salt content, low water activity and pH values, curing agents (nitrate and/or nitrite), and other microorganisms in the product microbiota can negatively affect probiotic strains. Therefore, research is being conducted on the selection of suitable strains for each type of fermented sausage and their suitability for the respective process conditions. Currently, lactic acid bacteria and coagulase-negative staphylococci are used as starter cultures in fermented sausages. Of these two groups of microorganisms, lactic acid bacteria can also exhibit probiotic properties. Research has been conducted on the use of lactic acid bacteria exhibiting probiotic properties as starter cultures in fermented sausages. It has been shown that these strains can meet the technological requirements of lactic starter cultures in addition to their probiotic properties. In our country, research has been conducted on the use of commercial probiotic strains in sucuk production, which is widely produced. However, no studies have been conducted on the use of autochthonous probiotic strains in sucuk production. Furthermore, there are no studies on the use of both autochthonous and commercial probiotic strains as starter cultures. On the other hand, it has been reported that the use of autochthonous probiotic strains is important for preserving the characteristics of traditional products. In this study, the potential of using probiotic strains as starter cultures in fermented sausages, including sucuk, was evaluated and discussed.

Keywords: Fermented sausage, probiotic microorganisms, sensory, starter culture

GİRİŞ

Günümüzde tüketicinin sağlık üzerinde olumlu etkiye sahip olan gıdalara talebi gün geçtikçe artmaktadır. Bu gıdalar fonksiyonel gıdalar olup, temel besin öğelerinin yanı sıra sağlık üzerinde olumlu etkileri olan bileşenleri içeren gıdalar olarak tanımlanmaktadır. Fonksiyonel gıdalar içerisinde probiyotik gıdalar büyük bir paya sahiptir (Agüero *et al.* 2020). Probiyotikler, yeterli miktarda alındığında sağlık üzerinde olumlu etkiler sergileyen canlı mikroorganizmalardır. Bu mikroorganizmaların, bu etkilerini gösterebilmesi için probiyotik gıda olarak adlandırılan ürünlerde belirli bir sayıda bulunmaları gerekmektedir. Bundan dolayı probiyotik gıda üretiminde üretim prosesine uygun suşların seçilmesi büyük önem arz etmektedir (Kröckel 2013). Probiyotik mikroorganizmalar başta süt ürünleri olmak üzere bazı gıda gruplarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Buna karşın et ürünlerinde probiyotiklerin kullanımı daha sınırlı bir düzeydedir. Et ürünleri içerisinde de bu mikroorganizmalar için en uygun ortam fermente et ürünleridir (Neffe-Skocinska *et al.* 2016; Pavli *et al.* 2020). Fermente et ürünleri grubunda yer alan sucuk gibi kuru fermente sosislerde ısıl işlem uygulanmaması probiyotik et ürünleri üretimi için önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Ancak bu tip ürünlerde kullanılan tuz miktarı, düşük su aktivitesi ve pH değerleri, nitrat ve/veya nitrit mevcudiyeti, mikrobiyotada bulunan diğer mikroorganizmaların probiyotik mikroorganizmaların gelişimini etkileyebilme potansiyeli gibi faktörler probiyotiklerin canlılığı üzerinde olumsuz etki gösterebilmektedir (De Vuyst *et al.* 2008; Khan *et al.* 2011; Pavli *et al.* 2020; Malaghini *et al.* 2023). Bu faktölerden dolayı probiyotik fermente sosis üretiminde ürün formülasyonu ve proses koşullarına uygun probiyotik suşların seçilmesi gerekmektedir.

Fermente sosisler farklı kriterlere göre değişik sınıflandırmalara tabi tutulabilmektedir. En yaygın sınıflandırma kuruma derecesine göre yapılmaktadır. Buna göre fermente sosisler kuru (su aktivitesi < 0,90) ve yarı kuru (su aktivitesi 0,90-0,95) fermente sosisler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Fermente sosisler genellikle ısıl işleme tabi tutulmazken yarı kuru fermente sosisler 60-68 °C'lik iç sıcakları esas alan ısıl işlem prosesine tabi tutulmaktadır (Caplice and Fitzgerald 1999; Kaya ve Kaban 2019). Sucuk, üretim prosesi ve ürün özelliklerine göre kuru fermente sosisler grubunda yer almaktadır. Buna karşın fermantasyon, ısıl işlem ve kurutma ana işlem basamakları uygulanarak üretilen ısıl işlem görmüş sucuk ise yarı kuru fermente sosis çeşididir.

Fermente et ürünleri de dahil gıdalarda *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus* ve *Pediococcus* cinlerine ait suşların probiyotik olarak kullanımına yönelik pek çok çalışma yürütülmüştür (Arihara *et al.* 1998; Sameshima *et al.* 1998; Erkkila *et al.* 2001; Champagne *et al.* 2005; Holko *et al.* 2013; Bis-Souza *et al.* 2019; Kozan and Sarıçoban 2023; Tükel and Şengün 2024; Kayar *et al.* 2025). Probiyotik mikroorganizmalardan koruyucu kültür olarak da faydalanılmaktadır (Cavalheiro *et al.* 2015). Bunun yanı sıra probiyotik bakterin aynı zamanda starter kültür olarak kullanımına yönelik çalışmalar da mevcuttur (Kolozyn-Krajewska and Dolatowski 2012; Rubio *et al.* 2013; Arief *et al.* 2014; Agüero *et al.* 2020; Liu *et al*. 2024). Bu çalışmada sucuk da dahil fermente sosislerde probiyotik suşların starter kültür olarak kullanılabilme potansiyeli değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

FERMENTE SOSİSLERDE STARTER KÜLTÜR OLARAK PROBİYOTİKLER

Fermente et ürünlerinde laktik asit bakterileri ile Gram pozitif katalaz pozitif koklar starter kültür olarak kullanılmaktadır. Ayrıca mayalardan da starter kültür olarak yararlanılmaktadır. *Lactiplantibacillus pentosus*, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Latilactobacillus curvatus*, *Pediococcus pentosaceus* ve *Pediococcus acidilactici* fermente sosislerde yaygın olarak kullanılan laktik asit bakterileridir. Bu bakteriler laktik asit üreterek hem ürün güvenliğine katkıda bulunmakta hem de ürünün tat ve tekstür gibi özelliklerinin gelişiminde önem arz etmektedir (Kaban *et al.* 2012; Lücke 2014; Sallan *et al.* 2023). Gram pozitif katalaz pozitif koklardan ise özellikle *Staphyloccocus carnosus* ve *S. xylosus* suşları yaygın bir şekilde starter kültür olarak ürün prosesine dahil edilmektedir (Kaya ve Kaban 2019; Stegmayer *et al.* 2023). Bu suşlar nitrat redüktaz aktiviteleri ile nitratı nitrite indirgeyerek renk oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Ayrıca katalaz aktiviteleri ile oksidasyonun geciktirilmesi ve proteolitik/lipolitik aktiviteleri ile de ürün aromasının gelişiminde önemli rol oynamaktadır (Kaya ve Kaban 2019).

Fermente sosislerde probiyotik kullanımına yönelik yürütülen araştırmalarda öncelikle probiyotik suşların üretim süresince canlılığı araştırılmıştır. Arihara *et al.* (1998) tarafından *Lactobacillus acidophilus* grubunun et fermantasyonunda kullanılabilme imkanlarının incelendiği bir çalışmada, *L. gasseri* JCM1131T suşunun fermantasyon sırasında diğer suşlara göre daha yüksek aktivite gösterdiği, gastrointestinal sisteme dayanıklı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca bu suşun gıda kaynaklı bir patojen olan *Staphylococcus aureus*'un gelişimini ve enterotoksin üretimini engellediği de belirtilmiştir.

Probiyotik et ürünleri üretiminde üç farklı yöntem söz konusudur. Bu yöntemlerden birincisi, bağırsak kaynaklı probiyotiklerin üretim ve muhafaza koşullarında canlılığını sürdürebilme özelliklerinin saptanmasına dayanmaktadır. İkinci yöntem ise geleneksel et ürünlerinden izole edilen yerel probiyotik suşların fermente ürünlerde kullanılabilirliğine yöneliktir (Kolozyn-Krajewska and Dolatowski 2012; Neffe-Skocinska *et al.* 2016). Üçüncü yöntem ise ticari probiyotiklerin üretim ve muhafaza sırasındaki davranışlarının saptanmasına dayanmaktadır (Kolozyn-Krajewska and Dolatowski 2012). Diğer taraftan fermente et ürünlerinden izole edilen probiyotik suşların kullanılmasının bu ürünlere has karakteristik özelliklerin korunması bakımından önemli avantajlar sağladığı ifade edilmektedir (Agüero *et al.* 2020). Ticari probiyotik suşların geleneksel bir ürün olan sucuk üretiminde kullanılabilme imkanlarına yönelik pek çok araştırma yürütülmüştür (Öztürk Er 2002; Kaya and Aksu 2005; Ergönül and Kundakçı 2011; Bağdatlı and Kundakçı 2016; Ünal Turhan *et al.* 2019; Kozan and Sarıçoban 2023; Tükel and Şengün, 2024; Erat 2025; Kayar *et al.* 2025). Bununla birlikte bu geleneksel üründe yerel probiyotik suşların kullanımına yönelik bir çalışmaya literatürde rastlanılmamıştır. Öztürk Er (2002) tarafından sucuk üzerinde yapılan bir çalışmada *Bifidobacterium lactis* BB-12 ve *L. acidophilus* LA-5 suşlarının starter kültür olarak kullanılan suşlar ile pH ve duyusal özellikler açısından benzer özellikler verdiği rapor edilmiştir. Aynı suşlar üzerinde yürütülen diğer bir çalışmada ise vakum ve modifiye atmosfer koşullarında depolama sırasında mikroorganizma sayısının 10^6 kob/g'ın altına düşmediği bildirilmiştir (Aksu and Kaya 2005). *Lactobacillus casei* CRL 431 ve *L. acidophilus* LA-5 suşlarının kullanıldığı bir çalışmada da sucuk örneklerinin muhafazası sırasında probiyotik mikroorganizma sayısının 10^6 kob/g'ın altına düşmediği rapor edilmiştir (Ergönül and Kundakçı 2011). *L. casei* CRL 431 ile yürütülen diğer bir çalışmada da ayna çapının ve yağ seviyesinin probiyotik sucukların bazı kalitatif özelliklerine etkisi incelenmiştir. Aynı araştırmada probiyotik bakteri sayısının 10^6 kob/g düzeyinde belirlendiği rapor edilmiştir (Bağdatlı and Kundakçı 2016).

Sucuk üzerinde yürütülen bir araştırmada probiytotik *L. casei* 431 suşu için sucuğun iyi bir ortam olduğu rapor edilmiştir. Bununla birlikte söz konusu suşun duyusal özelliklerde arzu edilen özellikleri göstermediği ve bundan dolayı starter kültürler ile birlikte kullanılmasının gerekliliği de vurgulanmıştır (Kayar *et al.* 2025). Yulaf kepeği ile probiyotik suşların birlikte incelendiği bir çalışmada da sucuğun suşlar için iyi bir ortam olduğu ancak %5 seviyesinde yulaf kepeği kullanımının sadece bir suşun canlılığını olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (Kozan and Sarıçoban 2023).

Probiyotik potansiyele sahip laktik asit bakterilerinin starter kültür olarak kullanımına yönelik olarak az da olsa çalışmalar yürütülmüştür. Sameshima *et al.* (1998) tarafından yapılan bir çalışmada probiyotik kültür olarak kullanılan *Lactobacillus paracasei subsp. paracasei* FERM P-15121 ve *Lactobacillus rhamnosus* FERM P-15120 suşlarının hem fermantasyon süresi ile asit üretimi hem de *S. aureus*'un gelişiminin engellenmesi açısından *Latilactobacillus sakei*'ye benzer etkiler gösterdiği ve bundan dolayı bu probiyotik suşların starter kültür olarak kullanılabileceği bildirilmiştir. Diğer bir araştırmada ise *L. rhamnosus*'un üç farklı suşunun kuru sosislerde starter kültür olarak kullanılabilme potansiyeli *Pediococcus pentosaceus* ile karşılaştırılmış ve söz konusu probiyotik suşların pH değerinde arzu edilen düşüşe neden olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca incelenen suşlardan birinin duyusal analizlerde daha düşük puanlar ile değerlendiği, diğer iki probiyotik suşun ise kuru sosislerde starter kültür olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Erkkila *et al.* 2001). Koyun etinin hammadde olarak kullanıldığı bir fermente sosis prosesinde *L. acidophilus* CCDM 476'nın starter kültür olarak daha etkili olduğu rapor edilmiş ve bu suşun depolama sırasında da canlılığını sürdürdüğü bildirilmiştir (Holko *et al.* 2013).

L. plantarum fermente sosislerde starter kültür olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. *L. plantarum* L125 suşunun kuru fermente bir sosis çeşidinde probiyotik kültür olarak kullanılabilme imkanlarının incelendiği bir çalışmada, bu suşun pH değerinde arzu edilen düşüşü sağladığı rapor edilmiştir. Ayrıca bu suşun teknolojik özellikleri açısından starter kültür olarak da kullanılabileceği ifade edilmiştir (Pavli *et al.* 2020). Diğer bir araştırmada ise hem *L. plantarum* hem de *L. sakei* ile *P. pentosaceus* ticari suşları üzerinde yürütülen bir araştırmada, suşların hem antibakteriyel hem de antioksidan aktiviteler sergilediği ve fermente sosis üretiminde probiyotik starter kültür olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir (Liu *et al.* 2024).

Fermente sosilerde düşük pH ve su aktivitesi değeri ile tuz ve nitrit içeriği probiyotik suşların canlılığını olumsuz yönde etkileyebildiğinden probiyotik suşlara mikroenkapsülasyon işlemi uygulanarak dayanıklılık kazandırılabilmektedir. Mikroenkapsülasyon uygulanan *L. plantarum* BFL suşunun fermente sosis üretim şartlarına iyi bir şekilde adapte olabileceği ve mikroenkapsülasyon işleminin patojen bakteri kontrolü ile fonksiyonel et ürünlerinde iyi bir strateji olarak değerlendirilebileceği belirtilmiştir (Sirini *et al.* 2023). Mikroenkapsüle *L. rhamnosus* suşu kullanılarak yürütülen bir çalışmada da mikroenkapsülasyonun probiyotik suşun canlılığının korunması açısından önemli bir uygulama olduğu bildirilmiştir (Ünal Turhan *et al.* 2019). Diğer taraftan probiyotik özelliğe sahip *Lacticaseibacillus* suşlarının biyokoruyucu olarak kullanıldığı bir çalışmada bir suşun pH ve su aktivitesinde önemli düşüşlere neden olduğu ve canlılığını önemli ölçüde koruduğu da rapor edilmiştir (Bertuci *et al.* 2023).

SONUÇ

Probiyotik fermente et ürünlerine olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Hem probiyotik hem de starter kültür özelliğine sahip suşların kullanılması bu taleplerin giderilmesinde önemli bir yaklaşım olabilir. Bu nedenle probiyotik suşların starter kültür olarak kullanılabilirliğine yönelik araştırmalara hala ihtiyaç duyulmaktadır. Probiyotik starter kültürlerin üretici firmalar açısından da avantajlı olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan geleneksel ürünlerin tipik özelliklerinin korunması açısından yerel laktik asit bakteri suşlarının hem probiyotik hem de starter kültür olarak kullanım potansiyelinin araştırılması büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Agüero, N. D. L., Frizzo, L. S., Ouwehand, A. C., Aleu, G. and Rosmini, M. R. 2020. Technological characterisation of probiotic lactic acid bacteria as starter cultures for dry fermented sausages. Foods, 9(5), 596.

Arief, I. I., Wulandari, Z., Aditia, E. L. and Baihaqi, M. 2014. Physicochemical and microbiological properties of fermented lamb sausages using probiotic *Lactobacillus plantarum* IIA-2C12 as starter culture. Procedia Environmental Sciences, 20, 352-356.

Arihara, K., Ota, H., Itoh, M., Kondo, Y., Sameshima, T., Yamanaka, H. and Miki, T. 1998. *Lactobacillus acidophilus* group lactic acid bacteria applied to meat fermentation. Journal of Food Science, 63(3), 544-547.

Bağdatlı, A. and Kundakçı, A. 2016. Optimization of compositional and structural properties in probiotic sausage production. Journal of Food Science and Technology, 53, 1679-1689.

Bertuci, M.L., Alves Junior, C.A., Souza, C.V.B., Penna, A.L.B. and da Silva Barretto, A.C. 2023. Bio preservation capacity of potentially probiotic *Lacticaseibacillus* strains in fermented sausage. International Journal of Food Science and Technology, 58(12), 6253-6262.

Bis-Souza, C.V., Barba, F.J., Lorenzo, J.M., Penna, A.B. and Barretto, A.C.S. 2019. New strategies for the development of ınnovative fermented meat products: A review regarding the incorporation of probiotics and dietary fibers. Food Reviews International, 35(5), 467-484.

Caplice, E. and Fitzgerald, G.G. 1999. Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation. International Journal of Food Microbiology, 50, 131-149.

Cavalheiro, C.P., Ruiz-Capillas, C., Herrero, A.M., Jiménez-Colmenero, F., de Menezes, C.R. and Fries, L.L.M. 2015. Application of probiotic delivery systems in meat products. Trends in Food Science & Technology, 46(1), 120-131.

Champagne, C.P., Gardner, N.J. and Roy, D. 2005. Challenges in the addition of probiotic cultures to foods. Critical reviews in food science and nutrition, 45(1), 61-84.

De Vuyst, L., Falony, G. and Leroy, F. 2008. Probiotics in fermented sausage. Meat Science, 80(1), 75 78.

Erat, C. 2025. Hızlı ve yavaş olgunlaştırma koşullarında probiyotik sucuk üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Ergönül, B. and Kundakçı, A. 2011. Microbiological attributes and biogenic amine content of probiotic Turkish fermented sausage. J. Verbr. Lebensm. 6:49–56.

Erkkila, S., Suihko, M.L., Eerola, S., Petäjä, E. and Mattila-Sandholm, T. 2001. Dry sausage fermented by *Lactobacillus rhamnosus* strains. International Journal of Food Microbiology, 64(1-2), 205-210.

Kaban, G., Kaya, M. and Lücke, F.L. 2012. Meat starter cultures. In Encyclopedia of Biotechnology in Agriculture and Food; Taylor and Francis: New York, NY, USA, pp. 1–4.

Kaya, M. and Aksu, M.İ. 2005. Effect of modified atmosphere and vacuum packaging on some quality characteristics of sliced 'sucuk' produced using probiotics culture. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85(13), 2281-2288.

Kaya, M. ve Kaban, M. 2019. Fermente et ürünleri. Gıda Biyoteknolojisi. Editör Necla ARAN, ss.157- 195, 7. Basım, ISBN: 978-605-133-134-8, Nobel Yayıncılık, İstanbul.

Kayar, İ. E., Kaban, G. and Yalınkılıç, B. 2025 The effect of probiotic culture on quality characteristics of sucuk. Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi, (33), 51-61.

Khan, M.I., Arshad, M.S., Anjum, F.M., Sameen, A. and Gill, W.T. 2011. Meat as a functional food with special reference to probiotic sausages. Food Research International, 44(10), 3125-3133.

Kolozyn-Krajewska, D. and Dolatowski, Z.J. 2012. Probiotic meat products and human nutrition. Process Biochemistry, 47(12), 1761-1772.

Kozan, H.İ. and Sarıçoban, C. 2023. Effect of oat bran addition on the survival of selected probiotic strains in Turkish fermented sausage during cold storage. Food Bioscience, 54, 102820.

Kröckel, L. 2013. The role of lactic acid bacteria in safety and flavour development of meat and meat products. Lactic acid bacteria-R & D for Food, Health and Livestock Purposes, 129-152.

Liu, Y., Gao, S., Cui, Y., Wang, L., Duan, J., Yang, X. and Gao, X. 2024. Characteristics of lactic acid bacteria as potential probiotic starters and their effects on the quality of fermented sausages. Foods, 13(2), 198.

Lücke, F. K. 2014. European products. Handbook of fermented meat and poultry, 287-292.

Malaghini, C.M., de Melo, A.P.Z. and Verruck, S. 2023. Probiotic fermented sausage. In Probiotic Foods and Beverages: Technologies and Protocols (pp. 151-164). New York, NY: Springer US.

Neffe-Skocińska, K., Wójciak, K. and Zielińska, D. 2016. Probiotic microorganisms in dry fermented meat products. Probiotics and Prebiotics in Human Nutrition and Health, 279-300.

Öztürk Er, H. 2002. The possibilities of the use of the probiotic bacteria in sucuk, Turkish dry fermented sausages. MS Thesis (Turkish). Atatürk University, Graduate Institute of Science, Erzurum, Turkey.

Pavli, F.G., Argyri, A.A., Chorianopoulos, N.G., Nychas, G. J. E. and Tassou, C.C. 2020. Effect of *Lactobacillus plantarum* L125 strain with probiotic potential on physicochemical, microbiological and sensorial characteristics of dry-fermented sausages. LWT, 118, 108810.

Rubio, R., Aymerich, T., Bover-Cid, S., Guàrdia, M. D., Arnau, J. and Garriga, M. 2013. Probiotic strains *Lactobacillus plantarum* 299V and *Lactobacillus rhamnosus* GG as starter cultures for fermented sausages. LWT-Food Science and Technology, 54(1), 51-56.

Sallan, S., Yılmaz Oral, Z.F. and Kaya, M. 2023. A review on the role of lactic acid bacteria in the formation and reduction of volatile nitrosamines in fermented sausages. Foods, 12(4), 702.

Sameshima, T., Magome, C., Takeshita, K., Arihara, K., Itoh, M. and Kondo, Y. 1998. Effect of intestinal *Lactobacillus* starter cultures on the behaviour of *Staphylococcus aureus* in fermented sausage. International Journal of Food Microbiology, 41(1), 1-7.

Sirini, N., Stegmayer, M., Ruiz, M. J., Cuffia, F., Rossler, E., Otero, J. and Frizzo, L. 2023. Applicability of the probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* BFL as an adjunct culture in a dry fermented sausage. Meat Science, 200, 109166.

Stegmayer, M. A., Sirini, N. E., Ruiz, M. J., Soto, L. P., Zbrun, M. V., Lorenzo, J.M. and Frizzo, L. S. 2023. Effects of lactic acid bacteria and coagulase-negative staphylococci on dry-fermented sausage quality and safety: Systematic review and meta-analysis. Meat science, 206, 109337.

Tükel, O. and Şengün, I. 2024. Production of probiotic fermented salami using *Lacticaseibacillus rhamnosus*, *Lactiplantibacillus plantarum*, and *Bifidobacterium* lactis. Journal of Food Science, 89(5), 2956-2973.

Ünal Turhan, E., Erginkaya, Z., Benli, H., Akın, M. B. and Ağçam, E. 2019. The effects of microencapsulated *L. rhamnosus* and storage on biogenic amine amount of sucuk. Gıda, 44(5), 819-825.

IMPORTANCE OF ENSURING THE UNIFORMITY OF SOMATIC CELL COUNT OF COW MILK

Prof. Dr. Savaş ATASEVER
University of Ondokuz Mayis, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science
ORCID: 0000-0002-0288-6197

ABSTRACT
Milk somatic cell count (SCC) is a widely used parameter for assessing milk quality and detecting intramammary infections in dairy animals. This method is particularly reliable for identifying cases of subclinical mastitis. However, SCC data obtained from milk analysis are sometimes used directly for group comparisons, leading to systematic errors. This study aims to determine how experimental findings differ when using raw SCC (rSCC) data versus SCC data transformed to a base-10 logarithm (logSCC). The study utilized SCC data at the quarter level (UQ) from five cows each-representing various lactation numbers (1, 2, 3, 4, and 5) and stages of lactation (70±14, 140±14, and 210±14 days) - across four different dairy farms in Samsun province of Türkiye. In the statistical analysis, groups were evaluated separately using one-way ANOVA for both rSCC and logSCC data, and the Duncan multiple comparison method was employed to identify differences among the groups. The process of transforming SCC data in SPSS was demonstrated step-by-step in the text. While the P, SL, and UQ groups showed no differences in the evaluation of rSCC and logSCC, analyses based on the farm factor revealed significant differences ($P<0.05$) by rSCC and logSCC evaluation. Farms with 1st 4th were significantly differed by logSCC data, whereas only 4rd farm was differed by rSCC data. These conflicting results between the two evaluation methods indicate that subjecting rSCC data directly to multiple comparison tests in SCC studies may lead to typical experimental errors; and it is suggested that, due to the wide variation inherent in SCC data, it is more accurate to interpret the data after they have been ensured uniformity.
Keywords: Somatic cell count, Cow milk, Data analysis, Uniformity.

INTRODUCTION
Somatic cell count (SCC) is one of the common and reliable markers of mastitis or degree of quality of bovine raw milk. Because of high SCC levels point out to possible new infections in the udder gland, SCC data are an important reference of information for detecting animals with udder health disorders in raw milk production opportunities (Atasever, 2026). SCC refers to the number of somatic cells per mL of milk and points out to high concentration of leucocytes in milk, thusly. indicate an immunative response of the cow. While the level of $<100x10^3$ cells/ml in milk that collected from a cow is assumed as normal, SCC of $>200x10^3$ cells/ml is sspicious for bacterial infection (Bradley and Green, 2005). For tank milk samples, this threshold is $400x10^3$ cells/ml in the EU countries in Türkiye (Yalcin and Atasever, 2018). However, in the statistical evaluations, SCC data that obtained from the milk samples milk have to be transferred to a logarithmic scale firstly to normalize its highly right-skewed distribution and stabilize its variance for accurate statistical analysis progess (Podhorecká et al., 2021).
The SCC values can include a massive range (from $<20x10^3$ cells/mL in healthy cows to higher several million in the bacterially infected udder quarters). Therefore, analyzing raw SCC numbers directly invades the core mathematical presumptions needed by standard linear models (Thurmond, 1990). As is known, during the cell counting process in a laboratory conditions, it is demanded for somatic cells to be homogeneously distributed.

Transferring the cell numbers to a logarithmic base compacts this wide complicated numereic scale into a linear scale. This application converts the data to a normal distributed curve (Heddi et al., 2026). In other words, applying a logarithmic transformation process as a variance-stabilizing facility, supplying the data spread remains uniform opposite all production levels.

In the light of the mentioned reasons, this current study goals to determine how experimental findings differ in terms of raw SCC (rSCC) data using versus SCC data transformed to a base-10 logarithm (logSCC) as evaluation methods.

MATERIALS AND METHODS

The research utilized SCC data at the quarter level (UQ) from five cows each-representing different parities (P: 1, 2, 3, 4, and 5) and stages of lactation (SL: 70±14, 140±14, and 210±14 d) - across four different dairy farms in Samsun province of Türkiye. To analyze of SCC, about 20 ml milk samples were collected from each udder quarters of the cows. The SCC analyses were performed using direct microscopic somatic cell counting method that is referred as the standard method by International Dairy Federation (Atasever, 2012) within the same sample collection days in the laboratory of Department of Animal Science, University of Ondokuz Mayis. For statistical analysis, groups were assessed separately using one-way ANOVA for both raw SCC (rSCC) and transformed to log10 base (logSCC) data, and the Duncan multiple comparison method was applied to reveal the differences among the groups. Due to ensuring the homogeneity was not ensured the comparison, Kruskal-Wallis H test that used as a non-parametric test was applied for group comparisons. The process of transforming SCC data in SPSS program was apparently showed in the text.

RESULTS AND DISCUSSION

In the current study, desccriptives of SCC values with raw and transformed forms are presented in Table 1. As seen, a wide variation was determined in rSCC values. While the lowest rSCC was determined as $127x10^3$ cells/ml, the highest value was obtained as $6699x10^3$ cells/ml. Also, the mean of whole rSCC values was calculated to be 1261±169.1 ($x10^3$ cells/ml).

Because of the high variation among the groups, a transformation process of rSCC values was considered as a necessary. Thusly, logSCC values of rCC data were established in Table 1. To explain how to this process was performed, shematic steps were also shown as follows (Figure 1 and 2). As shown in Figure 1, all rSCC values were inserted to SPSS page before the statistical work. After installiation, *Compute Variable* section was selected from the *Transform* option. At this point, the second step was applied and *Compute Variable* section was marked (Figure 2).

Table 1. Descriptive values of milk samples by two different data set

Trait	Farm	N	Min	Max	Mean	SEM
SCC (10^3 cells/ml)	1	20	127	6256	900	313.3
	2	20	156	1966	1034	144.5
	3	20	167	5390	1067	315.0
	4	20	205	6699	2044	465.6
	Total	80	127	6699	1261	169.7
LogSCC	1	20	5.10	6.80	5.68	0.100
	2	20	5.20	6.29	5.90	0.078
	3	20	5.22	6.73	5.79	0.094
	4	20	5.31	6.83	6.00	0.130
	Total	80	5.10	6.83	5.84	0.052

SCC: somatic cell count, Log10 SCC: SCC with log10 base

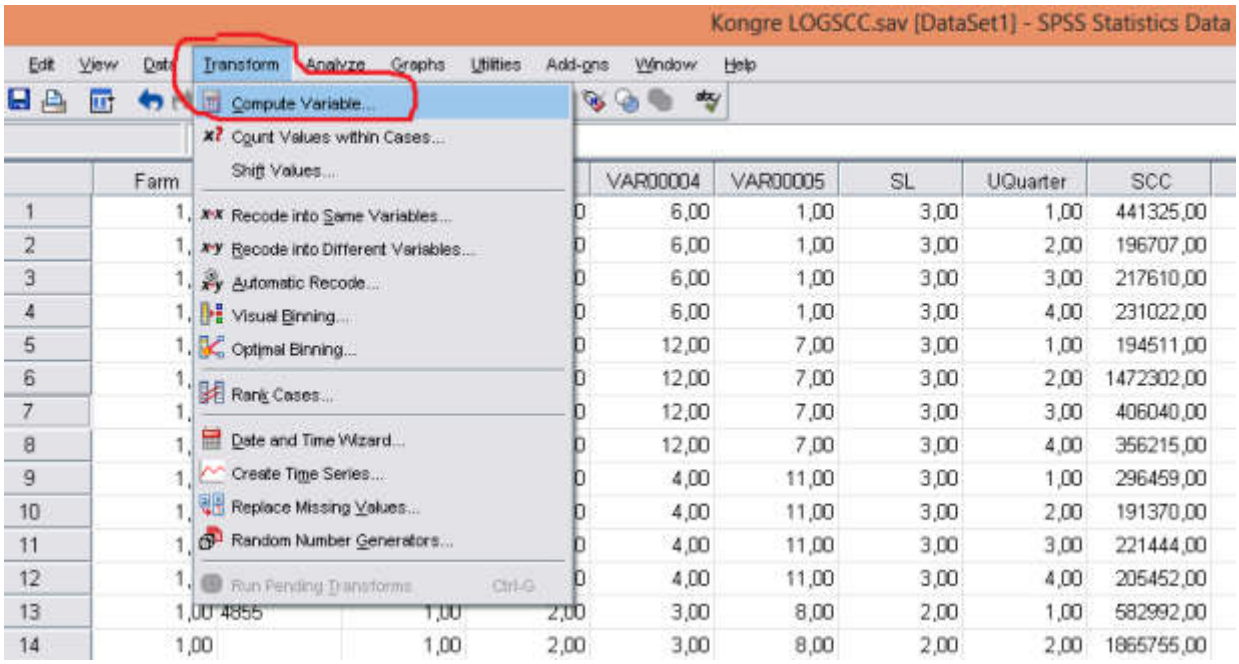


Figure 1. Preparing rSCC data for transforming process in the SPSS program.

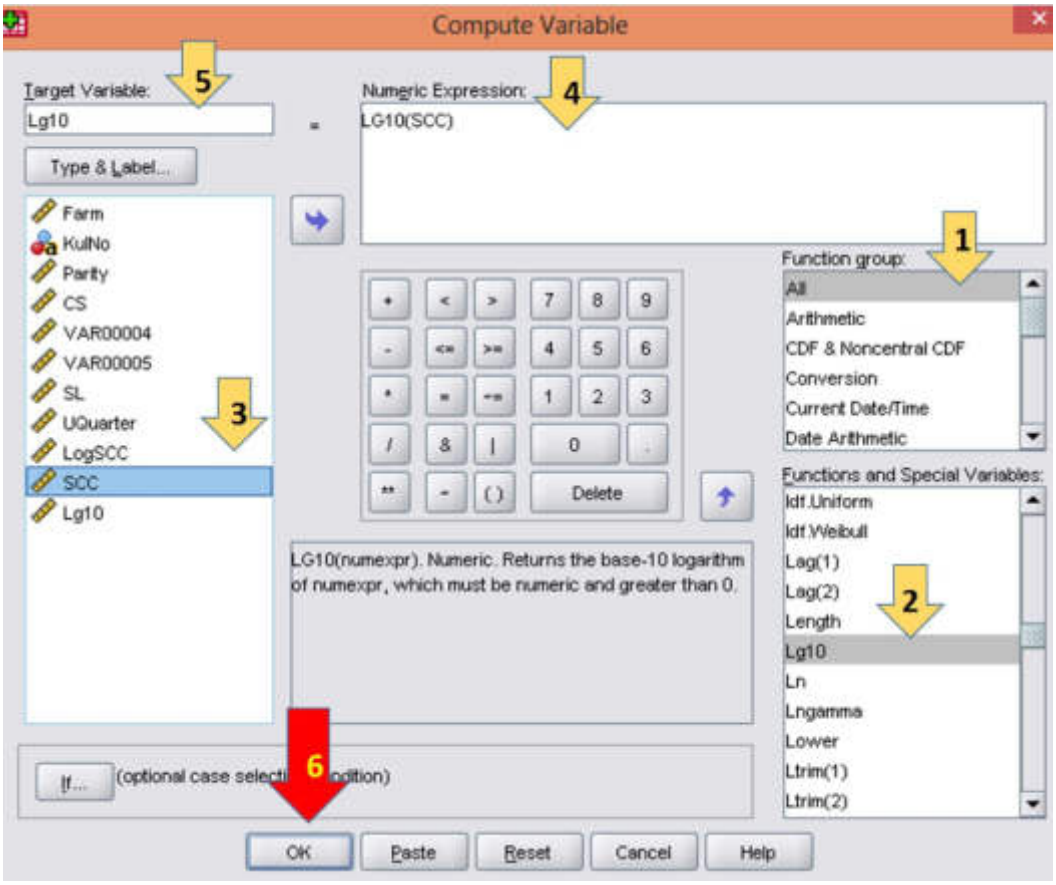


Figure 2. Converting rSCC values to log10 base in the SPSS program.

Respective stages of the transformation have clearly been shown in Figure 2. With tracking the stages orderly, logSCC data were ensured and eventually, the values were designed for the statistical comparisions of the groups.

Table 2. Means (±SEM) of the traits according to farm factor

Farm	n	rSCC ($x10^3$ cells/ml)	LogSCC
1	20	900^{a}	5.68^{a}
2	20	1034^{a}	5.90^{ab}
3	20	1067^{a}	5.79^{ab}
4	20	2044^{b}	6.00^{b}
Overall	80	1261±169.7	5.84±0.052

Means in the same column with different letters (^{a,b}) are significantly different ($P<0.05$).
Because of the homogeniety in the values was not ensured, Kruskal-Wallis H test was used as a non-parametric test for group comparisons. Accordingly, change of rSCC and logSCC means by farm factor was presented in Table 2.
Interestingly, while only 4th farm was different from the other farm groups by rSCC, Farm 1 and Farm 4 were shown the difference by logSCC evalation ($P<0.05$). The findings clearly point out a conflict between two cases. In other words, a typic experimental error could be observed when SCC data be directly used without transforming process.

CONCLUSION

The results between the two evaluation methods reveal that subjecting rSCC data directly to multiple comparison tests in SCC researches may lead to typical experimental errors.
It is nominately suggested that, owing to high variation inherent in SCC data, it is more accurate to interpret the data after they have been obtained the uniformity.

REFERENCES

Atasever, S (2012) Estimation of correlation between somatic cell count and coagulation score of bovine milk. International Journal of Agriculture and Biology, 14:315-317. https://doi:11–704/ZIP/2012/14–2–315–317.

Atasever, S. (2026). Assessment of majör non-genetic factors influencing somatic cell count in goat milk. I. International Ordu Scientific Research Congress (April 13-14, 2026), Proceed. Book 2, pp. 996-1001, Ordu University, Ordu, Türkiye.

Bradly, A. & Green, M. (2005). Use and interpretation of somatic cell count data in dairy cows. In Practice, 27: 310-315. https://doi: 10.1136/inpract.27.6.310.

Heddi, I., Caballero-Villalobos, Jç, Amalfitano, Nç, Martínez, F., Cantarero-Aparicio, M.Á., Cecchinato, A., Ramón, M., Garzón, A., & Arias, R. (2026). Effect of Somatic Cell Count on Milk Production, Composition, Colour, Coagulation Properties and Cheese-Making Ability Traits in Manchega Dairy Sheep. Foods, 15(9):1527. https://doi: 10.3390/foods15091527.

Podhorecká, K., Borková, M., Šulc, M., Seydlová, R., Dragounová, H., Švejcarová, M., Peroutková, J. & Elich, O. (2021). Somatic Cell Count in Goat Milk: An Indirect Quality Indicator. Foods. 11;10 (5):1046. https://doi: 10.3390/foods10051046.

Thurmond, M.C. (1990). A method to estimate the somatic cell count of milk from a mastitic quarter using composite somatic cell count. Canadian Journal of Veterinary Research, 54(1):190-194.

Yalcin, B.K. & Atasever, S. (2018). Relationships Between Dye Reduction Test Scores and Somatic Cell Count in Bovine Raw Milk. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 6(5), 557–560. https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i5.557-560.1755.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

SUSTAINABLE REHABILITATION OF MINE SITES

Dr. Alper DEMİRBUGAN
ORCID: 0000-0002-1492-164x

ABSTRACT

Sustainable mining and the rehabilitation of mining sites can be examined together with the concepts of ecosystems and development. An ecosystem can generally be defined as a unit consisting of various organisms and their abiotic environment, considered as a whole. Ecosystem services are the material and energy flows required for social welfare and, together with mineral deposits, constitute natural capital. The effects of mining activities on ecosystem services affect benefit and cost components and, consequently, welfare level.

Sustainable development is the improvement of welfare while remaining within the carrying capacity of the ecosystem. The sustainability condition is achieved by applying the 'progressive rehabilitation' approach throughout all stages of the mining cycle. Through rehabilitation, the social benefit flows obtained from newly generated ecosystem services and the final land-use form continuously increase throughout the mining cycle. In addition to minimizing negative environmental impacts, environmental assets and ecosystem benefits are created to the greatest possible extent. Therefore, sustainable mining and rehabilitation of mining sites are important for the efficient allocation of social resources.

Mining is a time limited activity. Effective planning and management require the environmental, economic, and social benefits arising from mining to be maintained after closure while environmental degradation is kept to a minimum. Progressive rehabilitation of mining sites can be defined as the transformation of land degraded during mining into a sequential postmining land use form. Progressive rehabilitation is an instrument of the sustainable development process.

This study first explains the concepts of sustainability and progressive rehabilitation and then examines the Lusatia lignite region in Germany. The Lusatia example was selected because it is a unique case in the world in terms of its scale and characteristics.

Keywords: Sustainable development, Progressıve rehabilitatıon, Sustainable mining, Lusatıa lignate region.

INTRODUCTION

Rehabilitation of mining sites is an integral part of sustainable development strategies. The rehabilitation of mining sites can be explained in relation to the concepts of 'ecosystem', 'natural capital' and 'sustainable development'. An ecosystem can generally be defined as a unit consisting of various organisms and their abiotic environment that can be considered as a whole. Ecosystem services, together with mineral deposits, constitute natural capital. Ecosystem services are flows of materials and energy necessary for social welfare. The effects of mining activities on natural capital and ecosystem services affect benefits and costs and, consequently, the level of welfare.

Rehabilitation means improvement in the broadest sense. Sustainable development is the improvement of welfare while keeping it within the carrying capacity of the ecosystem. Sustainability can be achieved by applying progressive rehabilitation throughout all stages of the mining cycle. Through 'progressive rehabilitation', resources obtained from mining activities are used to improve the efficiency of operations and rehabilitation. During the mining cycle, social benefit flows generated by newly established ecosystem services and the final land-use form continuously increase.

Rehabilitation not only minimizes adverse environmental impacts but also seeks to create the highest possible level of environmental assets and ecosystem benefits. Therefore, rehabilitation of mining sites with approach of 'progressive rehabilitatıon' is important for sustainable development and the efficient allocation of social resources.
In This study firstly explains the concepts of sustainability and progressive rehabilitation and then presents the example of the Lusatia lignite region in Germany. The reason for selecting the Lusatia example is that it constitutes a unique example for progressive rehabilitation.

1. SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND MINE REHABILITATION

Sustainable development is defined in the 1987 report of the World Commission on Environment and Development, entitled "Our Common Future," as development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. Another definition is the improvement of welfare while remaining within the carrying capacity of the ecosystem (Kışlalıoğlu and Berkes, 1994).
The International Council on Mining and Metals (ICMM, 2003) established ten principles to ensure that the mining sector operates within the strategic framework of sustainable development. Principle 6 related with rehabilitation can be explained as follows;
-Assessment of all positive and negative, direct and indirect, and cumulative impacts of new projects throughout all stages from investigation through closure.
-Establishment and development of an environmental management system to continuously protect against, prevent, and mitigate negative impacts.
-Rehabilitation of degraded land in accordance with an appropriate post-mining land-use form.
-Ensuring the safe disposal and storage of process and closure wastes.
-Developing all plans and activities so that they meet the resource requirements of closure.
Rehabilitation of mining sites is generally a process of transforming a mine into land that provides ecosystem services, creates a new habitat, does not generate pollution, and supports economic activities (Doley et al., 2012; Narrei and Osanloo, 2011; Reinford and Richards, 2008). Thus, mine rehabilitation is an integral component of the sustainable development strategy.

2. PROGRESSIVE REHABILITATION APPROACH

In current mining practice, sustainable rehabilitation is addressed within the framework of progressive rehabilitation. Progressive rehabilitation can generally be defined as the continuation of rehabilitation and closure activities throughout the mining cycle (Demirbugan, 2019). Alternatively, progressive rehabilitation is a form of rehabilitation carried out alongside or simultaneously with mining activities (Queensland Government, 2014).
According to Demirbugan (2019), a sequential post-mining land-use form is achieved when the land is safe, stable, and non-polluting; does not require more management and maintenance than other areas with similar geographic conditions and land uses; and continuously provides the expected levels of productivity and diversity. As a general principle, rehabilitation should begin whenever each individual land parcel becomes ready and should continue throughout the life of the mine in order to minimize degraded areas as well as environmental risks and costs. This practice constitutes the progressive rehabilitation approach.
Some commonly implemented progressive closure activities are listed below:

- Soil management (stripping, storage, spreading, and placement).
- Strategic planning and placement of uneconomic material.
- Water diversion.

- Revegetation.
- Placement of covers.
- Removal of unnecessary equipment and machinery.
- Development of water-management infrastructure.
- Backfilling of waste rock.

In open-pit mining, the creation of a large pit void and the production and processing of minerals require comprehensive rehabilitation strategies to be implemented as an integrated whole. Rehabilitation strategies play an important role in material balance throughout the mining cycle. The implementation of progressive rehabilitation reduces the need to use large quantities of material in the final stages of the cycle.

The advantages of progressive rehabilitation can be summarized as follows (Demirbugan, 2019; 2020):

- Financial obligations are reduced because rehabilitation investments are made in sections before the mine-closure process rather than at the end of the operating period. In this case, the book value—the difference between the operation's receivables and liabilities—decreases, while the operation's creditworthiness increases.
- Because progressive rehabilitation is included among operating expenses, it provides a corporate tax advantage.
- It improves the cash-flow profile by providing economic benefits during the early period of the operation.
- Progressive rehabilitation not only enables the operation to fulfill its legal obligations but also provides an opportunity to demonstrate the effectiveness of closure activities in the mining sector. It helps provide stakeholders with evidence concerning the effectiveness of the technologies applied and the adequacy of closure procedures. This contributes to social acceptance not only for the mine concerned but also for other mining operators.
- Progressive rehabilitation provides directly practice-based data concerning rehabilitation, closure activities, and their costs. By estimating future costs based on this information, the risk of unrealistic estimates is minimized.
- It increases specialization.

3. GERMANY – LUSATIA COAL REGION

The Lusatia region in eastern Germany has undergone major changes in terms of environmental factors and land use during the rehabilitation process covering the last 30 years. The work carried out in this region represents the most comprehensive historical application of progressive rehabilitation. During this process, lignite production and rehabilitation were carried out simultaneously and on a large scale. According to Demirbugan (2019), the Lusatia lignite region, which before 1990 was strongly dependent on lignite mining and processing industries, was transformed during the rehabilitation process into a tourism and recreation area consisting of lakes. In 1990, of the 80,000 hectares of land degraded by mining activities, 24,000 hectares had been transformed by 2018 into a wetland area consisting of more than 200 lakes. The proportion of wetlands in the Lusatia region increased from 2% before mining to 30% in 2008 (Vattenfall Europe AG, 2009).

Water management and the formation of large artificial lakes are characteristic successes of the Lusatia application. In creating the lakes, a strategy was adopted whereby the pit voids were mainly filled with water from external sources, such as rivers, and with water arising from mine dewatering activities. Water quality in most of the lakes meets the expected standards.

The artificial lakes have created new opportunities such as marinas, beaches, water sports, and boating tourism. The Lusatia lake district is a unique example of a large-scale sustainable land-use form (Demirbugan, 2019; Schultze and Koch, 2016).

In 1994, a large part of the Lusatia region consisted of abandoned mine voids and enormous dumping areas, popularly described as a “moonscape” because of their appearance. Today, these areas have been transformed into interconnected lakes and navigable water channels (Photos).



Photo 1: View from Lusatıa in 1991



Photo 2 : Apppereance the landscape in photo 1 after 25 years

The Lusatia example demonstrates the feasibility of alternatives such as wind energy, bioenergy, and energy forests, in addition to traditional energy production and land-use forms. In this way, a new economic perspective has emerged by providing employment and diverse social benefits (Demirbugan, 2019). These developments were implemented simultaneously with lignite production.

5. CONCLUSIONS

Sustainable mining aims to achieve technical, economic, and social efficiency throughout mining while minimizing environmental impacts. Mining, as a temporary form of land use, provides an opportunity to transform land into an ecologically balanced and productive form. In progressive rehabilitation, mining and rehabilitation activities are carried out simultaneously. Progressive rehabilitation reduces closure-stage costs and the need to use large quantities of material in the final stages of the mining cycle. It improves the cash-flow profile by providing economic benefits during the early period of the operation. The rehabilitation experience in the Lusatia lignite region, carried out simultaneously with coal production, is a unique example in the world in terms of the area covered, land-use forms, and the scale of socio-economic change.

REFERENCES

Demirbugan, A. (2019). Rehabilitation of Mine Sites: Concepts – Economic Analysis – Examples, Training Series No. 52. Ankara: General Directorate of MTA. ISBN: 978-605-9516-67-9.

Demirbugan, A. (2020). “Rehabilitation of Coal Sites,” International Congress of Agriculture and Environmental Sciences, TÇBK, 8 January 2020, Ankara. Publisher Certificate No. 36934, E-ISBN: 978-605-7594-32-7.

Doley, D., Audet, P., & Mulligan, D. R. (2012). Examining the Australian context for post-mined land rehabilitation: Reconciling a paradigm for the development of natural and novel ecosystems among post-disturbance landscape. Agriculture, Ecosystems and Environment, 163, 85–93.

ICMM. (2003). ICMM Sustainable Development Framework – Final Principles. Accessed 23 March 2021.

Kışlalıoğlu, M., & Berkes, F. (1994). Ecology and Environmental Sciences. Istanbul: Remzi Bookstore.

Narrei, S., & Osanloo, M. (2011). Post-mining land-use methods optimum ranking, using multi-attribute decision techniques with regard to sustainable resources management. OIDA International Journal of Sustainable Development, 2(11), 66–76.

Queensland Government, Department of Environment and Heritage Protection. (2014). Rehabilitation Requirements for Mining Resource Activities.

Reinford, T., & Richards, R. (2008). Sustainable Development and the Industrial Minerals Sector: Integrating the Principles of Sustainable Development Within Jamaica's Industrial Minerals Sector. Business, 3(1), Finance and Economies in Emerging Economies.

Struzina, M., & Koch, T. (2016). Latest development in water management of Eastern-German lignite industry. Proceedings IMWA 2016, Freiberg, Germany.

Vattenfall Europe AG. (2009). The Year 2009 in Facts and Figures. Berlin.

Von Bismarck. (2014, December 4). NSW Mining. Joint Government Agency for Coal Mine Rehabilitation.

World Commission on Environment. (1987). Our Common Future and Development. Oxford University Press.

EVALUATION OF INVESTMENT PROJECTS WITH POİNT OF INCOME GROUPS

Dr. Alper DEMİRBUGAN
ORCID:0000-0002-1492-164x

ABSTRACT
Investment projects have significant effects in terms of finance, social welfare, and income distribution. Resources are reallocated among sectors, while net benefits are redistributed among income groups. The project directly generates income for the entrepreneur, the operating company, and the financing institution. Project inputs and outputs are subject to market distortions such as customs tariffs, taxes, and subsidies. Degradation of ecosystem services caused by mining activities creates a social cost. The project also increases labor income by generating additional employment. During the investment period, mining projects may cause substantial foreign exchange outflows. During the operating period, they may generate foreign-exchange inflows through the sale of products that can be traded internationally. The government regulates the distribution of income between the public and private sectors through taxation and incentive policies. Therefore, for integrated mining projects, financial analysis, economic analysis, and income-group impact analysis should be considered in an integrated and mutually consistent manner within the framework of cost–benefit analysis.
Income Group Impact Analysis was applied to the ANTES thermal power plant project. The distribution of the net benefit generated by the project among different income groups was examined by taking externalities and transfers into consideration. The groups affected by the project were divided into two main categories, the “private income group” and the “social income group.” The Green house gas emission (GHGEs) arising from the project have a significant negative effect on the social income level. Due to GHGEs, the total income level of the social income group decreases by 48%. The net benefit generated for the “private income group” is greater than that generated for the “social income group” (TL 448,723,530 > TL 363,434,226). The government receives the largest share of the total net benefit. GHGEs have a negative effect on the income level of society. When GHGEs are not taken into consideration, the net benefit generated for the “social income group” is TL 712,486,051; when the negative externality is included, this value decreases by 48% to TL 363,434,226.
Keywords: Externalitıes, income groups, income groups effects analysis,

INTRODUCTION
With income groups impact analysis, the distribution of the net benefit originating from the project among different groups is investigated. Income groups impact analysis is carried out based on financial and economic profitability analysis data and within a holistic framework. Mining projects create changes in the income levels of different groups. The income of the entrepreneur and the financing institution changes. Direct and indirect taxes subject to the project constitute income for the government. Environmental impacts and price changes originating from the project affect social benefit. Income groups impact analysis provides guidance for policy makers as it enables estimating the impact of the project on specific segments of society and identifying winners and losers (Demirbugan; 2014,2015,2017).

Income Group Impact Analysis examines the distribution of the project's net social benefit among stakeholders, including the groups financing the project. In this study, Income Group Impact Analysis is first investigated within a theoretical framework and is then applied to an integrated thermal power project with a coal mine, the ANTES Project (ANTES, 2016).

EXTERNALITIES AND INCOME GROUPS IMPACTS ANALYSIS

The difference between the economic and financial values of project inputs and outputs ,i.e., externalities, represents benefit and cost for groups other than those providing financing to the project. The distribution of externalities among different income groups isexamined by income groups impact analysis. For example, the economic benefit createdby a decrease in a good's price due to the project's implementation may be higher thanthe financial revenue. The difference between financial and economic values means again for the consumers of this good and a loss for other producers in competition for thisgood in the market. The variation between financial and economic values emerges in the case of existence of externalities like tax and subsidies (Boardman vd, 2001; Campbell ve Brown, 2005; USAID, 2009; ADB, 2013).

The stages of Income Group Impact Analysis can be summarized as follows.

1. Distribution of the net benefit at market prices among groups such as the entrepreneur, bank, and government that are directly involved in project financing.
2. Determination of the net externality values by subtracting the financial values from the economic values of the resource flows associated with the project.
3. Determination of the cash flows associated with externalities over the project life and calculation of their discounted values.
4. Distribution of externalities among the income groups affected by the project.

The present value of the net economic benefit created by the project (NPVe) equals the Project net present value at market prices (NPVp) plus the present values of externalities (NPVext). Externalities constitute a source of increases in the incomes of social income groups.

$$NPVe = NPVp + \sum NPVext$$

CASE STUDY : ANTES INTEGRATED THERMIC POWER PLANT PROJECT

The income-group impact analysis of projects discussed theoretically above can be illustrated by applying it to the ANTES Thermal Power Plant Project. The ANTES project is an integrated project consisting of a power-generation plant and a coal mine. The project involves construction of a 160 MW thermal power plant using circulating fluidized-bed technology at Kırık village in Yatağan district of Muğla Province, based on the region's lignite coal reserves. The project life is 30 years, and the annual net saleable energy output is 1,068,000,000 kWh. The coal required by the plant will be supplied from the Turgut lignite deposit in the region at an annual production rate of 1,000,000 tonnes. Coal production will be carried out as an underground operation using the longwall method with backfilling and caving. The unit calorific value of Turgut coal is 2,482 kcal/kg. Calculatıons and desıgn are based on 2016 data (ANTES,2010).

As mentioned by Demirbugan(2017,2015) The social income group affected by the project consists of the government, unskilled workers, and society, whereas the private income group consists of the bank and the firm. In conducting Income Group Impact Analysis, the net benefit of the project is first calculated at market prices. The economic net benefit is then determined by taking economic and environmental externalities into account and is allocated among income groups.

The distribution of externalities and, consequently, the income generated for different groups throughout the investment and operating periods of the project is included in the analysis. The investment amount for the ANTES project is TL 903 million (Ant Enerji San. ve Tic. Ltd. Şti., 2010).

Through income group impact analysis, the distribution of net benefit originating from the Hanönü project among affected income groups was investigated. Income groups are divided into two main categories: "private" and "social". The private income group consists of the firm and the bank, while the social income group consists of the government, unskilled labor, and society

The project NPV provides the starting point for Income Group Impact Analysis. The economic NPV consists of the project NPV plus externalities. The analysis is conducted by allocating the economic NPV among the private and social income groups and their subcomponents. In the ANTES project, economic externalities relate to taxes on skilled and unskilled labor, value added tax, and the opportunity cost of unskilled labor. The environmental externality arises from greenhouse gas emissions and negatively affects the income level of society. Corporate income tax is a transfer from the private income group to the government.

Economic externalities reflect changes caused by the project in the incomes of the government and unskilled labor within the “social income group.”

.Environmental externalities are related to the decrease in welfare due to Greenhouse Gas Emissions (GGE). Total GGE is the sum of emissions (CO2e) from burning lignite in the thermal power plant boiler and production in the coal mine. It is 1,192,081 tons of CO2e. When this value is processed with a carbon credit price (21 TL/ton), the net present value (NPVgge) of the social cost streams arising from greenhouse gas emissions throughout the operating period, at a 5% reduction rate, is 349,051,825 TL.

Discounting the net cash flows generated for the income groups at a 5% discount rate gives a present value of the net benefit of TL 812,157,757 for the income groups. This value is the economic NPV reflecting the project’s efficiency in resource use. Net benefit consists of the project NPV plus the externalities. For the ANTES project, the externalities are GHGEs, customs duty, indirect taxes, skilled and unskilled labor taxes, and unskilled-labor rent. The project NPV is TL 671,018,120. Therefore, the net benefit is:

TL 671,018,120 − TL 349,051,825 + TL 127,893,707 + TL 132,765,271 + TL 19,887,014 + TL 40,263,045 + TL 169,382,423 = TL 812,157,757.

The aggregate distribution of the net benefit among income groups is presented in Table .1

Table 1: Distribution of Total Benefit among Income Groups

Revenue Grubu	Revenue(TL)
SOCIAL INCOME GROUP	363.434.226
Government	543.103.628
Unskilled Labor	169.382.423
Society (Greenhouse Gas	-349.051.825
PRIVATE INCOME GROUP	448.723.530
Firm	295.728.639
Bank	152.994.891
Total Benefit	812.157.757

CONCLUSION

Under the "economic evaluation approach," the social effects of projects can be examined under two main categories: economic efficiency and distribution among income groups. The level of efficiency is affected by the allocation of scarce resources in society. Income-group effects are determined by ownership structure, government interventions, market distortions, and other externalities. Income Group Impact Analysis investigates the distribution of net social benefit among the groups affected by a project. Changes in the level of economic and environmental externalities and transfers also imply changes in the income levels of the groups affected by the project. Therefore, Income Group Impact Analysis is an important tool for decision-makers because it provides information for monitoring the effects of specific projects or policies on social income groups.

Income Group Impact Analysis was applied to the ANTES thermal power plant project. The distribution of the net benefit generated by the project among different income groups was examined by taking externalities and transfers into consideration. The groups affected by the project were divided into two main categories, the "private income group" and the "social income group." The GHGEs arising from the project have a significant negative effect on the social income level. Due to GHGEs, the total income level of the social income group decreases by 48%.

REFERANCES

Asıan Development Bank(ADB). (2013). Cost Benefit Analysis for Development: A Practical Guide, Mandalugong City, Philippines.

Ant Enrgy San. ve Tic. Ltd. Şti. (2010). Ant Enerji Termik Santrali(ANTES) ve Santrale Yakıt Sağlayan Maden Sahaları ÇED Raporu. Ankara:Çınar Mühendislik.

Boardman,A., Greenberg,D., Wınnıng,A. ve D. Weımer. (2001). Cost – Benefit Analysis Concepts and Practice. Second edition, New Jersey: Printice Hall. Inc.

Campbell,H.F., Brown,R.(2005). Benefit – Cost Analysis: Financial and Economic Appraisal Using Spreadsheet., Cambridge University Press.

Demirbugan,A.(2014). Madencilik Projelerinin Cevresel Dışsallıklar Göz Önünde Bulundurularak Ekonomik Değerlendirmesi. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,7,2, 403-421.

Demirbugan, A (2015). 'Evaluation of Investment Projects in Terms of Income Groups, Mustafa Kemal University Journal of Social Sciences Institute, Volume:13, Issue:1, pp:129-146.

Demirbugan, A. (2017). Evaluation of Mining Projects Through Benefit-Cost
Analysis. MTA Education Series No:47, MTA, Ankara. ISBN: 978-605-9516-14-3.

Unıted States Envıronmental Protectıon Agency(EPA). (2005). Emission Facts, Office of Transportation and Air Quality, Washington DC.

USAID/INDIA.(2009).Reform Project Compendium With Practitioner's Guide, State Fiscal Management Reform, The Project Appraisal Practitioners Guide.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

METİN MADENCİLİĞİNDEN PORTFÖY YÖNETİMİNE: FinBERT VE DCC-GARCH DESTEKLİ BLACK-LITTERMAN MODELİ

Furkan SAKIZ
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü
ORCID: 0009-0006-0585-500X

Arş. Gör. Hanefi GEZER
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü
ORCID: 0000-0002-8187-0299

Muhammed BEŞİR
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0009-0004-9603-6426

ÖZET
Bu çalışma, finansal metinlerden elde edilen duygu bilgisinin, zamanla değişen risk yapısının ve jeopolitik risk göstergesinin Black-Litterman (BL) portföy optimizasyonu çerçevesinde birleştirildiği bir modelin, katmanların katkısı ayrı ayrı sınanarak örneklem-dışı performansını incelemektedir. Sosyal medya paylaşımları FinBERT ile skorlanarak Piyasa Duyarlılık Endeksi (MSI) oluşturulmuş; FinBERT etiketleriyle eğitilen tamamlayıcı bir LSTM ağının katkısı ablasyonla ayrıca sınanmıştır. Varlıkların risk yapısı GJR-GARCH ve DCC-GARCH ile modellenmiş, duygu bilgisi BL modelinin yatırımcı görüşlerine, jeopolitik risk göstergesi ise denge getirilerinin kaydırılmasına aktarılmıştır. Analizler, 27.12.2021–05.09.2024 döneminde sekiz büyük ABD hissesi için walk-forward yeniden tahmin ve dengeleme tasarımıyla yürütülmüştür. Bulgular, MSI'nın ertesi gün getirisinin tahminine anlamlı bir katkı sağlamadığını, MSI ve jeopolitik risk göstergesinin birlikte eklendiği model varlık bazlı tahmin aşamasında en küçük hata değerlerini vermektedir. Öte yandan, hiçbir stratejinin eşit ağırlıklı portföye göre anlamlı bir Sharpe üstünlüğü göstermediğini ve duygu destekli BL portföyü ile klasik portföy arasında da anlamlı bir fark bulunmadığını göstermektedir. LSTM'in eklenmesi portföy performansında ayırt edilebilir bir fark yaratmamıştır. Dinamik risk modellemesi portföyün risk yapısını değiştirmiş, ancak Sharpe oranında anlamlı bir üstünlük sağlamamıştır. Jeopolitik risk kanalı Sharpe oranıyla olumsuz ilişkili bulunmuş, bu sonucun anlamlılığı test çerçevesine bağlı kalmıştır. Çalışma, yapay zekâ tabanlı bilgi katmanlarının değerinin modele eklenmeleriyle değil, basit ve güçlü ölçütlere karşı örneklem-dışı sınanmalarıyla belirlenebileceğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Portföy optimizasyonu, Duygu analizi, FinBERT, GJR-GARCH, DCC-GARCH, Black-Litterman, Piyasa Duyarlılık Endeksi, Jeopolitik risk.

FROM TEXT MINING TO PORTFOLIO MANAGEMENT: A FinBERT AND DCC-GARCH AUGMENTED BLACK-LITTERMAN MODEL

ABSTRACT
This study examines the out-of-sample performance of a Black-Litterman (BL) portfolio model that integrates sentiment information from financial texts, time-varying risk, and a geopolitical risk indicator, testing the contribution of each layer separately. Social media posts are scored with FinBERT to construct a Market Sentiment Index (MSI); the contribution of a complementary LSTM network trained on FinBERT labels is tested separately through an ablation.

Asset risk is modeled with GJR-GARCH and DCC-GARCH; sentiment enters the BL investor views, and the geopolitical risk indicator shifts the equilibrium returns. The analysis covers eight large US stocks from 27.12.2021 to 05.09.2024 under a walk-forward re-estimation and rebalancing design. The results show that the MSI does not contribute significantly to next-day return forecasts, although the model that includes both the MSI and the geopolitical risk indicator yields the lowest forecast error at the asset-level forecasting stage. Furthermore, no strategy shows a significant Sharpe ratio advantage over the equally weighted portfolio, and the sentiment-augmented BL portfolio does not differ significantly from the classical portfolio. Adding the LSTM does not produce a distinguishable difference in portfolio performance. Dynamic risk modeling changes the portfolio's risk profile without a significant Sharpe ratio advantage. The geopolitical risk channel is negatively associated with the Sharpe ratio, but the significance of this result depends on the testing framework. The study indicates that the value of AI-based information layers can be established not by their inclusion in the model but by out-of-sample testing against simple and strong benchmarks.
Keywords: Portfolio Optimization, Sentiment Analysis, FinBERT, GJR-GARCH, DCC-GARCH, Black-Litterman, Market Sentiment Index, Geopolitical Risk.

GİRİŞ

Yatırımcıların bilgiye verdiği tepkiler, varlık fiyatlarının ve işlem hacimlerinin oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Finansal haberlerin ve sosyal medya paylaşımlarının yaygınlaşması, yatırımcı duyarlılığının ölçülmesine yönelik yeni olanaklar yaratmıştır. (Tetlock, 2007), medya içeriklerinden türettiği kötümserlik göstergesinin fiyatlar üzerinde aşağı yönlü baskıyla, aşırı kötümserlik ya da iyimserliğin ise yüksek işlem hacmiyle ilişkili olduğunu göstermiştir. (Bollen. Mao ve Zeng, 2011), Twitter paylaşımlarından elde edilen toplu duygu göstergelerinin Dow Jones endeksinin hareketleriyle ilişkili olduğunu bulmuştur. (Antweiler ve Frank, 2004) internet mesaj panolarındaki paylaşımların bilgi içeriğini incelemiştir. Metin verisinin getiri tahmininde kullanımı ise ayrı bir literatür oluşturmaktadır (Ke, Kelly ve Xiu, 2019). Bu çalışmalar, finansal metinlerin piyasa davranışının incelenmesinde kullanılabilecek ölçülebilir bilgi içerdiğini göstermektedir.

Metinsel bilginin nicel analize aktarılması, yapılandırılmamış verinin doğal dil işleme (NLP) yöntemleriyle sistematik biçimde işlenmesini gerektirmektedir. Ancak finansal metinlerdeki kavramlar günlük dildekinden farklı anlamlar taşıyabilir. (Loughran ve McDonald, 2011), genel amaçlı sözlüklerde olumsuz sayılan pek çok kelimenin finansal metinlerde bu anlamı taşımadığını göstererek alana özgü yöntemlerin gerekliliğine dikkat çekmiştir. BERT mimarisinin (Devlin, Chang, Lee ve Toutanova, 2019) finansal metinlere uyarlanmasıyla geliştirilen FinBERT (Araci, 2019), duygu sınıflandırmasında bağlamsal dil temsillerinden yararlanılmasına olanak sağlamaktadır. Aynı adı taşıyan ve bilgi çıkarımına yönelik farklı bir model de literatürde yer almaktadır (Huang, Wang ve Yang, 2023). Bu çalışmada LSTM, FinBERT'e tamamlayıcı ikincil bir bileşendir: metindeki kelime dizisini modellemekte, FinBERT'in sınıf etiketleriyle eğitilmekte ve portföy düzeyindeki katkısı ablasyonla ayrıca sınanmaktadır(Hinton, Vinyals ve Dean, 2015). Tekil metin skorlarının günlük göstergelere hangi zaman kuralıyla aktarıldığı da duyarlılığın doğru temsili açısından belirleyicidir.

Portföy yönetiminde bilgi akışının yanı sıra riskin zaman içindeki değişimi de dikkate alınmalıdır. Finansal getirilerde volatilite sabit değildir ve yüksek oynaklık dönemleri kümelenme eğilimi gösterir. (Engle, 1982) koşullu varyansın zamanla değişen yapısını ARCH modeliyle, (Bollerslev, 1986) ise geçmiş koşullu varyansları da içeren GARCH modeliyle ele almıştır. (Glosten, Jagannathan ve Runkle, 1993), negatif ve pozitif şokların koşullu varyansı farklı büyüklükte etkilediği asimetrik yapıyı modele eklemiştir.

(Markowitz, 1952) tarafından geliştirilen Modern Portföy Teorisi (MPT), beklenen getiriler ve kovaryans matrisiyle portföyün risk–getiri dengesini modellemektedir. Ancak bu girdilerdeki tahmin hataları, optimal ağırlıkların büyük ölçüde değişmesine yol açabilmektedir (Michaud, 1989). (Black ve Litterman, 1992) tarafından geliştirilen ve (He ve Litterman, 1999) tarafından sezgisel yorumu ayrıntılandırılan Black-Litterman (BL) modeli, piyasa dengesinden türetilen beklenen getirileri yatırımcı görüşleriyle ve bu görüşlerin belirsizliğiyle aynı çerçevede birleştirmektedir. Görüş güveninin modele aktarılması, farklı güven düzeylerinin portföy ağırlıklarına etkisinin değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır (Idzorek, 2007).

Haber duygusunu doğrudan portföy kurulumunda kullanan çalışmalar bulunmaktadır (Hung, Hsia, Kuang ve Lin, 2024). Buna karşılık duygu bilgisinin koşullu risk modellemesi ve jeopolitik risk (GPR) göstergesiyle aynı BL çerçevesine entegre edildiği ve her bileşenin katkısının örneklem dışında ayrı ayrı sınandığı çalışmalar sınırlıdır. Ayrıca bir bilgi katmanının modele eklenmesi kendiliğinden performans katkısı anlamına gelmez. Bu katkı, eşit ağırlıklı portföy gibi güçlü basit ölçütlere karşı (DeMiguel, Garlappi ve Uppal, 2009) istatistiksel belirsizlik hesaba katılarak değerlendirilmelidir.

Bu çalışmanın amacı, finansal metinlerden elde edilen duygu bilgisini, GJR-GARCH ve DCC ile modellenen zamanla değişen risk yapısını ve jeopolitik risk göstergesini Black-Litterman çerçevesinde birleştirmek ve bu bileşenlerin tahmin ve portföy performansına katkısını örneklem dışı (out-of-sample) dönemde ampirik olarak değerlendirmektir. Birincil hipotez, duygu analizi ve koşullu risk modellemesiyle desteklenen BL portföy modelinin, klasik MPT portföyüne göre daha yüksek risk-ayarlı performans sağlayacağı yönündedir. İkincil olarak, bilgi katmanlarının katkıları ayrı ayrı sınanmaktadır. Bu temel araştırma sorusu dört alt soruya ayrılmaktadır:

1. Finansal metinlerden elde edilen duygu bilgisi, kısa vadeli (ertesi gün) getiri tahminine anlamlı bir katkı sağlamakta mıdır?
2. GJR-GARCH ve DCC ile modellenen dinamik risk yapısı, portföyün risk ayarlı performansını iyileştirmekte midir?
3. Duygu bilgisiyle desteklenen BL portföyü, klasik MPT portföyüne kıyasla anlamlı bir risk ayarlı üstünlük sağlamakta mıdır?
4. Jeopolitik risk bilgisinin BL modeline eklenmesi, portföy performansını nasıl etkilemektedir?

Hipotezin bileşenleri ampirik olarak şu şekilde işlevselleştirilmiştir: Duygu bilgisinin tahmin gücü, ertesi gün getirilerini açıklama kapasitesiyle; risk ayarlı performans Sharpe oranıyla; aşağı yönlü portföy riski ise Sortino oranı ve maksimum düşüş (maximum drawdown) ölçütleriyle değerlendirilmektedir. İstatistiksel aşırı uyumu (*overfitting*) sınırlamak amacıyla (riskten kaçınma katsayısı δ, görüş ölçeği λ, belirsizlik ölçeği τ, görüş penceresi ve ağırlık üst sınırları gibi tüm tasarım parametreleri) ampirik sonuçlar incelenmeden önce belirlenmiş ve model katı bir örneklem dışı yaklaşımla sınanmıştır.

Bu araştırmanın literatüre üç temel katkısı bulunmaktadır. Birincisi; duygu sinyalleri, koşullu risk tahminleri ve jeopolitik risk göstergeleri tek bir Black-Litterman modelinde bir araya getirilmiştir. İkincisi, tahmin ve portföy performansı katman katman değerlendirilmektedir. Son olarak, tüm sonuçlar istatistiksel testlerle sınanmış ve modeli desteklemeyen negatif bulgular da bilimsel şeffaflıkla raporlanmıştır. Çalışmanın geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır: Yöntem bölümünde, araştırmanın veri altyapısı tanıtılmakta ve analitik yöntem zinciri detaylandırılmaktadır. Araştırma ve Bulgular bölümünde, oluşturulan portföy stratejilerine ait ampirik sonuçlar sunulmakta ve model bileşenlerinin örneklem dışı performans değerlendirmeleri yapılmaktadır.

Son olarak, Sonuç bölümünde makalenin temel bulguları tartışılarak özetlenmekte, araştırmanın sınırlılıkları belirtilmekte ve gelecek çalışmalara yönelik öneriler sunulmaktadır.

YÖNTEM

Çalışmanın yöntemi üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada finansal metinler FinBERT ve FinBERT etiketleriyle eğitilen tamamlayıcı bir LSTM ile skorlanmakta, skorlar ileriye bakış yanlılığını sınırlayacak biçimde zamansal olarak hizalanarak MSI'ya dönüştürülmektedir. İkinci aşamada varlıkların zamanla değişen volatilite ve bağımlılık yapıları GJR-GARCH ve Dinamik Koşullu Korelasyon (DCC) ile tahmin edilerek koşullu kovaryans matrisleri üretilmektedir. Son aşamada duyarlılık ve risk bileşenleri BL modeline entegre edilmekte; stratejiler walk-forward yeniden tahmin ve dengeleme tasarımıyla değerlendirilmektedir. Duygu modeli dışındaki tüm modeller her yeniden tahmin tarihinde yalnızca o tarihe kadarki veriyle yeniden tahmin edilmekte, LSTM ise tek bir eğitimle tüm metinleri skorlamaktadır.
Aşırı uyum riskini sınırlamak amacıyla riskten kaçınma katsayısı jeopolitik risk kanalının aktarım mekanizması ve varlık bazındaki tahmin modellerinin hiperparametreleri temel analizde sabit tutulmuştur; δ, λ ve τ için duyarlılık analizleri ayrıca raporlanmıştır.
Aşırı uyum riskini sınırlamak amacıyla; riskten kaçınma katsayısı, görüş ölçeği, belirsizlik ölçeği, görüş penceresi, yarı ömür, %40 ağırlık üst sınırı, blok uzunluğu ve $0.6 / 0.4$ birleştirme ağırlıkları gibi tasarım parametrelerinin yanı sıra, jeopolitik risk kanalının aktarım mekanizması ve varlık bazındaki tahmin modellerinin hiperparametreleri ampirik sonuçlar incelenmeden önce belirlenmiş ve temel analizde sabit tutulmuştur; δ, λ ve τ için duyarlılık analizleri ayrıca raporlanmıştır.

Duygu Modeli: FinBERT ve LSTM

Her metin, finansal metinler için ön eğitilmiş FinBERT ile (Araci, 2019) pozitif, negatif ve nötr sınıf olasılıklarına dönüştürülmekte; metinlerden bağlantı adresleri çıkarılmış, boşluklar düzenlenmiş ve aynı hisse için yinelenen kayıtlar ayıklanmıştır. İkincil bileşen olan LSTM'in amacı FinBERT'e üstünlük sağlamak değil, FinBERT skorunun taklit edilebilirliğini ve portföy düzeyindeki katkısını sınamaktır. Model, dikkat katmanlı, iki katmanlı çift yönlü bir LSTM ağıdır(Hochreiter ve Schmidhuber, 1997). Veri setinde insan etiketli duygu bilgisi bulunmadığından ağ, FinBERT'in atadığı sınıf etiketlerini hedef alan sözde etiketleme ile eğitilmiştir; bu, öğretmen modelin sert etiketlerle aktarıldığı bir damıtma biçimidir (Hinton, Vinyals ve Dean, 2015). Metinler yayın zamanına göre sıralanmış, ilk %85'i eğitim, son %15'i doğrulama kümesi olarak ayrılmış ve doğrulama kaybının en düşük olduğu epoch seçilmiştir. İki modelin sınıf olasılıkları önceden belirlene 0.6(FinBERT) ve 0.4(LSTM) ağırlıklarıyla birleştirilmektedir; yönlü duygu skoru, birleşik pozitif ve negatif olasılıkların farkıdır, -1 ile $+1$ arasında değer alır ve FinBERT'in başvuru uygulamasındaki tanımla aynıdır (ProsusAI, t.y.; Zeng ve Jiang, 2023). LSTM bir kez eğitildiğinden örneklem-dışı döneme ait metinlerin büyük bölümü eğitim kümesinde yer almaktadır; eğitimde yalnızca FinBERT etiketleri kullanıldığı için parametreler getiri bilgisi içermez, ancak LSTM skorları zamansal olarak tam bağımsız değildir.

Veri Seti ve Kaynakları

Bu çalışmada, ABD borsalarında $27.12.2021 - 05.09.2024$ tarihleri arasında işlem gören ve işlem hacmi oldukça yüksek olan on büyük hisseden oluşmaktadır. İlgili hisseler ve bu hisselerle ilgili temel bilgiler aşağıdaki Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: Portföy optimizasyon yöntemlerinin uygulanacağı hisseler

Sembol	**Hisse**	**Faaliyet alanı**
AAPL	Apple Inc.	Tüketici elektroniği ve yazılım
AMZN	Amazon.com Inc.	E-ticaret ve bulut bilişim
GOOGL	Alphabet Inc. (A sınıfı)	İnternet hizmetleri ve dijital reklam
META	Meta Platforms Inc.	Sosyal medya ve dijital reklam
MSFT	Microsoft Corp.	Yazılım ve bulut bilişim
NVDA	NVIDIA Corp.	Yarı iletken
TSLA	Tesla Inc.	Elektrikli araç ve enerji
WMT	Walmart Inc.	Perakende
JPM	JPMorgan Chase & Co.	Bankacılık
V	Visa Inc.	Ödeme sistemleri

Her ne kadar başlangıçta on hisse ele alınmış olsa da, duygu görüşlerinin güvenilir biçimde oluşturulabilmesi için uygulanan önsel ölçütü karşılamadığından JPM ve V hisseleri analiz dışı bırakılmıştır. Eleme yalnızca metin kapsamına göre yapılmış, getiri ya da portföy performansı dikkate alınmamıştır. Böylece, duygu endeksi çoğu günde tanımsız kalacak olan hisseler çıkarılarak duygu görüşleri güvenilir biçimde oluşturulmuştur. Analiz kapsamına alınan sekiz hisseye ilişkin finansal metinlerin tamamı, Hugging Face üzerinde yayımlanan StephanAkkerman/financial-tweets veri setindeki sosyal medya paylaşımlarından oluşmaktadır (Akkerman, 2023). Bu paylaşımlardan yalnızca portföy hisselerinin cashtag'ini içerenler analize alınmıştır. Birden fazla portföy hissesine atıf yapan paylaşımlar, her hisse için ayrı kaydolarak işlenmiştir. Jeopolitik risk, (Caldara ve Iacoviello, 2022)'un günlük jeopolitik risk endeksiyle ölçülmektedir. Risksiz getiri olarak üç aylık ABD hazine bonosunun ikincil piyasa getirisi kullanılmaktadır. Bu veri kaynakları aşağıda verilen Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Araştırmada kullanılan veri kaynakları

Veri	**Kaynak**	**Kapsam**	**Kullanım**
Günlük fiyat verileri	Yahoo Finance; Alpha Vantage	8 hisse, 677 işlem günü, 5416 gözlem	Getiriler, risk modeli, teknik göstergeler, portföy muhasebesi
Sosyal medya paylaşımları	Hugging Face: StephanAkkerman/financial-tweets (MIT lisansı)	7618 hisse–paylaşım kaydı	FinBERT ve LSTM duygu skorları, MSI
Jeopolitik risk	Caldara–Iacoviello günlük GPR endeksi (GPRD)	Günlük seri	Tahmin panelinde değişken; Black-Litterman modelinde denge getirisi kayması
Risksiz getiri	FRED, 3 aylık ABD Hazine bonosu (DTB3)	örneklem dışı ortalama %5.122	Sharpe ve Sortino oranları

Finansal Fiyat Verileri ve Değişkenler

Günlük fiyat verileri, hisse sembolü ve işlem tarihiyle tanımlanan kayıtlar olarak ilişkisel bir veri tabanında saklanmakta, getiriler bölünme ve temettüye göre düzeltilmiş kapanış fiyatlarından hesaplanmaktadır. Risk modelinde yüzde cinsinden logaritmik getiriler, tahmin ve portföy analizlerinde ise bunlara karşılık gelen basit getiriler kullanılmaktadır.

Tahmin analizlerinde bağımlı değişken, ertesi işlem gününün yüzde cinsinden basit getirisidir ve tahmin hataları RMSE, MSE ve MAE ile ölçülmektedir. Bağımsız değişkenler iki gruptan oluşmaktadır. Birinci grup, çalışmanın açıklayıcı bilgi katmanlarıdır: MSI, GJR-GARCH ve DCC ile modellenen koşullu risk yapısı ve jeopolitik risk göstergesi. İkinci grup, fiyat serilerinden türetilen ve kıyas modelini oluşturan altı teknik göstergedir: 14 günlük RSI, MACD ile sinyal çizgisi arasındaki fark, 20 günlük Bollinger bandı içindeki konum, 50 günlük hareketli ortalamadan sapma, 5 günlük momentum ve 21 günlük momentum. Portföy analizlerinde ise günlük fazla getiri, portföy getirisinden günlük risksiz getirinin çıkarılmasıyla elde edilmekte; performans, yıllıklandırılmış Sharpe oranı (ortalama fazla getirinin standart sapmaya oranı) ve Sortino oranı (ortalama fazla getirinin, eşik değeri olarak risksiz getiri alınarak hesaplanan aşağı yönlü sapmaya oranı) ile birlikte kümülatif ve yıllık getiri, yıllık volatilite, maksimum düşüş (MDD) ve devir hızı ölçütleriyle raporlanmaktadır. MSI'nın üretimi Duygu Modeli bölümünde, risk ve jeopolitik risk bileşenlerinin modele aktarımı ise sırasıyla Risk Modeli ve Black-Litterman Portföy Modeli bölümlerinde açıklanmaktadır.

Etki Yoğunluğu ve Piyasa Duyarlılık Endeksi

Her metnin endeksteki ağırlığı, yalnızca FinBERT olasılıklarından türetilen bir yoğunluk ölçüsüyle belirlenmektedir. Bu ölçü, en yüksek sınıf olasılığını $(p_{(1)})$ ve bu olasılığın ikinci en yüksek olasılıktan $(p_{(2)})$ farkını birleştirmekte ve $I = p_{(1)}x(p_{(1)} - p_{(2)})$ formülüyle hesaplanmaktadır. Bu model bir metni bir sınıfa ne kadar kesin atıyorsa metnin ağırlığı da o kadar yüksek olmaktadır.

İleriye bakış yanlılığını sınırlamak amacıyla yayın zamanları, yaz saati uygulaması dâhil ABD Doğu saatine çevrilmektedir. Kapanıştan sonra ya da işlem günü olmayan bir günde yayımlanan metinler sonraki ilk işlem gününe atanmaktadır. Böylece belirli bir gün için kullanılan her metin, o günün kapanışından önce yayımlanmış olur. Her hisse ve gün için MSI, o güne atanmış metinlerin duygu skorlarının yoğunlukla ağırlıklandırılmış ortalamasıdır ve yalnızca en az bir metnin bulunduğu günlerde tanımlıdır.

Tahmin Analizleri

MSI ve GPR'nin ertesi gün getirisine ek tahmin katkısı iki aşamada sınanmaktadır. Birinci aşamada tüm hisseler tek bir panelde LASSO regresyonuyla modellenmektedir (Tibshirani, 1996). İç içe kurulmuş üç model karşılaştırılmaktadır: yalnızca teknik göstergeleri içeren M0, buna MSI'nın eklendiği M1 ve ayrıca GPR'nin eklendiği M2. Ardışık modeller arasındaki hata farkı, eklenen bilgi katmanının katkısını göstermektedir. Panelde yalnızca MSI'nın gözlendiği hisse-günler kullanılmakta, böylece üç model aynı gözlemler üzerinde karşılaştırılmaktadır. Tahminler genişleyen pencereyle üretilmekte; panel analizinde ilk yeniden tahmin 252. panel tarihinde (MSI'nın gözlendiği 252. günde) yapılmakta, hisse bazındaki analizde ise ilk tahmin 252 . işlem gününde gerçekleştirilmektedir. Sonraki tahminler her 21 günde bir yinelenmektedir. Değişkenler her eğitim penceresinde yalnızca o pencerenin verisiyle standartlaştırılmakta, düzenleme parametresi de aynı kısıtla zaman sıralı çapraz doğrulamayla (en fazla beş kat) seçilmektedir.

İkinci aşamada, sonuçların hisse düzeyinde farklılaşıp farklılaşmadığını görmek amacıyla her hisse yalnızca kendi geçmişiyle dört modelle tahmin edilmektedir:

- Teknik göstergelerle LASSO (L0),
- L0'a MSI eklenmiş LASSO (L1),
- L1'e GPR eklenmiş LASSO (L2),
- Sabit hiperparametreli XGBoost (Chen ve Guestrin, 2016).

XGBoost, doğrusal olmayan ilişkileri sınamak amacıyla kullanılmakta; teknik göstergeler, MSI, MSI gözlem göstergesi ve GPR'ye ek olarak günlük metin sayısının logaritmasını ve ortalama yoğunluğu içermektedir. Modelin hiperparametre ayarı yapılmamış, sabit hiperparametrelerle çalıştırılmış ve ağaç tabanlı olduğundan standartlaştırılmamıştır. Bu aşamada tüm işlem günleri kullanılmakta; MSI'nın gözlenmediği günlerde endeks sıfıra eşitlenmekte ve bu günler L1, L2 ve XGBoost'ta bir gözlem göstergesiyle (1 / 0) işaretlenmektedir. Dolayısıyla panel analizi metin bulunan günlerdeki, hisse bazındaki analiz ise tüm işlem günlerindeki katkıyı ölçmektedir.
Ana ölçüt örneklem dışı RMSE'dir; MAE de raporlanmaktadır. MSI ve GPR'nin katkısı, her hissede L1 ve L2'nin L0'a göre hata farkıyla değerlendirilmekte; farklar Harvey–Leybourne–Newbold düzeltmeli Diebold–Mariano testiyle sınanmakta (Diebold ve Mariano, 1995; Harvey, Leybourne ve Newbold, 1997), uzun dönem varyansı Newey–West yöntemiyle tahmin edilmektedir (Newey ve West, 1987, 1994).

Risk Modeli: GJR-GARCH ve DCC

Her hissenin koşullu volatilitesi, Student-t dağılımlı $GJR-GARCH(1,1,1)$ modeliyle tahmin edilmektedir (Glosten, Jagannathan ve Runkle, 1993). Bu model, negatif şokların volatiliteyi pozitif şoklardan farklı büyüklükte etkilemesine olanak tanımaktadır. Hisseler arasındaki zamanla değişen korelasyon, standartlaştırılmış artıklar üzerinde $DCC(1,1)$ modeliyle tahmin edilmektedir (Engle, 2002). Modeller, her yeniden dengeleme tarihinde yalnızca o tarihe kadarki veriyle yeniden tahmin edilmektedir. Portföy kovaryans matrisinde varyanslar, 21 günlük tutma dönemi için öngörülen GJR-GARCH varyanslarının ortalamasından; korelasyonlar ise son tahmin edilen DCC matrisinden alınmaktadır. Buna karşılık, duygu skorlarından elde edilen veri temelli görüşler oluşturulurken bir günlük volatilite öngörüsü kullanılmaktadır. Bu tercihin etkisi, (Engle ve Sheppard, 2001) korelasyon öngörüsüyle kurulan alternatif bir kovaryans matrisiyle karşılaştırılmaktadır.

Black-Litterman Portföy Modeli

Tarihsel piyasa değeri verisi bulunmadığından denge portföyü olarak eşit ağırlıklı portföy kullanılmaktadır. Güncel piyasa değerlerini geçmişe uygulamak ileriye bakış yanlılığı yaratacaktır. Denge getirileri bu portföyden ters optimizasyonla türetilmektedir. Riskten kaçınma katsayısı δ, (He ve Litterman, 1999)'nın kullandığı 2.5 değerinde sabitlenmiştir. Sağlamlık analizinde δ, eşit ağırlıklı endeksin geçmiş getirilerinden hesaplanmakta ve 1 ile 5 arasına sınırlandırılmaktadır. Sonsal beklenen getiri vektörü (Idzorek, 2007) temel alınarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$E[R] = [(\tau\Sigma)^{-1} + P^T\Omega^{-1}P]^{-1}[(\tau\Sigma)^{-1}\Pi + P^T\Omega^{-1}Q]$$

Burada N varlık sayısını, K görüş sayısını göstermektedir.

- $E[R]$: sonsal (birleşik) beklenen getiri vektörü $(N \times 1)$
- τ: denge getirilerinin belirsizliğini ölçekleyen skaler
- Σ: fazla getirilerin kovaryans matrisi $(N \times N)$
- P: görüşlerin hangi varlıklara ilişkin olduğunu gösteren matris $(K \times N)$
- Ω: görüşlerin belirsizliğini gösteren köşegen kovaryans matrisi $(K \times K)$
- Π: ima edilen denge getirisi vektörü $(N \times 1)$
- Q: görüş getirisi vektörü $(K \times 1)$
- T: Transpoz işlemi

Duygu görüşleri mutlak görüşler olarak kurulmaktadır. Her hisse için duygu skoru, son 10 işlem gününün MSI değerlerinin ortalamasıdır. Bu ortalamada ağırlıklar, yarı ömrü 3 gün olan üstel azalmaya ve metin sayısına göre belirlenmektedir.

Hissenin duygu skoru kesit ortalamasının üzerindeyse görüş getirisi denge getirisinin üzerine, altındaysa altına kaymaktadır. Kaymanın büyüklüğü, skorun ortalamadan uzaklığı ve hissenin koşullu volatilitesiyle orantılıdır. Görüşlerin güven düzeyi metin sayısı ve ortalama duygu yoğunluğuyla artmaktadır. Böylece az sayıda ya da zayıf metne dayanan görüşler ağırlıkları daha sınırlı etkilemektedir. Görüş ölçeği ($\lambda = 0.5$), belirsizlik ölçeği ($\tau = 0.05$) olarak belirlenmiştir. En az iki hisse için görüş oluşmayan dengelemelerde denge portföyü kullanılmaktadır. Ağırlıklar, sonsal getiri ve kovaryansla kurulan ortalama-varyans optimizasyonuyla belirlenmektedir. Yalnızca uzun pozisyona izin verilmekte, hisse başına ağırlık %40 ile sınırlandırılmaktadır.
GPR, modele bir görüş olarak değil, denge getirilerini kaydıran bir sinyal olarak girmektedir. Sinyal, logaritmik jeopolitik risk endeksinin bir gün gecikmeli 30 günlük ortalamasıdır. Her hissenin göreli getirisinin bu sinyale duyarlılığı regresyonla tahmin edilmektedir. Elde edilen kayma, tahmin belirsizliği oranında küçültülerek denge getirilerine eklenmektedir. Duygu görüşleri bu durumda kaydırılmış denge getirileri etrafında kurulmaktadır. Bu kural portföy sonuçları görülmeden belirlenmiştir.

Walk-Forward Geriye Dönük Test

Beş strateji aynı takvim ve kısıtlar altında karşılaştırılmaktadır:

- Eşit ağırlıklı portföy,
- Örneklem ortalaması ve kovaryansıyla kurulan Modern Portföy Teorisi portföyü (MPT),
- Örneklem ortalaması ve risk modeli kovaryansıyla kurulan MPT-GARCH,
- BL + duygu,
- BL + duygu + GPR.

Görüşsüz BL portföyü (BL denge) eşit ağırlıklı portföye eşittir. BL görüşleri, tahmin analizlerindeki modellerden değil doğrudan MSI'dan türetilmektedir. Portföyler 252 işlem günlük geçmiş biriktikten sonra her 21 işlem gününde bir, yalnızca dengeleme günü kapanışına kadarki bilgiyle yeniden dengelenmektedir. İşlem maliyeti, devir başına tek yön 10 baz puandır.

Katkı Analizi ve İstatistiksel Testler

Her bileşenin katkısı, yalnızca o bileşende farklılaşan strateji çiftleriyle ölçülmektedir:

- Dinamik risk için MPT ile MPT-GARCH,
- Duygu için BL denge ile BL + duygu,
- Jeopolitik risk için BL + duygu ile BL + duygu + GPR.

Araştırma hipotezi, BL + duygu portföyünün MPT ile doğrudan karşılaştırılmasıyla sınanmakta; ayrıca tüm stratejiler eşit ağırlıklı portföyle kıyaslanmaktadır. Sharpe farkları iki yöntemle değerlendirilmektedir: (Memmel, 2003) düzeltmeli Jobson–Korkie (JK) testi (Jobson ve Korkie, 1981) ve 10000 tekrarlı, eşleştirilmiş dairesel blok bootstrap (Politis ve Romano, 1992; blok uzunluğu 8). GPR karşılaştırması önceden belirlenen tek hipotez olarak %5 anlamlılık düzeyinde sınanmakta; üç katman karşılaştırması için Bonferroni düzeltmesi (α^*) sağlamlık kontrolü olarak raporlanmaktadır. Bunlara ek olarak üç tamamlayıcı analiz yapılmıştır: duygu modeli ablasyonu, BL modelinin λ ve τ parametrelerine yönelik duyarlılık analizi ve risk modelinin tahmin doğruluğu değerlendirmesi sonuçlar ve bulgular bölümünün sonunda sunulmaktadır.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde, çalışmada önerilen metodolojiden elde edilen ampirik bulgular sistematik bir çerçevede sunulmaktadır. Analiz sonuçları; veri setine ve MSI ait betimsel istatistiklerin incelenmesi, duyarlılık ve jeopolitik risk katmanlarının getiri üzerindeki tahmin gücünün sınanması ve oluşturulan Black-Litterman portföyünün örneklem dışı performansının geleneksel modellerle karşılaştırılması olmak üzere üç temel aşamada raporlanmıştır. Temel analizlerin ardından, modelin yapısal geçerliliğini test etmek amacıyla parametre sağlamlık kontrollerine ve tamamlayıcı analizlere yer verilmiştir.

Veri Seti ve Piyasa Duyarlılık Endeksi Bulguları

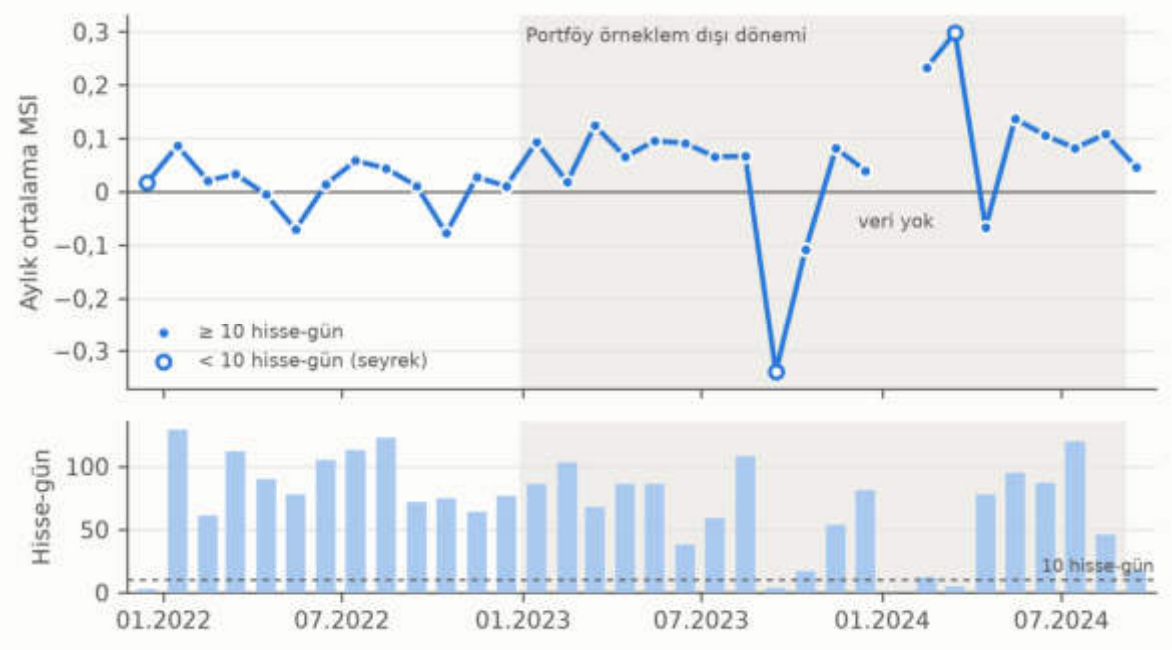
Araştırma örneklemi, her hisse için 677 işlem günlük fiyat gözlemini ve toplam 7618 hisse–metin kaydını içermektedir. İncelenen hisse senetlerine ait veri hacimleri ve MSI kapsam oranları Tablo 3'te raporlanmıştır.

Tablo 3. Hisse bazında veri ve MSI kapsamı

Hisse	Fiyat günü	Metin	MSI hisse-gün	MSI kapsamı (%)	MSI günü başına metin
AAPL	677	1405	377	55.7	3.73
AMZN	677	858	305	45.1	2.81
GOOGL	677	469	232	34.3	2.02
META	677	646	281	41.5	2.30
MSFT	677	712	282	41.7	2.52
NVDA	677	1317	346	51.1	3.81
TSLA	677	2022	414	61.2	4.88
WMT	677	189	115	17.0	1.64

Tablo 3'e göre, haber akış hacmi hisseler arasında belirgin biçimde farklılaşmakta; en az metin WMT(189), en çok metin TSLA (2022) için kaydedilmiştir. MSI, 459 farklı sinyal gününe yayılan 2352 hisse-gün gözleminden oluşmaktadır. MSI kapsamı(endeksin tanımlı olduğu günlerin fiyat günlerine oranı), toplamda %43.4 olarak gerçekleşmiş; bu oran WM'd %17′ye düşerken TSLA'da %61.2'ye çıkmaktadır.

Kapsamın zaman içindeki dağılımı da homojen değildir. Şekil 1, örneklem dönemi boyunca aylık kesitsel MSI ortalamaları ile gözlem sayılarının seyrini sunmaktadır.



Şekil 1. Aylık piyasa duyarlılık endeksinin seyri

Not: Üst panel aylık kesitsel MSI ortalamasını; alt panel ise aylık hisse-gün sayısını göstermektedir. İçi boş işaretçiler, 10'dan az hisse-gün içeren ayları temsil ederken; gölgeli alan, örneklem dışı dönemi ifade etmektedir.

Şekil 1'e bakıldığında, araştırma dönemindeki 34 takvim ayından Ocak 2024'te hiç MSI gözlemi kaydedilmemiştir. Aralık 2021, Eylül 2023 ve Mart 2024'te ise 10'dan az hisse-gün gözlemlenmiştir. Şekil 1'de sunulan seyre göre; en düşük aylık ortalama Eylül 2023'te (−0.3391), en yüksek aylık ortalama ise Mart 2024'te (0.2981) hesaplanmıştır. Her iki uç değer de seyrek gözlemli aylara denk geldiğinden dikkatle yorumlanmalıdır.

FinBERT-LSTM Duygu Modeli Bulguları

LSTM modeli: kronolojik olarak ilk %85'lik kısmı oluşturan 6476 metinle eğitilmiş ve son %15'lik kısmı oluşturan 1142 metinlik doğrulama kümesi üzerinde değerlendirilmiştir. Doğrulama kümesinde LSTM'in FinBERT etiketleriyle uyumu: doğruluk ölçütünde 0.7093, makro-F1 skorunda ise 0.6194'tür. Her metne en sık görülen sınıf olan "nötr" etiketini atayan basit taban çizgisinin aynı kümedeki doğruluğu 0.6060 olduğundan. LSTM bu ölçütü %10.33 puan aşmaktadır. Bu değerler, insan etiketli bağımsız bir test kümesine değil, FinBERT etiketlerinin yeniden üretilme başarısına (sözde etiketleme) dayanmaktadır; bu nedenle gerçek duygu sınıflandırma doğruluğu olarak yorumlanmamalıdır. Doğrulama kümesi epoch seçiminde de kullanıldığından değerler hafif iyimser olabilir. Modelin sınıf bazındaki performansı Tablo 4'te sunulmaktadır.

Tablo 4. LSTM modelinin FinBERT etiketlerine dayalı sınıflandırma performansı

Sınıf	Kesinlik	Duyarlılık	F1	Destek
Pozitif	0.5551	0.5261	0.5402	268
Negatif	0.6441	0.4176	0.5067	182
Nötr	0.7701	0.8569	0.8112	692

Tablo 4′teki bulgulara göre, en yüksek performans veri setinde baskın olan nötr sınıfta elde edilmiştir ($F1 = 0.8112$). Negatif sınıfın duyarlılığı ise 0.4176 ile en düşük düzeydedir: FinBERT'in negatif etiketlediği 182 metnin 64 'ü LSTM tarafından nötr olarak sınıflandırılmıştır. Negatif sınıfta kesinlik (0.6441) duyarlılıktan belirgin biçimde yüksektir; dolayısıyla model negatif tahminlerinde yüksek isabet oranına sahip olmakla birlikte, negatif metinlerin büyük bölümünü yakalayamayıp çoğunluk sınıfına atamaktadır.

Yoğunluk Ağırlıklandırması ve MSI Bulguları

Metin düzeyinde ortalama yoğunluk 0.7070 olarak hesaplanmıştır. Zaman hizalamasında hisse–metin kayıtlarının %70.8'i (5394 kayıt) yayımlandığı işlem gününe atanmış; kalan %29.2'si (2224 kayıt), saat 16:00 'dan sonra ya da işlem günü olmayan bir günde yayımlandığı için sonraki ilk işlem gününe aktarılmıştır.

MSI'nın tanımlı olduğu hisse-günlerde (2352 gözlem) endeksin ortalaması 0.0464, medyanı 0.0422 ve standart sapması 0.3140'tır. Endeks, −0.9559 ile 0.9374 arasında değişmekte ve gözlemlerin %65.5'inde pozitif değer almaktadır. Hisse ortalamaları TSLA'da 0.0067 ile WMT'de 0.1202 arasında, pozitif gün oranı ise GOOGL'da %59.9 ile WMT'de %75.7 arasında yer almaktadır. Ortalama yoğunluk 0.6828 ile 0.7256 arasında kaldığından, yoğunluk ağırlıkları hisseler arasında sınırlı farklılaşmaktadır. Genel olarak MSI dağılımı hafif pozitif bir eğilim göstermektedir.

Tahmin Modellerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde, makine öğrenmesi ve istatistiksel yöntemlere dayalı tahmin modellerinin örneklem-dışı performansları değerlendirilmektedir. Analizlerin temel amacı, finansal metinlerden elde edilen MSI ve GPR gibi ek bilgi katmanlarının, varlıkların kısa vadeli getiri tahminlerindeki açıklayıcı gücünü ve tahmin doğruluğuna olan katkısını sınamaktır.

Panel düzeyinde MSI ve GPR katkısı

Ortak örneklem, 10.02.2022–04.09.2024 dönemindeki 430 panel tarihine ait 2175 hisse-gün gözleminden oluşmaktadır. İlk yeniden tahmin 21.04.2023'te yapılmış; örneklem dışı değerlendirme 923 hisse-gün tahminine dayanmaktadır. Farklı bilgi katmanlarını içeren tahmin modellerinin panel düzeyindeki LASSO walk-forward örneklem dışı tahmin hataları Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Panel düzeyinde LASSO walk-forward örneklem dışı tahmin hataları

Model	**RMSE**	**MAE**
M0: Teknik	2.4961	1.6644
M1: Teknik + MSI	2.4961	1.6644
M2: Teknik + MSI + GPR	**2.4959**	**1.6642**
Eğitim ortalaması	2.4961	1.6644

Modeller, tüm hisselerin birlikte kullanıldığı panelde LASSO regresyonuyla ertesi gün getirisini (%) tahmin eder ve iç içe kurulmuştur: M0 yalnızca teknik göstergeleri (RSI. MACD farkı. Bollinger konumu. hareketli ortalamadan sapma. 5 ve 21 günlük momentum). M1 teknik göstergelere ek olarak MSI'ni, M2 bunlara ek olarak günlük GPR içerir. M0'dan M1'e ve M1'den M2'ye geçişteki hata farkı eklenen bilgi katmanının katkısını gösterir. RMSE: kök ortalama kare hata; MAE: ortalama mutlak hata (hepsi örneklem dışı düşük değer daha iyi tahmini gösterir). MSE: modelin MSE'sinin M0'ın MSE'sinden farkıdır; negatif değer daha düşük hata demektir.

Panelde yalnızca MSI'nın gözlendiği hisse-günler kullanılmış olup tahminler genişleyen pencereyle üretilmiştir. M0 ve M1'de LASSO tüm katsayıları sıfırladığından bu modeller eğitim dönemi ortalamasıyla birebir aynı tahmini üretmiştir.
Tablo 5'teki bulgular doğrultusunda, M0 ve M1'de çapraz doğrulama dokuz yeniden tahminin tamamında en güçlü cezayı seçmiş, LASSO tüm katsayıları sıfırlamış ve tahminler eğitim dönemi ortalamasına eşit olmuştur. Bu nedenle iki model birebir aynı hatayı üretmiştir; ne teknik göstergeler ne de MSI saptanabilir bir ek tahmin bilgisi taşımaktadır.
M2'nin hatası bir miktar daha düşüktür, ancak fark ihmal edilebilir düzeydedir (MSE'nin yaklaşık %0.01'i). GPR'nin katsayısı hiçbir yeniden tahminde sıfırdan farklı olmamış; ilk yeniden tahminde GPR'nin eklenmesi seçilen ceza düzeyini düşürmüş ve iki teknik gösterge (MACD farkı ve 21 günlük momentum) modele girmiştir. Bu nedenle fark. GPR'nin doğrudan katkısı olarak yorumlanamaz. Bu analizde GPR günlük endeks düzeyi olarak kullanılmıştır; portföydeki GPR kanalı 30 günlük logaritmik ortalamaya dayandığından sonuç portföy bulgularını önceden belirlememektedir. Havuzlanmış hata, oynaklığı yüksek hisselerden (NVDA. TSLA) ağırlıklı olarak etkilendiğinden hisse bazındaki sonuçlar ayrıca incelenmektedir.

Varlık Bazında Model Karşılaştırması
Her hisse için dört model karşılaştırılmıştır. Örneklem-dışı dönem 13.02.2023 – 04.09.2024 aralığını kapsamakta ve hisse başına 392 gözlem içermektedir. Referans model, yalnızca teknik göstergeleri içeren L0'dır; MSI'nın katkısı L1'in, GPR'nin ek katkısı L2'nin L0'a göre hata farkıyla değerlendirilmektedir.
Modellerin varlık bazındaki örneklem dışı hata metrikleri (RMSE ve MAE) ve performans sıralamaları Tablo 6'da sunulmaktadır.

Tablo 6. Tüm modeller: örneklem-dışı RMSE ve MAE değerleri

Hisse	Metrik	L0	L1	L2	XGBoost
AAPL	RMSE	**13613** (1)	1.3673 (3)	1.3664 (2)	1.5476 (4)
	MAE	1.0056	1.0095	1.0095	1.1472
AMZN	RMSE	1.8615 (3)	1.8615 (2)	**1.8607** (1)	2.0919 (4)
	MAE	1.3829	1.3830	1.3818	1.5613
GOOGL	RMSE	1.7610 (3)	1.7600 (2)	**1.7574** (1)	1.9794 (4)
	MAE	1.2667	1.2660	1.2649	1.4582
META	RMSE	2.2780 (1)	2.2780 (1)	**2.2780** (1)	2.5922 (4)
	MAE	1.5177	1.5177	1.5177	1.8219
MSFT	RMSE	1.3850 (2)	1.3892 (3)	**1.3849** (1)	1.4987 (4)
	MAE	1.0558	1.0562	1.0565	1.1646
NVDA	RMSE	3.2874 (1)	3.2875 (3)	**3.2874** (1)	3.6383 (4)
	MAE	2.3095	2.3099	2.3095	2.6055
TSLA	RMSE	3.3635 (3)	3.3617 (2)	**3.3612** (1)	3.5802 (4)
	MAE	2.5156	2.5125	2.5123	2.7053
WMT	RMSE	1.0380 (2)	1.0380 (2)	**1.0377** (1)	1.1511 (4)
	MAE	0.6995	0.6995	0.7001	0.7964

Tablo 6 verileri incelendiğinde, L2 modeli RMSE sıralamasında sekiz hissenin yedisinde birinci sıradadır; ancak bu üstünlük tek başına bir tahmin iyileşmesi olarak yorumlanmamalıdır. L2'nin L0'a göre en büyük RMSE azalması GOOGL'da yaklaşık %0.2'dir.

L1, GOOGL ve TSLA'da L0'dan biraz düşük. AAPL, MSFT ve NVDA'da biraz yüksek RMSE üretmiştir. META'da üç LASSO modeli. NVDA'da ise L0 ile L2 aynı hatayı vermektedir.
Gözlemlenen bu farkların istatistiksel anlamlılığını sınamak amacıyla, referans model L0 temel alınarak gerçekleştirilen Diebold–Mariano (DM) testlerinin sonuçları Tablo 7 'de sunulmaktadır.

Tablo 7. L0'a göre Diebold–Mariano testleri (DM; parantez içinde p)

Hisse	**L1 − L0**	**L2 − L0**	**XGBoost − L0**
AAPL	1.798 (0.073)	1.642 (0.101)	4.781 (<0.001)
AMZN	0.000 (1.000)	−2.100 (0.036)	5.064 (<0.001)
GOOGL	−0.922 (0.357)	−1.515 (0.131)	5.031 (<0.001)
META	Özdeş	Özdeş	2.662 (0.008)
MSFT	0.458 (0.647)	−0.014 (0.989)	4.003 (<0.001)
NVDA	1.072 (0.284)	Özdeş	4.385 (<0.001)
TSLA	−0.454 (0.650)	−0.639 (0.523)	3.678 (<0.001)
WMT	Özdeş	−0.389 (0.698)	4.731 (<0.001)

Not: Kayıp farkı, hata kareler ortalaması üzerinden ilgili model − L0 olarak hesaplanmıştır; pozitif istatistik modelin L0'dan daha yüksek hata ürettiğini gösterir. Test Newey–West uzun dönem varyansı ve Harvey–Leybourne–Newbold düzeltmesiyle uygulanmıştır ($T = 392$, gecikme $= 5$). "Özdeş": tahminler L0 ile her gözlemde aynı olduğundan test uygulanamaz. Bonferroni düzeltmeli eşik $0.05/24 = 0.0021$*'dir.*

L1 − L0 sütununda hiçbir test %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı olmadığı görülmektedir. L2 − L0 sütununda yalnızca AMZN hissesinin anlamlı olduğu ve bu farkın Bonferroni düzeltmesinden sonra da korunmamaktadır. XGBoost − L0 sütununda tüm farklar pozitiftir ve META dışındaki yedi hissede Bonferroni düzeltmesinden sonra da anlamlıdır.
Bununla birlikte, istatistiksel anlamlılık sınırlarının ötesinde, varlık bazındaki hata metrikleri ve model sıralamaları genel olarak L2→L1→L0 yönünde azalan RMSE değerlerine sahip olması bütüncül bir eğilime işaret etmektedir. DM testleri bu marjinal farkların örneklem dışında genel olarak rastlantısal olduğunu ve sıfırdan anlamlı bir kopuş yaratmadığını gösterse de, tahminlerdeki bu kademeli sıralama (L2 modelinin sekiz hissenin çoğunda en düşük hata skoruna sahip olması), teknik temele duygu (MSI) ve GPR katmanlarının sırayla eklenmesinin hata yüzeyinde bir iyileşme potansiyeli barındırdığını, ancak bu potansiyelin istatistiksel olarak katı bir üstünlüğe dönüşemediğini ortaya koymaktadır.

GARCH/DCC Risk Modeli Bulguları

Bu bölümde, hisse senetlerinin volatilitesinde gözlemlenen zaman içindeki kümelenmeleri, finansal getirilerin doğasındaki kalın kuyruk (fat-tail) problemini ve negatif şoklara verilen asimetrik tepkileri (kaldıraç etkisi) modellemek amacıyla kurulan Student-t dağılımlı GJR-GARCH ve DCC (Dinamik Koşullu Korelasyon) modellerinin bulguları sunulmaktadır. İlk aşamada, portföydeki varlıkların koşullu varyans yapılarını tanımlayan GJR-GARCH model parametreleri hesaplanmıştır. Tam araştırma dönemine ait betimsel Student-t GJR-GARCH parametreleri ve tanı testi sonuçları Tablo 8'de sunulmaktadır.

Tablo 8. Tam araştırma dönemi betimsel student-t GJR-GARCH Parametreleri ve tanı testleri

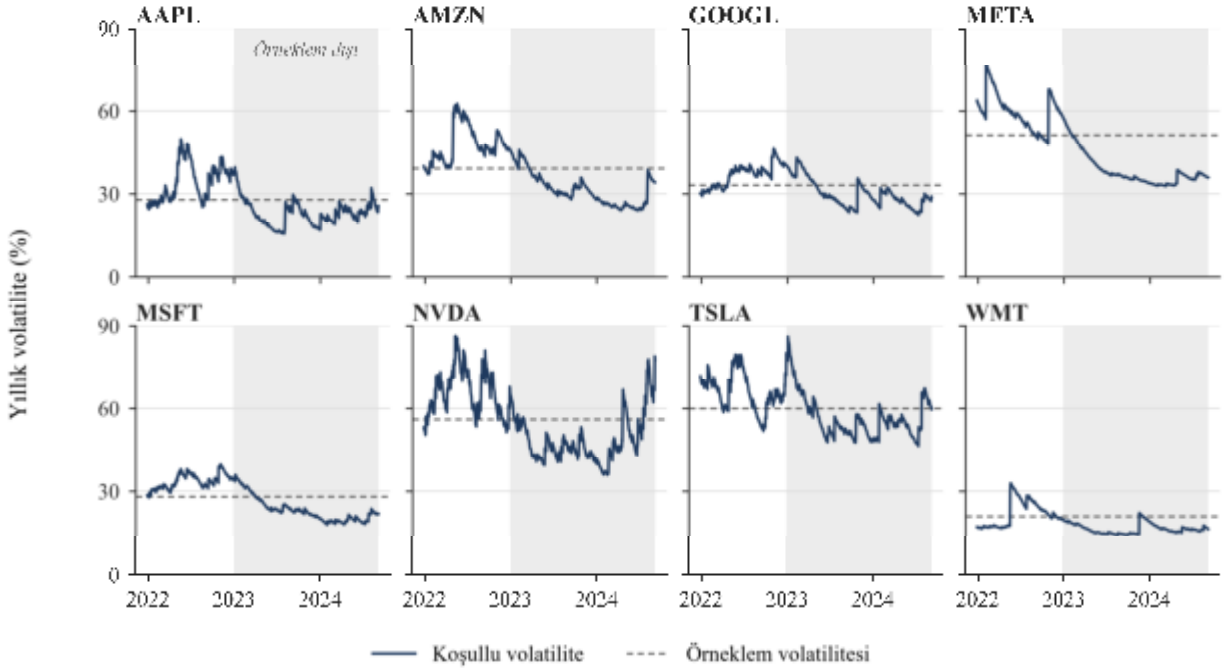
Hisse	ω	α	γ	β	Kalıcılık	ν	Ljung–Box p	ARCH-LM p	yıllık vol. (%)
AAPL	0.0218	0.0105	0.0595	0.9541	0.9942	5.95	0.680	0.672	27.83
AMZN	0.0235	0.0000	0.0311	0.9791	0.9947	5.60	0.862	0.881	39.24
GOOGL	0.0000	0.0000	0.0274	0.9850	0.9987	5.01	0.990	0.989	33.18
META	0.0448	0.0000	0.0110	0.9860	0.9915	3.53	1.000	1.000	51.43
MSFT	0.0031	0.0000	0.0262	0.9844	0.9975	9.86	0.976	0.981	28.20
NVDA	0.1785	0.0048	0.0721	0.9487	0.9896	6.88	1.000	1.000	56.10
TSLA	0.1603	0.0025	0.0342	0.9685	0.9880	5.81	0.958	0.958	60.06
WMT	0.0130	0.0060	0.0095	0.9766	0.9873	4.21	0.990	0.990	21.06

Not: ω sabit terim. α simetrik şok katsayısı. γ negatif şoklara verilen ek tepkiyi ölçen asimetri katsayısı. β GARCH katsayısıdır. Kalıcılık $\alpha + \beta + \gamma/2$ 'dir; ν Student-t dağılımının serbestlik derecesidir. Ljung–Box testi standartlaştırılmış kalıntıların karelerine. $ARCH - LM$ testi standartlaştırılmış kalıntılara 10 gecikmeyle uygulanmıştır. İki test de karesel kalıntılarda otokorelasyonu sınadığı için p değerleri birbirine yakındır. $p > 0.05$ kalan koşullu değişen varyans saptanmadığını gösterir. Yıllık volatilite. günlük getirilerin yıllıklandırılmış örneklem standart sapmasıdır.

Tablo 8 verileri incelendiğinde, tam araştırma dönemi için betimsel amaçla tahmin edilen $GJR - GARCH(1.1.1)$ modelinde kalıcılık 0.9873 ile 0.9987 arasında yer almaktadır. AMZN, GOOGL, META ve MSFT'de simetrik şok katsayısı α sıfıra yakın tahmin edilmiştir; bu hisselerde şokların koşullu varyansa etkisi yalnızca asimetri katsayısı γ üzerinden gerçekleşmektedir. Bu durum, ilgili varlıkların volatilitesinde kötü haberlerin (negatif şokların) iyi haberlere kıyasla asimetrik bir kaldıraç etkisi yarattığını doğrulamaktadır. Ayrıca serbestlik derecesi (ν) parametrelerinin düşüklüğü, Student-t dağılımı tercihinin aşırı getiri sıçramalarını yakalamada yerinde bir metodolojik adım olduğunu göstermektedir. Bu tahminler yalnızca betimseldir; portföyde kullanılan risk tahminleri her yeniden dengelemede yalnızca o tarihe kadarki veriyle kurulmuştur.

Tanı testlerinde (Ljung-Box ve ARCH-LM) hiçbir hissede standartlaştırılmış kalıntılarda kalan koşullu değişen varyans saptanmamıştır (tüm $p > 0.05$). AAPL, AMZN, MSFT, TSLA ve WMT'de ham getirilerin karelerine uygulanan Ljung–Box testi önceden ARCH etkisini saptamış, ancak model sonrasında bu etki ortadan kalkmıştır; bu durum modelin volatilite kümelenmesini başarıyla yakaladığını göstermektedir. GOOGL, META ve NVDA'da ise ham getirilerde de ARCH etkisi saptanmamıştır.Tanı testlerinde p > 0,05 değerlerinin yorumu, katsayı anlamlılığı testlerinden farklıdır. Bu testlerde sıfır hipotezi, kalıntılarda kalan koşullu değişen varyans bulunmadığını ifade etmektedir. Bu nedenle $p > 0.05$ olması, modelin volatilite dinamiğini yeterli ölçüde yakaladığına işaret etmektedir. Ancak bir sıfır hipotezinin reddedilememesi onun doğru olduğunu kesin olarak kanıtlamaz; aşırı getiri sıçramalarının yaşandığı hisselerde testlerin gücü sınırlanabileceğinden yüksek p değerleri ihtiyatla yorumlanmalıdır. Sonuç olarak model; ham getirilerde ARCH etkisinin bulunduğu hisseler için işlevini kanıtlarken, bu etkinin saptanmadığı hisselerde daha sınırlı bilgi sunmaktadır.

Modelden elde edilen koşullu volatilite serileri, volatilitenin zaman içinde kümelendiğini ve hisseler arasında düzey olarak belirgin biçimde farklılaştığını göstermektedir. Bu oynaklık dinamiklerinin zaman içindeki seyri Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 2. Hisse Bazında Koşullu Volatilite Seyri (Yıllıklandırılmış %)
Not: Kesikli çizgiler örneklem volatilitesini, gölgeli alan örneklem dışı dönemi gösterir. Tahminler tam araştırma dönemi üzerinde betimsel amaçla yapılmıştır; portföyde kullanılan yürüyen pencere tahminleri değildir.

Şekil 2 ve DCC modeli korelasyon bulguları doğrultusunda, tam dönem $DCC(1,1)$ tahmininde $\alpha = 0.0060$ ve $\beta = 0.9826$ ortalama koşullu korelasyon 0.4251 olarak gerçekleşmiştir. Portföy dönemindeki 21 yeniden tahminde korelasyon dinamiği homojen değildir: tahminlerin 8'inde $\alpha + \beta$ toplamı sıfıra yakın kalmış ve korelasyonlar uzun dönem düzeyine yakın, neredeyse sabit seyretmiştir; kalan 13 tahminde ise 0.9827 ile 0.9896 arasında gerçekleşmiş yüksek korelasyon kalıcılığına işaret etmiştir.
Portföyde kullanılan kovaryans yapısı ile (Engle ve Sheppard, 2001) korelasyon öngörüsüyle 21 günlük risk ufkuna göre kurulan alternatif arasındaki fark sınırlıdır: kovaryans matrisleri arasındaki göreli fark ortalama $\%0.68'$ dir. Buna karşılık, duygu görüşlerinin ölçeklendirilmesinde kullanılan bir günlük volatilite ile 21 günlük volatilite arasındaki oran, hisse bazında 0.7527 ile 1.0780 arasında değişmektedir. Dolayısıyla risk ufku seçimi kovaryans yapısını sınırlı ölçüde etkilerken; volatiliteyle ölçeklenen duygu görüşlerini ise daha belirgin biçimde etkileyebilmektedir.

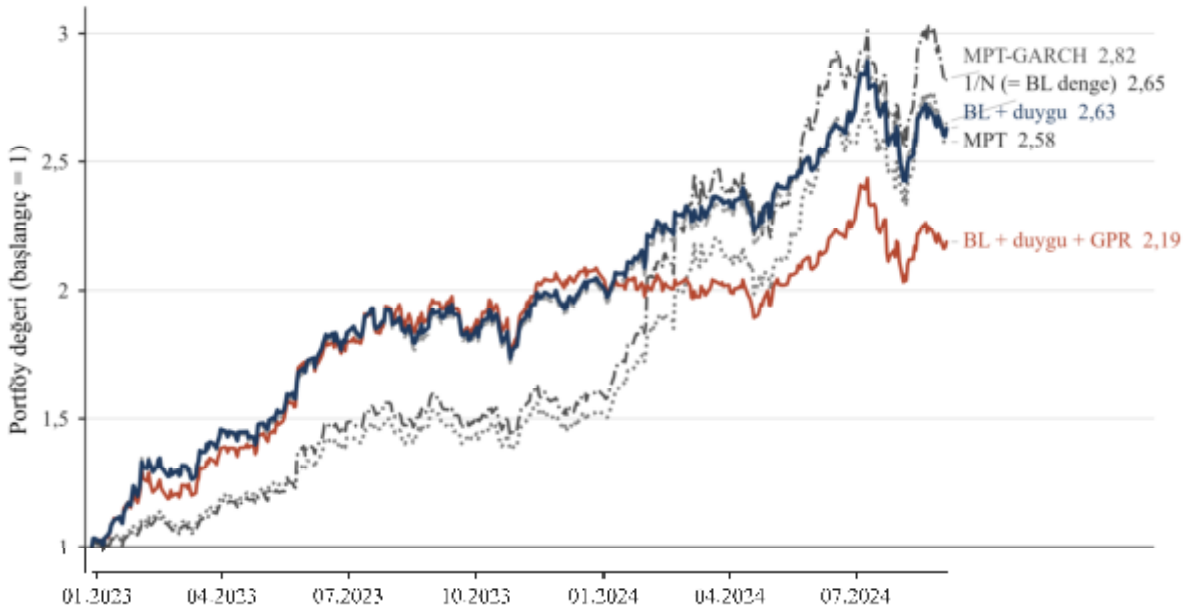
Black-Litterman Portföy Performansı
Ana koşu, riskten kaçınma katsayısı $\delta = 2.5$ ile çalıştırılmıştır. Örneklem-dışı dönem $29.12.2022 - 05.09.2024$ aralığındaki 423 işlem gününü kapsamaktadır. Yirmi bir yeniden dengelemenin 4'ünde duygu görüşü oluşan hisse sayısı ikiden az olduğundan, bu tarihlerde BL + duygu portföyü eşit ağırlıklı portföyle aynıdır.
Farklı portföy stratejilerine ait örneklem dışı performans ölçütleri Tablo 9'da sunulmaktadır.

Tablo 9. Strateji performans karşılaştırması

Strateji	Kümülatif %	Yıllık %	Vol %	Sharpe	Sortino	Maks. düşüş %	Devir/ dengeleme	Maliyet (yp)
BL + duygu	162.92	77.87	22.53	2.4432	3.9762	−16.13	0.208	0.42
BL denge ≡ 1/N	165.44	78.89	22.95	2.4277	3.9491	−16.18	0.059	0.12
MPT	157.72	75.77	22.35	2.4082	4.0368	−14.88	0.130	0.26
MPT-GARCH	182.17	85.52	25.63	2.3404	4.1424	−14.99	0.173	0.35
BL+duygu + GPR	118.67	59.38	23.95	1.8531	2.8688	−16.56	0.453	0.91

Not: Görüş içermeyen BL portföyü (BL denge) eşit ağırlıklı portföyle aynıdır. Sharpe ve Sortino oranları günlük fazla getiri üzerinden hesaplanmış ve yıllıklandırılmıştır. Maliyet. $\text{toplam devir} \times 10$ *baz puan olarak yaklaşık hesaplanmıştır; ilk kurulum maliyeti hiçbir stratejiye yazılmamıştır.*

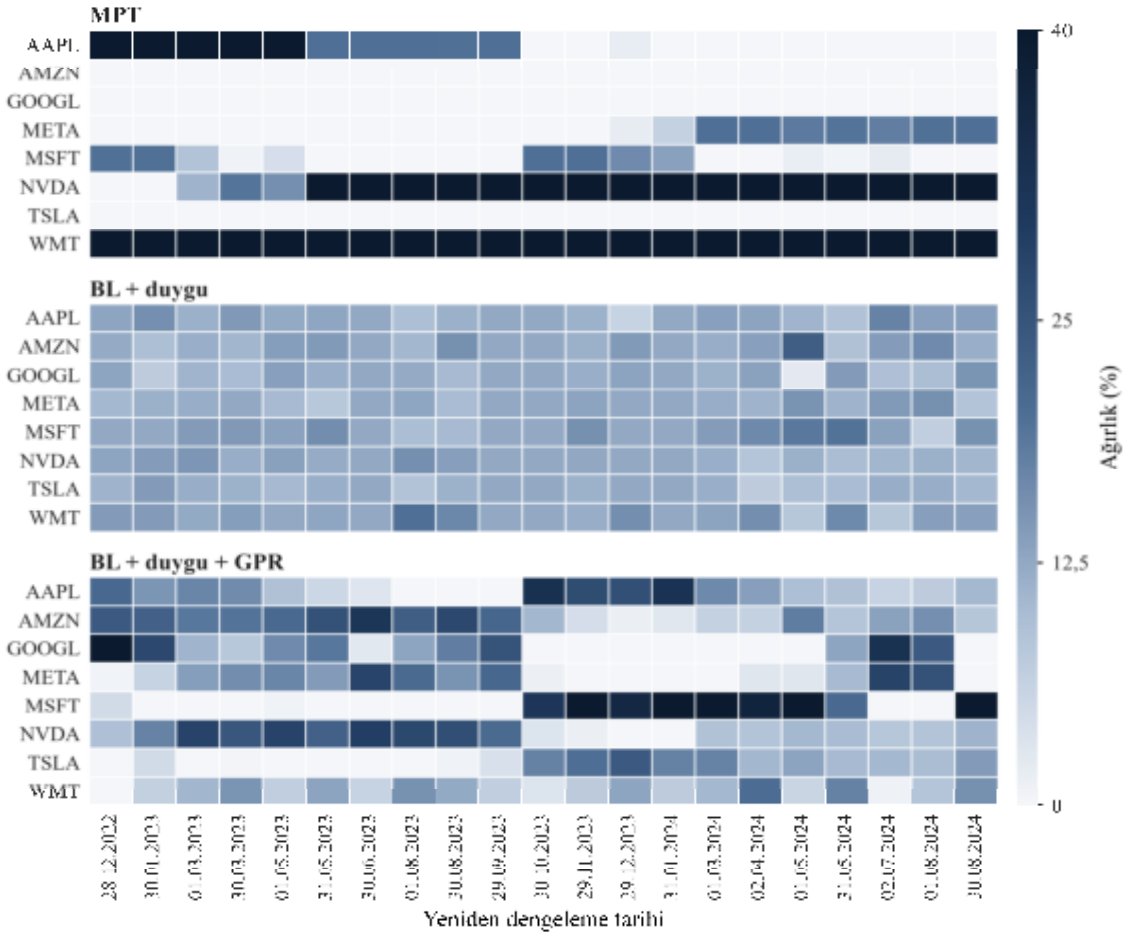
Tablo 9'a göre, tahminde en yüksek Sharpe oranı BL + duygu stratejisinde elde edilmiştir; onu sırasıyla 1/N, MPT, MPT-GARCH ve BL + duygu + GPR izlemektedir. Diğer ölçütlerde sıralama değişmektedir: MPT-GARCH en yüksek getiri ve Sortino oranına, MPT en düşük volatilite ve en sığ maksimum düşüşe, 1/N ise en düşük devir hızına sahiptir. BL + duygu, Sharpe dışında hiçbir ölçütte birinci olmamıştır. BL + duygu + GPR ise Sharpe, Sortino, getiri, maksimum düşüş ve devir hızında son sıradadır ve en yüksek işlem maliyetine sahiptir. Performans metriklerini tamamlayıcı nitelikteki stratejilerin kümülatif servet eğrileri Şekil 3'te sunulmaktadır.



Şekil 3. Ana koşuda stratejilerin servet eğrileri

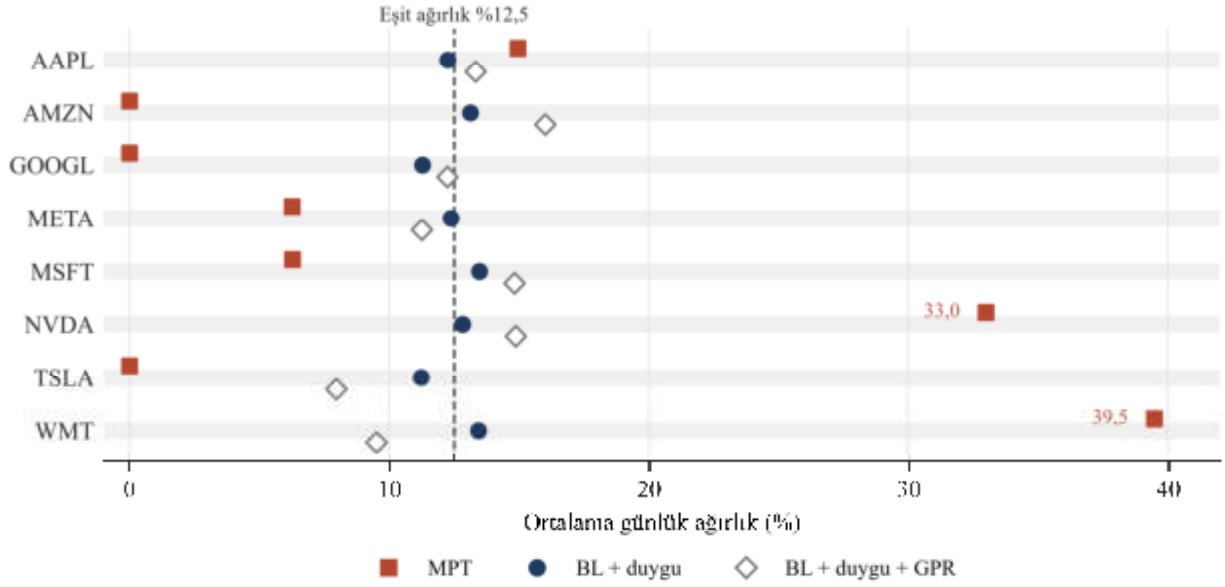
Şekil 3'teki etiketlerdeki sayılar dönem sonu değerlerinden elde edilmiştir. Buradaki BL + duygu ve 1/N eğrilerinin birbirine çok yakın seyretmesi, iki stratejinin getirileri arasındaki yüksek korelasyonla tam olarak tutarlıdır.

Stratejilerin portföy dağılım dinamiklerini incelemek amacıyla; yeniden dengeleme tarihlerindeki hisse ağırlıkları Şekil 4'te, ortalama günlük portföy ağırlıkları ise Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Yeniden dengeleme tarihlerinde portföy ağırlıkları

Not:Renk koyulaştıkça ağırlık artar; hisse başına üst sınır %40′tır. 1/N *portföyü her tarihte her hisseye* %12.5 *ağırlık verdiğinden gösterilmemiştir.*



Şekil 5. Stratejilere göre ortalama günlük portföy ağırlıkları

Not: Kesikli çizgi eşit ağırlığı (%12.5) *göstermektedir.1/N portföyü her hisseye eşit ağırlık verdiğinden ayrıca çizilmemiştir. Ağırlıklar günlük gözlemler üzerinden ortalanmıştır.*

Şekil 4 ve Şekil 5 ’e bakıldığında, yeniden dengeleme tarihlerindeki ağırlıklar Şekil 4'te, ortalama günlük ağırlıklar Şekil 5'te gösterilmektedir. MPT portföyü ağırlığını WMT ve NVDA'da yoğunlaştırmış, bu iki hisse çoğu dengelemede %40'lık üst sınıra ulaşmıştır; AMZN, GOOGL ve TSLA'ya ise ortalamada çok düşük ağırlık vermiştir. BL + duygu portföyünde ortalama ağırlıklar eşit ağırlığa yakın kalmış, duygu görüşleri yalnızca bazı dengelemelerde belirgin sapmalar yaratmıştır (örneğin 01.05.2024′te AMZN'nin ağırlığında artış, GOOGL'ın ağırlığında azalma). Bu sapmalar portföyün eşit ağırlığa yakın yapısını değiştirmemiştir. GPR kanalının eklendiği portföyde ise ağırlıklar dengelemeler arasında belirgin biçimde yer değiştirmektedir.

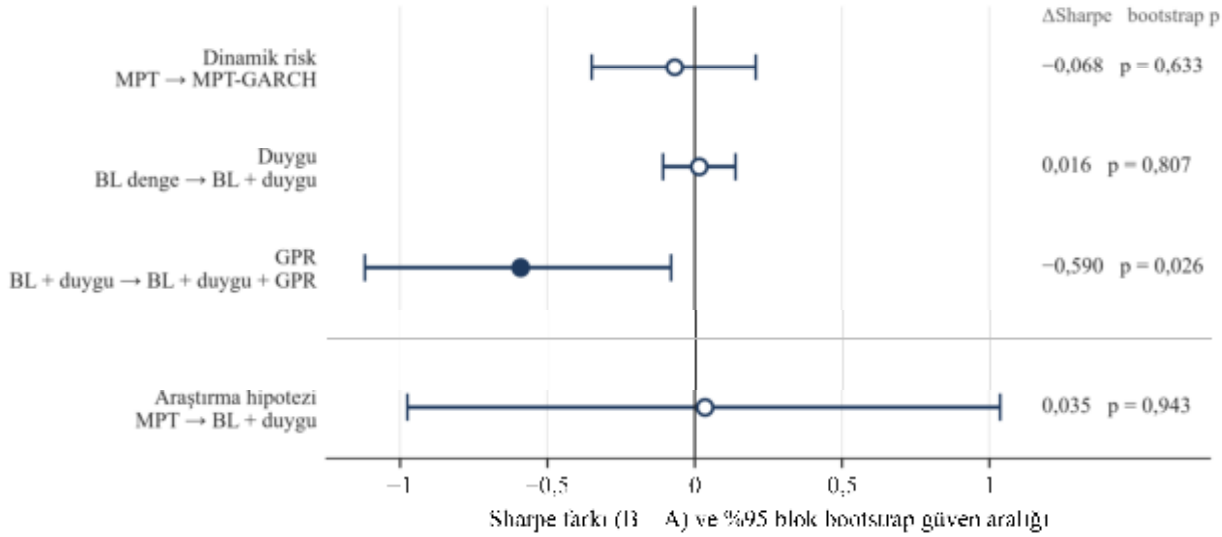
Katman Katkı Analizi

Bu bölümde, portföy stratejilerine eklenen bilgi katmanlarının (dinamik risk, duygu ve GPR) performans üzerindeki marjinal katkıları değerlendirilmektedir. Katman bazında Sharpe, Sortino, maksimum düşüş ve devir farklarını içeren karşılaştırmalı analiz sonuçları Tablo 10'da, bilgi katmanlarının Sharpe farkına katkısı ve bootstrap güven aralıkları ise Şekil 6'da sunulmaktadır. Tablonun son satırı, çalışmanın temel hipotezini doğrudan sınamaktadır: duygu bilgisi ve GJR-GARCH/DCC kovaryansıyla kurulan BL portföyünün, klasik ortalama-varyans portföyüne göre daha yüksek risk-ayarlı performans (Sharpe, Sortino) ve daha düşük aşağı yönlü risk (maksimum düşüş) sağlaması beklenmektedir (Tablo 10).

Tablo 10. Katman bazında Sharpe, Sortino, maksimum düşüş ve devir farkları

Karşılaştırma	**Sharpe farkı**	**%95 GA (bootstrap)**	**Bootstrap *p***	**JK *p***	**Sortino farkı**	**Maks. düşüş farkı (yp)**	**Devir farkı**
Dinamik risk: MPT → MPT-GARCH	−0.0677	[−0.349; 0.208]	0.633	0.765	0.1056	−0.11	0.043
Duygu: BL denge → BL + duygu	0.0155	[−0.107; 0.139]	0.807	0.795	0.0270	0.05	0.149
GPR: BL + duygu → BL + duygu + GPR	−0.5900	[−1.119; −0.080]	0.026	0.031	−1.1073	−0.43	0.245
1/N → MPT	−0.0195	[−1.025; 0.977]	0.969	0.969	0.0877	1.30	0.070
1/N → MPT-GARCH	−0.0872	[−1.084; 0.917]	0.858	0.865	0.1933	1.19	0.114
1/N → BL + duygu + GPR	−0.5745	[−1.089; −0.061]	0.029	0.039	−1.0803	−0.38	0.394
Hipotez: MPT → BL + duygu	0.0350	[−0.975; 1.037]	0.943	0.944	−0.0606	−1.25	0.079

Not:Farklar B − A olarak hesaplanmıştır; "→" işaretinin solundaki strateji A, sağındaki B'dir. Pozitif Sharpe ve Sortino farkı B'nin risk-ayarlı performansının daha yüksek. pozitif maksimum düşüş farkı B'nin maksimum düşüşünün daha sığ, pozitif devir farkı B'nin yeniden dengeleme başına daha fazla işlem yaptığının göstergesidir (yp: yüzde puan). İlk üç satırda çiftler yalnızca tek bir bileşende farklılaşmaktadır. BL denge eşit ağırlıklı portföyle (1/N) aynı olduğundan ikinci satır, BL + duygu ile 1/N karşılaştırmasını da vermektedir. Bootstrap p ve JK p. Sharpe farkının sıfıra eşit olduğu hipotezi için iki yönlü p değerleridir; bootstrap eşleştirilmiş dairesel blok yöntemiyle (10000 tekrar, blok uzunluğu 8). JK ise Memmel düzeltmeli Jobson–Korkie testiyle hesaplanmıştır. Güven aralığının sıfırı kapsaması, farkın %5 anlam düzeyinde anlamlı olmadığını gösterir. Bonferroni düzeltmeli eşik ($\alpha = 0.0167$) *yalnızca ilk üç satıra uygulanmıştır. Sortino, maksimum düşüş ve devir farkları istatistiksel olarak sınanmamıştır.*



Şekil 6. Bilgi katmanlarının Sharpe farkına katkısı ve %95 blok bootstrap güven aralıkları

Not: Buradaki sağdaki sütunlar Sharpe farkını ve bootstrap p değerleri göstermektedir.

Tablo 10 ve Şekil 6'ya bakıldığında, dinamik risk modeli ($MPT \rightarrow MPT-GARCH$) yıllık getiriyi 9.75, volatiliteyi 3.28 yüzde puan artırmıştır. Ancak Sharpe farkı (-0.0677) anlamlı bulunmamıştır. Dolayısıyla dinamik risk modeli portföyün risk yapısını değiştirmiş, fakat Sharpe üstünlüğü sağlamamıştır.
Duygu katmanı ($BL\ denge \rightarrow BL + duygu$) Sharpe oranını 0.0155 artırmıştır. Ancak bu fark anlamlı değildir. Katman devir hızını 0.059'dan 0.208'e yükseltmiş ancak portföy getirisinin eşit ağırlıklı portföyle korelasyonu 0.997 düzeyinde kalmıştır. Dolayısıyla duygu katmanı portföy ağırlıklarını değiştirmiş, fakat risk-ayarlı performansı anlamlı biçimde etkilememiştir.
GPR kanalının eklenmesi ($BL + duygu \rightarrow BL + duygu + GPR$) Sharpe oranını 0.5900 düşürmüştür. Önceden belirlenen tek hipotez olarak değerlendirildiğinde bu fark %5 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır. Üç katman karşılaştırmasına Bonferroni düzeltmesi uygulandığında ise anlamlılık korunmamaktadır ($\alpha^* = 0.0167$); bu nedenle bulgu ihtiyatla yorumlanmalıdır. İncelenen dönem ve model yapısı altında GPR kanalı Sharpe oranında düşüşle ilişkilidir.
Dinamik risk ve duygu katmanlarının güven aralıkları sıfırı kapsamaktadır; bu katmanların Sharpe oranına katkısı ayırt edilememektedir. GPR kanalının aralığı ise sıfırın altında kalmakta, ancak bu fark Bonferroni düzeltmesinden sonra anlamlılığını yitirmektedir. Araştırma hipotezine karşılık gelen karşılaştırmada aralık oldukça geniştir; bu durum testin gücünün sınırlı olduğunu ve sonucun etkinin yokluğu olarak yorumlanmaması gerektiğini göstermektedir.

δ Sağlamlık Analizi

Bu alt bölümde, riskten kaçınma katsayısının (δ) eşit ağırlıklı endeksin geçmiş getirilerinden hesaplanıp 1 ile 5 arasına sınırlandırıldığı alternatif bir spesifikasyon test edilmektedir. Sabit $\delta = 2.5$ varsayımı ile veriden hesaplanan δ spesifikasyonuna ait bulguların karşılaştırması Tablo 11'de sunulmaktadır.

Tablo 11. $\delta = 2.5$ ve veriden hesaplanan δ analizlerinin karşılaştırması

Bulgu	$\boldsymbol{\delta = 2.5}$	**Hesaplanan δ (1–5 arası)**	**Durum**	**Sınıfı**
Duygu ΔSharpe (bootstrap p)	+0.016 (0.807)	0.010 (0.948)	Korunuyor (anlamsız)	Sağlam
Duygu izleme hatası (%) / ΔDevir	1.8 / 0.15	4.2 / 0.39	Yön korunuyor. büyüklük değişiyor	δ'ya koşullu
Dinamik risk ΔSharpe (bootstrap p)	−0.068 (0.633)	−0.049 (0.647)	Korunuyor (anlamsız)	Sağlam
GPR ΔSharpe (JK p)	−0.590 (0.031)	−0.914 (0.010)	Korunuyor(anlamlı)	Sağlam
GPR. Bonferroni (α* = 0.0167)	Karşılamıyor	Karşılıyor	Test çerçevesine duyarlı	Koşullu
Hipotez: BL + duygu vs MPT. ΔSharpe (bootstrap p)	0.035 (0.943)	0.069 (0.892)	Korunuyor (anlamsız)	Sağlam
Hipotez: BL + duygu vs MPT. ΔSortino / ΔMDD (yp)	−0.061 / −1.25	−0.118 / −1.44	Korunuyor (BL + duygu aleyhine)	Sağlam
1/N'i anlamlı geçen strateji	Yok	Yok	Korunuyor	Sağlam
Sharpe sırası: BL + duygu 1., BL + duygu + GPR 5.	Evet	Evet	Korunuyor	Sağlam
Duygu ΔMDD (yp)	0.05	−0.07	Korunmuyor (yön değişiyor)	δ'ya koşullu
Dinamik risk ΔSortino	0.1056	−0.0199	Korunmuyor (yön değişiyor)	δ'ya koşullu
Dinamik risk ΔMDD (yp)	−0.11	−1.13	Yön korunuyor. büyüklük değişiyor	δ'ya koşullu

Not: Veriden hesaplanan δ analizinde δ, eşit ağırlıklı endeksin geçmiş getirilerinden hesaplanmış ve 1 *ile* 5 *arasına sınırlandırılmıştır; diğer girdiler iki analizde aynıdır. Farklar* $B - A$ *olarak hesaplanmıştır (Tablo* 10*). Parantez içindeki değerler, Sharpe farkının sıfıra eşit olduğu hipotezi için iki yönlü p değerleridir (bootstrap p: eşleştirilmiş dairesel blok bootstrap; JK p: Memmel düzeltmeli Jobson–Korkie testi). İzleme hatası, iki stratejinin günlük getiri farkının yıllıklandırılmış standart sapmasıdır; maksimum düşüş farkı yüzde puan (yp) cinsindendir ve pozitif değer B'nin maksimum düşüşünün daha sığ olduğunu gösterir.* $\alpha = 0.0167$*. üç katman karşılaştırması için Bonferroni düzeltmeli anlamlılık düzeyidir. "Sağlam": Bulgu iki analizde aynı yönde ve aynı anlamlılık düzeyindedir; "δ'ya koşullu": Yön ya da büyüklük δ seçimine göre değişir; "Koşullu": Sonuç test çerçevesine bağlıdır.*

Tablo 11'e bakıldığında, veriden hesaplanan δ spesifikasyonunda da en yüksek Sharpe oranı BL + duygu portföyünde (2.4375) elde edilmiştir. Bu spesifikasyonda hiçbir strateji tüm ölçütlerde öne çıkmamaktadır: en yüksek yıllık getiri MPT-GARCH'ta (%88.46), en düşük volatilite BL + duygu portföyünde (%22.46), en sığ maksimum düşüş ise MPT'dedir (−%14.81).

Duygu katmanının katkısı 0.0099 olup anlamlı değildir. Dinamik risk katmanının Sharpe farkı olan -0.0493'te anlamlı bulunmamıştır. GPR kanalının eklenmesi Sharpe oranını 0.9138 düşürmüştür ($JK\ p = 0.010$; $bootstrap\ p = 0.015$; %95 güven aralığı $[-1.673; -0.206]$) ve bu spesifikasyonda p değeri Bonferroni eşiğinin altında kalmaktadır. Ancak sağlamlık koşusu aynı hipotezi ikinci bir spesifikasyonla yeniden sınadığından, bu durum bulgunun güçlendiği biçiminde yorumlanmamalıdır; GPR bulgusunun anlamlılığı test çerçevesine ve δ seçimine bağlıdır. GPR kanalı, yıllık getiriyi %77.35 'ten %51.00 'e düşürmüş, volatiliteyi %22.46'dan %25.90'a yükseltmiştir.

Çalışmanın ana sonuçları iki δ spesifikasyonunda da aynı yönde kalmaktadır. Duygu katmanının, dinamik risk katmanının ve araştırma hipotezine karşılık gelen karşılaştırmanın Sharpe farkları iki analizde de anlamsızdır; hiçbir strateji eşit ağırlıklı portföye göre anlamlı bir üstünlük göstermemekte ve Sharpe sıralaması ($BL + duygu$ birinci, $BL + duygu + GPR$ beşinci) değişmemektedir. GPR kanalının Sharpe oranıyla olumsuz ilişkisi de iki analizde korunmakta, veriden hesaplanan δ 'da fark büyümektedir (-0.590'dan -0.914'e). Ancak bu farkın Bonferroni düzeltmesinden sonra anlamlı olması yalnızca veriden hesaplanan δ analizinde gerçekleştiğinden, GPR bulgusunun anlamlılığı test çerçevesine ve δ seçimine bağlıdır.

Buna karşılık ikincil sonuçlar δ'ya duyarlıdır: duygu katmanının maksimum düşüşe etkisi ile dinamik risk katmanının Sortino etkisinin yönü değişmekte, duygu katmanının eşit ağırlıklı portföyden sapması (izleme hatası %1.8'den %4.2'ye, devir farkı 0.15'ten 0.39'a) ve dinamik risk katmanının maksimum düşüş etkisi ise yön korunmakla birlikte belirgin biçimde büyümektedir. Bu nedenle ikincil sonuçlar sağlam bulgular olarak yorumlanmamalıdır.

Model Duyarlılığı ve Risk Tahmini Testleri

Ana analizlerin üç temel boyutu, önceden belirlenen bir protokolle ayrıca sınanmıştır: LSTM'in portföy katkısı, BL modelinin görüş ölçeği (λ) ve belirsizlik ölçeği (τ) parametrelerine duyarlılık ve risk modelinin tahmin doğruluğu. Tüm testler ana koşunun ayarlarıyla yürütülmüş ve sonuçlar Tablo $12-15$'te sunulmuştur.

LSTM'in portföy katkısı, duygu skoru yalnızca FinBERT'ten alındığında oluşturulan $BL + duygu$ portföyünde skor kaynağının etkisini ölçen ablasyon analizleri, duygu modelinin farklı makine öğrenmesi bileşenlerinin performans katkısını yansıtmaktadır. Bunun sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 12'de sunulmuştur.

Tablo 12. Duygu modeli ablasyonu: BL + duygu portföyünde skor kaynağına göre Sharpe farkları

Karşılaştırma	ΔSharpe	%95 GA	Bootstrap p	Korelasyon
FinBERT → Birleşik (birincil)	−0.0074	[−0.043; 0.030]	0.684	0.9997
LSTM → Birleşik	0.0147	[−0.038; 0.070]	0.593	0.9994
BL denge → Birleşik	0.0155	[−0.108; 0.138]	0.802	0.9971
BL denge → FinBERT	0.0229	[−0.126; 0.171]	0.755	0.9957
BL denge → LSTM	0.0008	[−0.097; 0.095]	0.988	0.9982

Not: Farklar $B - A$ olarak hesaplanmıştır. FinBERT, LSTM ve Birleşik. BL + duygu portföyünde kullanılan duygu skorunun kaynağını gösterir; Birleşik skor, FinBERT ve LSTM olasılıklarının 0.6/0.4 ağırlıklı birleşimidir. Birincil karşılaştırma FinBERT → Birleşik'tir. Korelasyon. iki portföyün günlük getirileri arasındaki korelasyondur. Bootstrap örnekleri bu analiz için ayrıca çekildiğinden. BL denge → Birleşik satırının p değeri ve güven aralığı Tablo 10'daki aynı karşılaştırmadan küçük farklılık göstermiştir.

Tablo 12'ye bakıldığında, duygu skoru yalnızca FinBERT'ten alındığında $BL + duygu$ portföyünün Sharpe oranı 2.4506, FinBERT ve LSTM'in birleşik skoruyla 2.4432'dir. LSTM'in eklenmesinin etkisi sadece (-0.0074) ve anlamlı değildir. İki portföy birbirine çok yakın olduğundan yaklaşık 0.05 puanlık bir Sharpe farkı %80 güçle saptayabilecek duyarlılıktadır. Dolayısıyla LSTM skorları zamansal olarak tam bağımsız olmasa da LSTM'in portföy düzeyinde ayırt edilebilir bir katkısı gözlenmemiştir.
Parametre duyarlılığı (λ ve τ), BL modelinin temel parametreleri olan görüş ölçeği ve belirsizlik ölçeği için gerçekleştirilen duyarlılık testleri, stratejinin ana koşu dışındaki parametre aralıklarındaki sağlamlığını sınamaktadır. Bu sınamaya ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 13'te sunulmuştur.

Tablo 13. λ ve τ parametrelerine duyarlılık: BL + duygu portföyü

λ	τ	Sharpe	Sharpe farkı	Bootstrap p	Devir	1/N korelasyonu	BL + duygu + GPR Sharpe
0.25	0.025	2.4380	0.0103	0.737	0.123	0.9993	2.0387
0.25	0.050	2.4356	0.0079	0.798	0.122	0.9992	1.8504
0.25	0.100	2.4304	0.0027	0.937	0.127	0.9991	1.7231
0.50	0.025	2.4456	0.0179	0.769	0.212	0.9970	2.0444
0.50	0.050	2.4432	0.0155	0.799	0.208	0.9971	1.8531
0.50	0.100	2.4382	0.0106	0.862	0.204	0.9971	1.7247
1.00	0.025	2.4445	0.0168	0.893	0.388	0.9884	2.0449
1.00	0.050	2.4440	0.0163	0.897	0.380	0.9887	1.8651
1.00	0.100	2.4417	0.0141	0.905	0.368	0.9892	1.7308
2.00	0.025	2.4544	0.0267	0.891	0.656	0.9683	2.1160
2.00	0.050	2.4500	0.0223	0.908	0.649	0.9686	1.9365
2.00	0.100	2.4405	0.0128	0.948	0.637	0.9693	1.7783

Not: $\delta = 2.5$ analizinde kullanılan parametreleri gösterir ($\lambda = 0.5$; $\tau = 0.05$). Sharpe farkı, $BL + duygu$ ile BL denge portföyü arasındaki farktır. Bootstrap p, iki yönlü p değeridir; Bonferroni eşiği $0.05/12 = 0.0042$'dir. Bootstrap örnekleri ayrıca çekildiğinden kalın satırın p değeri Tablo 10'daki değerlerden küçük farklılık göstermiştir.

Tablo 13'e bakıldığında, duygu katmanının Sharpe farkı 12 parametre kombinasyonunun hiçbirinde anlamlı bulunmamıştır. λ arttıkça portföy eşit ağırlıktan daha fazla uzaklaşmakta, devir 0.12'den 0.66'ya yükselmekte ve $1/N$ ile getiri korelasyonu 0.999'dan 0.968'e inmektedir; ancak bu sapma Sharpe farkını anlamlı kılmamaktadır. Dolayısıyla duygu katmanına ilişkin sonuç, incelenen parametre aralığında görüş ölçeğinden ve belirsizlik ölçeğinden bağımsızdır. $BL + duygu + GPR$'nin Sharpe oranı ise τ'ya duyarlıdır: her λ düzeyinde τ arttıkça düşmekte $(1.72 - 2.12)$ ve tüm hücrelerde $BL + duygu$ portföyünün altında kalmaktadır.
Risk modelinin tahmin doğruluğu, dinamik volatilite modelinin tahmin yeteneği, bir adım önde volatilite öngörülerine ait QLIKE kaybı ve Diebold–Mariano testleriyle değerlendirilmiştir. Teste ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 14'te sunulmuştur.

Tablo 14. Bir adım önde volatilite öngörülerinin QLIKE kaybı ve Diebold–Mariano p değerleri

Hisse	**GJR-GARCH**	**Örneklem**	**EWMA**	***p* (örneklem)**	***p* (EWMA)**
AAPL	1.707	1.837	1.728	0.048	0.488
AMZN	2.364	2.521	2.368	0.021	0.905
GOOGL	2.313	2.299	2.379	0.842	0.191
META	2.901	3.038	3.073	0.543	0.144
MSFT	1.730	1.888	1.740	0.000	0.718
NVDA	3.532	3.397	3.479	0.500	0.333
TSLA	3.541	3.539	3.565	0.968	0.632
WMT	1.287	1.280	1.321	0.957	0.682

Not: GJR-rakip modele göre elde edilmişir. Ayrıca, QLIKE kaybı küçük olduğunda tahmin daha doğrudur. Bu kayıp, bir gün sonrası volatilite öngörüsüne karşı günlük kare getiriler kullanılarak hesaplanmıştır. p *değerleri, GJR-GARCH ile rakip yöntem arasındaki kayıp farkı için Diebold–Mariano testinden elde edilmiştir (iki yönlü). EWMA'nın azalma katsayısı* $0.94'$*tür. Bonferroni eşiği* $0.05/16 = 0.0031'$*dir.*

Tablo 14'e bakıldığında, GJR-GARCH'ın örneklem varyansına göre üstünlüğü hisselere eşit dağılmamaktadır. GJR-GARCH; AAPL, AMZN, META ve MSFT'de daha düşük, GOOGL, NVDA, TSLA ve WMT'de daha yüksek kayıp üretmiştir; TSLA ve WMT'de fark pratikte sıfırdır. Ham p değerlerine göre fark yalnızca AAPL, AMZN ve MSFT'de %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı görünmekle birlikte, 16 testlik çoklu karşılaştırma problemi nedeniyle uygulanan Bonferroni düzeltmesi sonrasında, bu anlamlılık yalnızca MSFT'de korunmaktadır. EWMA ile kıyaslandığında GJR-GARCH sekiz hissenin yedisinde (NVDA hariç) biraz daha düşük kayıp vermekte, ancak farkların hiçbiri Bonferroni eşiği de dahil olmak üzere anlamlı bulunmamaktadır (en küçük $p = 0.144$). Dolayısıyla dinamik volatilite modeli, bu örneklemde EWMA veya standart varyansla karşılaştırıldığında ayırt edilebilir bir tahmin üstünlüğü göstermemektedir. Bu sonuç, dinamik kovaryansın portföy düzeyinde Sharpe üstünlüğü sağlamamasıyla tam bir tutarlılık sergilemektedir.
Risk modellerinin portföy düzeyindeki geçerliliği ise parametrik normal VaR (Riske Maruz Değer) geri testleriyle değerlendirilmiştir. Teste ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 15'te sunulmuştur.

Tablo 15. Portföy VaR geri testi

Portföy	Kovaryans	Güven	İhlal / beklenen	Kupiec p	Christoffersen p (koşullu)
BL + duygu	DCC	%95	14 / 21.2	0.090	0.049
BL + duygu	DCC	%99	3 / 4.2	0.526	0.801
BL + duygu	Örneklem	%95	4 / 21.2	0.000	0.000
BL + duygu	Örneklem	%99	1 / 4.2	0.058	0.165
BL + duygu	EWMA	%95	16 / 21.2	0.231	0.158
BL + duygu	EWMA	%99	6 / 4.2	0.416	0.659
MPT-GARCH	DCC	%95	12 / 21.2	0.027	0.061
MPT-GARCH	DCC	%99	3 / 4.2	0.526	0.801
MPT-GARCH	Örneklem	%95	6 / 21.2	0.000	0.000
MPT-GARCH	Örneklem	%99	1 / 4.2	0.058	0.165
MPT-GARCH	EWMA	%95	14 / 21.2	0.090	0.184
MPT-GARCH	EWMA	%99	4 / 4.2	0.910	0.956

Not: VaR, bir günlük ufukta ve parametrik normal dağılım varsayımıyla. ilgili kovaryans matrisinden hesaplanmıştır. Geri test $BL + duygu$ ve $MPT - GARCH$ portföyleri için yapılmıştır. DCC: $GJR - GARCH$ varyansları ve DCC korelasyonlarıyla kurulan kovaryans; Örneklem: örneklem kovaryansı; $EWMA$: üstel ağırlıklı kovaryans. Beklenen ihlal sayısı, gözlem sayısı ile ihlal olasılığının çarpımıdır. Kupiec testi ihlal oranını, Christoffersen koşullu testi ihlal oranıyla birlikte ihlallerin bağımsızlığını sınar. $p < 0.05$, modelin reddedildiğini gösterir; çoklu karşılaştırma düzeltmesi uygulanmamıştır.

Tablo 15'e bakıldığında. %95 güven düzeyinde örneklem kovaryansı her iki portföyde de beklenenden çok daha az ihlal üretmiş (21.2 beklenen ihlale karşılık 4 ve 6) ve tüm testlerde reddedilmiştir; yani riski belirgin biçimde yüksek tahmin etmiştir. DCC kovaryansı da beklenenden az ihlal üretmiştir (14 ve 12). İki testte sınırda reddedilmiştir ($BL + duygu$ portföyünde koşullu testte $p = 0.049$, $MPT - GARCH$ portföyünde Kupiec testinde $p = 0.027$). Ancak p değerinden yalnızca ikisinin 0.05 'in altında kalması şansla da beklenebileceğinden, bu ret sonuçları zayıf kanıt olarak yorumlanmalıdır. EWMA kovaryansı ise tüm testleri geçmiştir. %99 düzeyinde üç yaklaşım da testleri geçmiştir (en düşük $p = 0.058$). Dolayısıyla dinamik risk modeli, VaR açısından basit yöntemlerden ayırt edilebilir biçimde daha iyi değildir ve %95 düzeyinde riski yüksek tahmin etme eğilimindedir. Bu sonuç, volatilite tahmininde GJR-GARCH ile EWMA arasında anlamlı fark bulunmamasıyla tutarlıdır.

SONUÇ

Bu çalışmada. FinBERT (ve tamamlayıcı bir LSTM) ile finansal metinlerden elde edilen duygu bilgisinin. GJR-GARCH ve DCC ile modellenen zamanla değişen risk yapısının ve jeopolitik risk göstergesinin Black-Litterman çerçevesinde portföy kararlarına katkısı, sekiz büyük ABD hissesi ve $27.12.2021 - 05.09.2024$ dönemi için walk-forward tasarımıyla örneklem-dışı olarak incelenmiştir. Ana koşudaki riskten kaçınma katsayısı, jeopolitik risk kanalının aktarım kuralı ve varlık bazındaki tahmin modellerinin hiperparametreleri, performans sonuçları incelenmeden önce belirlenmiştir.

Oluşturulan Piyasa Duyarlılık Endeksi (MSI), ertesi gün getirisinin tahminine anlamlı bir katkı sağlamamıştır: panel LASSO analizinde MSI hiçbir yeniden tahminde seçilmemiş, varlık bazında ise MSI ve GPR'nin birlikte eklenmesi (L2) çoğu hissede RMSE sıralamasında öndedir ($L2 \rightarrow L1 \rightarrow L0$ yönünde azalan hata eğilimi); ancak bu sıralama avantajı istatistiksel olarak anlamlı bir tahmin üstünlüğe ulaşacak kadar bir büyüklük anlamına gelmese de daha dengeli bir model elde edilmiştir. XGBoost gibi esnek modellerin daha yüksek hata üretmektedir.

Portföy düzeyinde duygu görüşleri ağırlıkları ve devir hızını değiştirmiş, ancak risk-ayarlı performansı anlamlı biçimde etkilememiştir; duygu destekli BL portföyü ile eşit ağırlıklı portföy arasındaki Sharpe fark anlamlı değildir. Araştırma hipotezine karşılık gelen $BL + duygu$ ve MPT karşılaştırmasında da Sharpe farkı anlamlı değildir; $BL + duygu$'nun Sortino oranı daha düşük, maksimum düşüşü daha derindir ve bu sonuçların yönü alternatif δ spesifikasyonunda da korunmuştur. GJR-GARCH ve DCC ile kurulan kovaryans MPT portföyünün risk yapısını değiştirmiş, ancak Sharpe oranında anlamlı bir üstünlük sağlamamıştır; aşağı yönlü risk ölçütlerindeki etkisi δ seçimine duyarlıdır. GJR-GARCH'ın volatilite tahmini basit yöntemlerle benzer doğruluktadır. DCC korelasyonları 21 yeniden tahminin 8'inde neredeyse sabit kalmış ve %95 VaR düzeyinde DCC kovaryansı riski yüksek tahmin etmiştir.

GPR kanalının eklenmesi ise bireysel hata metriklerinde (RMSE) ufak bir marjinal iyileşme sinyali verse bile, Black-Litterman optimizasyonuna dahil edildiğinde Sharpe oranını düşürerek daha dengeli hale getirmiştir; bu fark ana koşuda Bonferroni düzeltmesinden sonra anlamlılığını korumamakta, δ sağlamlık koşusunda eşiği geçmekte, ancak anlamlılığı test çerçevesine ve δ seçimine bağlı kalmaktadır. Yani istatistiksel tahmin doğruluğundaki (RMSE) hafif kıpırtılar portföy verimliliğine (Sharpe) olumlu yansımasa da daha dengeli model oluşturduğu izlenimi vermektedir.

Bulgular, duygu endeksinin ertesi gün getirisinin tahminine ve portföy performansına anlamlı bir katkı sağlamadığını, hiçbir stratejinin eşit ağırlıklı portföye göre anlamlı bir Sharpe üstünlüğü göstermediğini ve jeopolitik risk kanalının Sharpe oranıyla olumsuz ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla yapay zekâ tabanlı bilgi katmanlarının değeri, modele eklenmeleriyle değil, basit ve güçlü ölçütlere karşı örneklem dışı sınanmalarıyla belirlenebilir. Çalışmanın katkısı, bütünleşik yapıyı bileşenlerine ayırarak her bilgi katmanının katkısını istatistiksel belirsizliği gözeten örneklem dışı karşılaştırmalarla ayrı ayrı sınaması ve desteklenmeyen beklentileri de açıkça raporlamasıdır. Bu bağlamda, elde edilen bulgular ve mevcut model kısıtları göz önüne alındığında, çalışmanın kapsamı ilerleyen aşamalarda farklı değişkenler ve alternatif bilgi katmanlarıyla genişletilebilir. Özellikle, makroekonomik ve para politikası göstergeleri, NLP tabanlı alternatif duyarlılık kaynakları, piyasa mikroyapısı ve likidite metrikleri ile tedarik zinciri stres endeksleri gibi ek risk faktörleri, Black-Litterman modelinin görüş matrisine veya doğrudan tahmin mimarilerine entegre edilebilir. Bu tür genişletmeler, farklı piyasa rejimlerinde bilgi katmanlarının öngörü ve optimizasyon güçlerinin daha kapsamlı bir perspektifle incelenmesine olanak tanıyacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2025 yılı kapsamında, 1919B012502916 numaralı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Akkerman. S. (2023). financial-tweets . Hugging Face. https://huggingface.co/datasets/StephanAkkerman/financial-tweets.

Antweiler. W.. & Frank. M. Z. (2004). Is all that talk just noise? The information content of internet stock message boards. *The Journal of Finance. 59*(3). 1259–1294.

Araci. D. (2019). FinBERT: Financial sentiment analysis with pre-trained language models. arXiv preprint arXiv:1908.10063.

Black. F.. & Litterman. R. (1992). Global portfolio optimization. *Financial Analysts Journal. 48*(5). 28–43.

Board of Governors of the Federal Reserve System. (t.y.). 3-month Treasury bill secondary market rate. discount basis (DTB3) . FRED. Federal Reserve Bank of St. Louis. https://fred.stlouisfed.org/series/DTB3.

Bollen. J.. Mao. H.. & Zeng. X. (2011). Twitter mood predicts the stock market. *Journal of Computational Science. 2*(1). 1–8.

Bollerslev. T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics. 31*(3). 307–327.

Caldara. D.. & Iacoviello. M. (2022). Measuring geopolitical risk. *American Economic Review. 112*(4). 1194–1225.

Caldara. D.. & Iacoviello. M. (t.y.). Daily geopolitical risk index (GPRD). https://www.matteoiacoviello.com/gpr.htm.

Chen. T.. & Guestrin. C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. 785–794.

Christoffersen. P. F. (1998). Evaluating interval forecasts. *International Economic Review. 39*(4). 841–862.

DeMiguel. V.. Garlappi. L.. & Uppal. R. (2009). Optimal versus naive diversification: How inefficient is the 1/N portfolio strategy? *The Review of Financial Studies. 22*(5). 1915–1953.

Devlin. J.. Chang. M. W.. Lee. K.. & Toutanova. K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *Proceedings of NAACL-HLT 2019*. 4171–4186.

Diebold. F. X.. & Mariano. R. S. (1995). Comparing predictive accuracy. *Journal of Business & Economic Statistics. 13*(3). 253–263.

Engle. R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica. 50*(4). 987–1007.

Engle, R.F. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models. *Journal of Business & Economic Statistics. 20*(3). 339–350.

Engle. R. F.. & Sheppard. K. (2001). *Theoretical and empirical properties of dynamic conditional correlation multivariate GARCH* (NBER Working Paper No. 8554). National Bureau of Economic Research.

Glosten. L. R.. Jagannathan. R.. & Runkle. D. E. (1993). On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks. *The Journal of Finance. 48*(5). 1779–1801.

Harvey. D.. Leybourne. S.. & Newbold. P. (1997). Testing the equality of prediction mean squared errors. *International Journal of Forecasting. 13*(2). 281–291.

He. G.. & Litterman. R. (1999). *The intuition behind Black-Litterman model portfolios*. Goldman Sachs Investment Management Research.

Hinton. G.. Vinyals. O.. & Dean. J. (2015). Distilling the knowledge in a neural network. arXiv preprint arXiv:1503.02531.

Hochreiter. S.. & Schmidhuber. J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation. 9*(8). 1735–1780.

Huang. A. H.. Wang. H.. & Yang. Y. (2023). FinBERT: A large language model for extracting information from financial text. *Contemporary Accounting Research. 40*(2). 806–841.

Hung. M.-C.. Hsia. P.-H.. Kuang. X.-J.. & Lin. S.-K. (2024). Intelligent portfolio construction via news sentiment analysis. *International Review of Economics & Finance. 89*. 605–617.

Idzorek. T. (2007). A step-by-step guide to the Black-Litterman model: Incorporating user-specified confidence levels. In S. Satchell (Ed.). *Forecasting expected returns in the financial markets* (pp. 17–38). Academic Press.

Jobson. J. D.. & Korkie. B. M. (1981). Performance hypothesis testing with the Sharpe and Treynor measures. *The Journal of Finance. 36*(4). 889–908.

Ke. Z. T.. Kelly. B. T.. & Xiu. D. (2019). *Predicting returns with text data* (NBER Working Paper No. 26186). National Bureau of Economic Research.

Kupiec. P. H. (1995). Techniques for verifying the accuracy of risk measurement models. *The Journal of Derivatives. 3*(2). 73–84.

Loughran. T.. & McDonald. B. (2011). When is a liability not a liability? Textual analysis. dictionaries. and 10-Ks. *The Journal of Finance. 66*(1). 35–65.

Markowitz. H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance. 7*(1). 77–91.

Memmel. C. (2003). Performance hypothesis testing with the Sharpe ratio. *Finance Letters. 1*. 21–23.

Michaud. R. O. (1989). The Markowitz optimization enigma: Is ‘optimized’ optimal? *Financial Analysts Journal. 45*(1). 31–42.

Newey. W. K.. & West. K. D. (1987). A simple. positive semi-definite. heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica. 55*(3). 703–708.

Newey. W. K.. & West. K. D. (1994). Automatic lag selection in covariance matrix estimation. *The Review of Economic Studies. 61*(4). 631–653.

Patton. A. J. (2011). Volatility forecast comparison using imperfect volatility proxies. *Journal of Econometrics. 160*(1). 246–256.

Politis. D. N.. & Romano. J. P. (1992). A circular block-resampling procedure for stationary data. In R. LePage & L. Billard (Eds.). *Exploring the limits of bootstrap* (pp. 263–270). Wiley.

ProsusAI. (t.y.). *finBERT: Financial sentiment analysis with BERT* [Yazılım]. GitHub. https://github.com/ProsusAI/finBERT

Tetlock. P. C. (2007). Giving content to investor sentiment: The role of media in the stock market. *The Journal of Finance. 62*(3). 1139–1168.

Tibshirani. R. (1996). Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological). 58*(1). 267–288.

Zeng. Q.. & Jiang. T. (2023). *Financial sentiment analysis using FinBERT with application in predicting stock movement* (arXiv preprint arXiv:2306.02136

YÜKSEKÖĞRETİM ENFLASYONUNUN İŞGÜCÜ PİYASASI VE BİREYLERİN EĞİTİM KARARLARI ÜZERİNE: SOSYOLOJİK VE İKTİSADİ BAĞLAMDA BİR İNCELEME

Beyza ŞİMŞEK
Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, İktisat
ORCID: 0009-0003-6907-6150

Eylül Sude ÖZBAYLAR
Hacettepe Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Sosyoloji
ORCID: 0009-0009-2486-224X

Arş. Gör. Dr. Furkan TÜZÜN
Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, İktisat
ORCID: 0000-0001-7431-211X

ÖZET
Bu çalışma, yükseköğretimin kitleselleşmesiyle ortaya çıkan diploma enflasyonunu ve söz konusu durumun işgücü piyasasındaki etkilerini 2000-2026 yılları arasındaki Türkiye'ye bakarak incelemektedir. Çalışmanın temel sorusu, yükseköğretimin kitleselleşmesi sonrasında yaşanan diploma enflasyonunun işgücü piyasasındaki işverenlerin işe alım kriterleriyle birlikte işgücü piyasasına girecek olan ve hâlihazırda piyasada bulunan bireylerin eğitim kararlarını nasıl etkilediğidir. Bu soruya yanıt ararken temel olarak sosyolojik boyutta Randall Collins'in diploma toplumu yaklaşımı, iktisadi boyutta ise Michael Spence'in sinyal teorisi baz alınmıştır. Çalışma; TÜİK, OECD, YÖK ve DPT verilerinin ikincil analizi ile literatür taraması sonucu ulaşılan bulguların kuramsal yorumları üzerine kuruludur. Elde edilen veriler betimsel ve karşılaştırmalı bir analizle değerlendirilmiştir. Sosyolojik ve iktisadi boyuttaki bulgular, diploma enflasyonunun işverenlerin işe alım süreçlerinde diplomanın ötesine geçen yeni eleme kriterlerine yönelmesine işaret etmektedir. Buna karşılık bireylerin lisans diplomasının tek başına yeterli olmadığına dair bir farkındalık geliştirerek lisansüstü eğitim ve ek sertifikasyon arayışlarına yöneldiği görülmektedir. Bu durumun üniversite sayısındaki hızlı artışla birlikte nitelik uyumsuzluğu, aşırı eğitimlilik, eğitimli genç işsizliği ve istihdam yetersizliği gibi sorunları beraberinde getirdiği değerlendirilmektedir. Lakin bu sürecin tüm mezunlar için aynı sonuçları doğurmadığı; avantajlı toplumsal gruplar prestijli kurumlar ve yüksek getirili programlar aracılığıyla konumlarını korurken dezavantajlı grupların niceliksel olarak artan erişime rağmen daha az prestijli kurumlarda ve daha düşük getirili programlarda yoğunlaşmakta olduğu görülmektedir. Bu tablo, diploma enflasyonunun yalnızca bireysel bir rekabet sorunu olarak kalmayıp aynı zamanda toplumsal eşitsizlikleri derinleştiren yapısal bir yeniden üretim mekanizması olarak işlediğine dair ipuçları sunmaktadır. Tüm bu sorunlara çözüm olarak kamunun yükseköğretim kurumları ve işgücü piyasası üzerinde bazı değişiklikler ve düzenlemeler yapmasının büyük ölçüde fark yaratabileceği öngörülmektedir. Çalışma, Collins'in sosyolojik çerçevesi ile Spence'in iktisadi çerçevesini aynı analizde buluşturarak diploma enflasyonunu tek disiplinli açıklamaların ötesine taşımayı, göz ardı edilen açılardan bakmayı ve literatüre bu yönde katkı sunmayı amaçlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Yükseköğretim Enflasyonu, İşgücü Piyasası, Aşırı Eğitimlilik.

THE RELATIONSHIP OF HIGHER EDUCATION INFLATION WITH LABOR MARKET AND EDUCATIONAL DECISIONS OF INDIVIDUALS: A INVESTIGATION FROM SOCIOLOGICAL AND ECONOMICAL PERSPECTIVES

ABSTRACT

This study examines diploma inflation arising from the massification of higher education and its labor market impacts, focusing on Turkey between 2000 and 2026. The central question explores how this post-massification diploma inflation affects employers' hiring criteria, alongside the educational choices of prospective and active labor market participants. To address this, the study draws on Randall Collins's credential society approach sociologically and Michael Spence's signaling theory economically.

The research relies on secondary data analysis from TÜİK, OECD, YÖK, and DPT, combined with theoretical interpretations from a literature review, evaluated through descriptive and comparative analyses.

Sociological and economic findings indicate that diploma inflation pushes employers toward new screening criteria beyond the degree itself. In turn, individuals recognize that an undergraduate degree is insufficient, turning toward graduate education and additional certifications. Coupled with the rapid rise in university numbers, this brings forth challenges such as skill mismatch, overeducation, educated youth unemployment, and underemployment. However, this process does not produce identical outcomes for all graduates. Advantaged social groups preserve their standing through prestigious institutions and high-return programs, whereas disadvantaged groups—despite expanded access—concentrate in less prestigious institutions and lower-return fields. This indicates that diploma inflation is not merely an individual competition issue, but functions as a structural reproduction mechanism deepening social inequalities.

Public policy reforms and regulations across higher education and the labor market are anticipated to make a substantial difference in addressing these problems. By integrating Collins's sociological framework with Spence's economic model, this study aims to transcend single-discipline explanations of diploma inflation, address overlooked dimensions, and contribute meaningfully to the literature.

Keywords: Higher Education Inflation, Labor Market, Overeducation.

GİRİŞ

İkinci Dünya Savaşı sonrası dönemden 1980'li yılları (Türkiye'de 1981 YÖK reformu öncesi) kapsayan tarihsel kesitte yükseköğretim diploması, kontenjanların ve mezun sayısının düşüklüğüne bağlı olarak işgücü piyasasında arz kısıtı bulunan bir eğitim belgesi niteliği taşımıştır (Devlet Planlama Teşkilatı [DPT], 1989; Yükseköğretim Kurulu [YÖK], 2003). Bu dönemde yükseköğretim mezuniyeti, doğrudan belirli mesleki unvanlara erişim sağlamış ve mezun olmayan grupların bu kadrolara girişini engelleyen kurumsal bir sınır işlevi görmüştür. Yükseköğretimin sınırlı bir kesime açık olduğu bu yapıda diploma, işverenler nezdinde bireysel niteliği doğrudan doğrulayan ana ölçüt olarak kabul edilmiştir (Trow, 1973, s. 7). Bununla birlikte 1980 sonrasında ve özellikle 2000'li yıllarda üniversite sayısının ve kontenjanlarının artırılması ile birlikte yükseköğretim mezunu iş gücü arzı hızla yükselmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2023). Arz tarafındaki bu sayısal artışın reel sektördeki nitelikli istihdam talebiyle eşleşmemesi, diplomanın işe alım süreçlerindeki ayırt edici veri değerini düşürmüş, neticesinde eğitim süresi ile elde edilen ücret getirisi arasındaki oran gerilemiş ve işgücü piyasasındaki aşırı eğitimlilik olgusu ortaya çıkmıştı.

1980 sonrasında ve özellikle 2000'li yıllarda üniversite sayısının ve kontenjanların artırılmasıyla yükseköğretim mezunu işgücü arzı hızla yükselmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2023). Arz tarafındaki bu sayısal artış, reel sektördeki nitelikli istihdam talebiyle eşleşmemiştir. Bunun sonucunda diplomanın işe alım süreçlerindeki ayırt edici değeri düşmüş, eğitim süresi ile elde edilen ücret getirisi arasındaki oran gerilemiş ve işgücü piyasasında aşırı eğitimlilik olgusu ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma, Türkiye'de 2000–2026 döneminde yükseköğretimin kitleselleşmesini ve diploma enflasyonu tartışmasını incelemektedir. Çalışmanın temel sorusu şudur: Türkiye'de yükseköğretimin genişlemesine ilişkin mevcut bulgular, diploma enflasyonunu işveren elemesi ve bireylerin eğitim kararları açısından tartışmaya ne ölçüde imkân verir? Bu soruya yanıt ararken yükseköğretimdeki genişleme süreci, net okullaşma oranları, mezunların işgücü piyasasındaki konumu ve eğitim kararları ele alınmaktadır.

Çalışmanın kapsamı 2000–2026 dönemidir. Ancak bazı göstergelerin gözlem dönemleri farklıdır: okullaşma göstergeleri 2025–2026 öğretim yılına, mezun istihdamı 2025 referans yılına, yetişkin eğitimi araştırmaları ise 2007–2022 dönemine uzanır. Araştırma, resmî istatistiklerin ikincil analizine ve seçilmiş literatürün kuramsal yorumuna dayanmaktadır. Sistematik derleme veya nedensel etki analizi değildir. Çalışmada işveren veya birey görüşmesi yapılmamıştır. Bu nedenle eğitim ve işe alım davranışlarına ilişkin açıklamalar, sınanacak kuramsal beklentiler olarak sunulmaktadır.

Çalışma sekiz bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde yükseköğretimin tarihsel gelişimi ele alınmaktadır. İkinci bölümde net okullaşma oranı ve kitleselleşme süreci incelenmektedir. Üçüncü bölümde sosyolojik bağlam, dördüncü bölümde eğitim kararları, beşinci bölümde mezunların işgücü piyasasındaki konumu, altıncı bölümde iktisadi bağlam, yedinci bölümde statü rekabeti ve eşitsizlik, sekizinci bölümde ise sonuç ve değerlendirmeler yer almaktadır.

YÜKSEKÖĞRETİM TARİHÇESİ

1933 Üniversite Reformu'yla Darülfünun'un İstanbul Üniversitesi'e dönüştürülmesi, modern Cumhuriyet'in modern üniversitelerinin kurumsal temelini atmış oldu. Reformun gerçekleştirildiği zaman zarfında Nazi Almanya'sından gelen akademisyenler İstanbul Üniversitesi'nin akademik kadrosuna yerleştirildi. Böylelikle 1933 Reformu, akademik kadroların yeniden düzenlenmesini ve yabancı bilim insanlarının katkılarını da içermiştir. Üniversitelerin bilimsel ve idari özerkliği 1946 tarihli düzenlemeyle güçlenmiştir. Bu süreçte üniversiteler kendi tüzel kişiliklerini kazanmış ve özerkliklere sahip olmuşlardır. Bir başka düzenleme olan 1981'de YÖK'ün kurulmasında ise planlama ve yönetimde merkezîleşmeyi artırmıştır. (Günay ve Günay, 2017).

20 Temmuz 1982 tarihli 41 Sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile birlikte 1981'deki 2547 Sayılı Yükseköğretim Kanunu'nda verilen üniversitelere uzaktan eğitim yapma yetkisi, Anadolu Üniversitesine verilmiş ve açıköğretim hizmetlerini yürütmekle resmen görevlendirilmiştir. Yani açıköğretim, merkezi olarak tek bir üniversiteye bağlanmış ve açıköğretim kurumsallaşmıştır. 1950'lerde Ege Üniversitesinin İzmir'de, Karadeniz Teknik Üniversitesinin Trabzon'da ve Atatürk Üniversitesinin Erzurum'da kurulması, üniversitelerin İstanbul ve Ankara dışına yayılmasını sağlamıştır 1984'te ilk vakıf üniversitesi olan İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi'nin kurulması ile birlikte yükseköğretimin halka sunuluş biçimlerini çeşitlendirmiştir.

1992 yılı, yükseköğretim kapasitesinin genişletilmesinde iki önemli eşik yaşanmıştır. İlki 3 Temmuz 1992 tarihli ve 3837 sayılı Kanunla Afyon Kocatepe, Adnan Menderes, Balıkesir, Abant İzzet Baysal, Çanakkale Onsekiz Mart, Mustafa Kemal, Kafkas, Süleyman Demirel, Kahramanmaraş Sütçü İmam, Kırıkkale, Kocaeli, Dumlupınar, Celal Bayar, Mersin, Muğla, Niğde, Sakarya, Harran, Gaziosmanpaşa ve Zonguldak Karaelmas üniversiteleri ile Gebze ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüleri olmak üzere toplam 21 yeni devlet üniversitesi ve 2 yüksek teknoloji enstitüsünün kurulmasıdır (Gürüz, 2003). İkinci eşik ise aynı yıl, 19 Kasım 1992 tarihli ve 3843 sayılı Kanunla ikinci öğretimin yasal bir çerçeveye oturtulmasıdır. Yapılan düzenleme ile ikinci öğretim isteğe bağlı ve paralı hale getirildi (Resmî Gazete, 1992). Böylelikle hem yeni kurumlar hem de ikinci öğretim yoluyla mevcut kapasitenin daha yoğun kullanımı, yükseköğretime erişimin genişletilmesinde ve kitleselleştirilmesinde etkili oldu.

Yükseköğretim tarihindeki üniversite açılması ve yükseköğretimin yaygınlaştırılmasındaki asıl eşik 2006 yılıdır. 2006 yılında yürürlüğe giren ve 2008 yılında nihai sonucuna ulaşan "Her İle Bir Üniversite" projesi ile birlikte Türkiye'nin 81 ilinin her birinde en az bir üniversite bulunur hale geldi (Tanrıkulu, 2009, s. 21). Bu genişleme eşiğinde, 2006'da 5467 sayılı Kanunla 15 üniversite, 2007'de 5662 sayılı Kanunla 17 üniversite ve 2008'de 5765 sayılı Kanunla 9 üniversite olmak üzere toplam 41 yeni devlet üniversitesi kurulmuştur (Resmî Gazete, 2006, 2007, 2008). Böylece yükseköğretimde coğrafi erişim yaygınlaşarak üniversiteler bölgesel kalkınma ve insan gücü yetiştirme beklentileriyle de ilişkilendirilerek yeni bir kimlik kazanmıştır.

2020'de pandemi, 2023'te ise depremler nedeniyle uzaktan öğretime başvurulmuş ve yükseköğretimde dijital mecraların kullanımına ilişkin yeni düzenlemeler yapılmıştır. 2020'de COVID-19 salgını nedeniyle Yükseköğretim Kurulu (YÖK), 23 Mart 2020 itibarıyla üniversitelerde dijital ortamda eğitime geçilmesine karar vermiş ve dönem sonu sınavlarının da çevrim içi veya alternatif ölçme-değerlendirme yöntemleriyle yapılmasını kararlaştırmıştır (YÖK, 2020). 2023'te ise Kahramanmaraş merkezli depremlerin ülke genelindeki etkileri nedeniyle YÖK, 2022-2023 eğitim ve öğretim yılı bahar döneminin uzaktan öğretim yoluyla tamamlanmasına karar vermiştir (YÖK, 2023). Bu kararlar, yükseköğretimde dijital mecraların kullanımını ve eğitim biçimlerine entegrasyonunu genişletmiştir.

11 Şubat 2022 tarihinde YÖK, 2022 YKS'den itibaren ön lisans ve lisans programlarını tercihte 150 ve 180 olan TYT ve AYT baraj puanları uygulamasını kaldırmıştır (YÖK, 2022). Bu düzenleme, daha fazla adayın tercih yapabilmesine imkân tanırken yerleştirme koşullarını da değiştirmiştir. Belirtmek gerekmektedir ki açık öğretimde öğrencilerin kendi istekleriyle kayıtlarını sildirebilmesi (Anadolu Üniversitesi, 2025), toplam kayıtlı öğrenci sayılarının yorumlanmasında dikkatli olunmasını gerektirmektedir.

10 Temmuz 2024 tarihinde YÖK Başkanı Erol Özvar, devlet üniversitelerindeki tüm ikinci öğretim programlarının kapatıldığını ve önümüzdeki dönemden itibaren bu programlara kontenjan tanımlanmayacağını duyurmuştur (YÖK, 2024). Mevcut öğrenciler eğitimlerine devam ederken, yaklaşık 80 bin ikinci öğretim kontenjanı bu yıl tercihlerde yer almayacaktır. Bu karar, yükseköğretim kapasitesinin istihdam odaklı yeni programlara yönlendirilmesinin bir örneğidir.

Bundan mütevellit 2000–2026 dönemi dahil olmak üzere Türkiye Cumhuriyeti'nin yükseköğretim tarihçesi; tek yönlü bir büyüme çizgisinden çok genişleme, kesintiler ve kapasite düzenlemelerinin birlikte görüldüğü bir süreçtir. (Strateji ve Bütçe Başkanlığı [SBB], 2023; YÖK, 2022, 2026). YÖK Başkanı Özvar'ın 17 Şubat 2026 tarihli açıklamasına göre, 2023-2025 döneminde toplam yükseköğretim kontenjanı 1.090.014'ten 843.547'ye düşürülmüş, yüzde 23 oranında bir azaltma yapılmıştır.

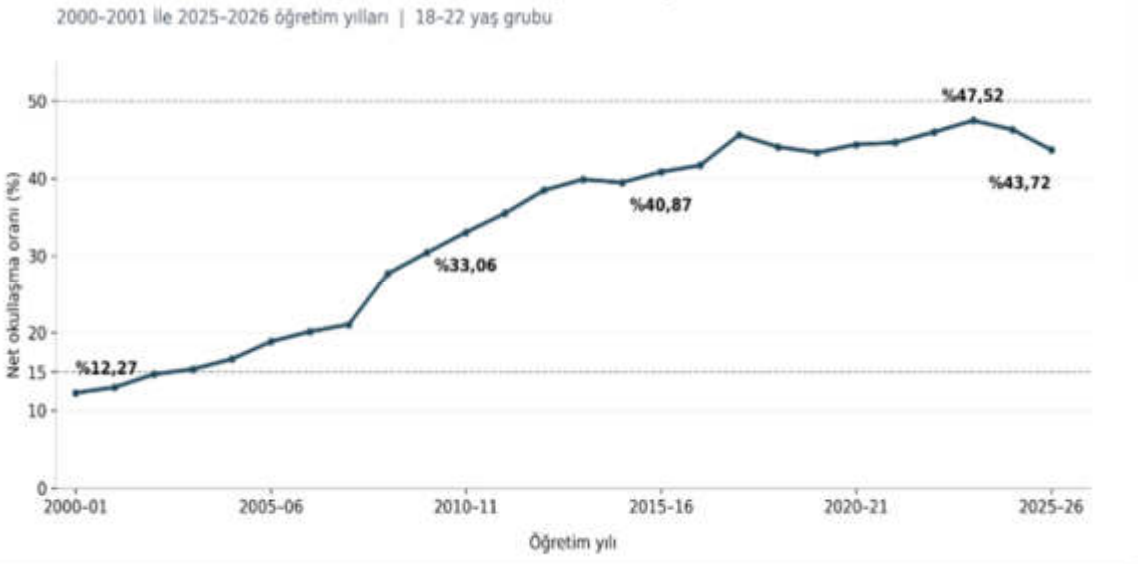
2026 yılında da bazı programlarda kontenjan azaltımına devam edileceği ve bu uygulamanın 2026'dan itibaren vakıf üniversitelerini de kapsayacağı belirtilmiştir (YÖK, 2026). Bu veriler, dönemin yalnızca genişleme değil, aynı zamanda kapasite kısıtlamaları ve yönlendirmeleriyle şekillendiğini göstermektedir.

NET OKULLAŞMA ORANI VE KİTLESELLEŞME SÜRECİ

Yükseköğretime katılımın büyüklüğünü incelemek için bu çalışmada net okullaşma oranı kullanılmaktadır. Türkiye'de yükseköğretim için tanımlanan 18–22 yaş grubunda yükseköğretime kayıtlı öğrencilerin, aynı yaş grubundaki nüfusa oranının yüzle çarpılmasıyla hesaplanan bu gösterge, çağ nüfusunun ne kadarının ilgili eğitim kademesinde bulunduğunu gösterir.

Seçilmiş öğretim yılları karşılaştırıldığında net okullaşma oranı 2000–2001'de %12,27 iken 2010–2011'de %33,06'ya, 2020–2021'de %44,41'e ve 2023–2024'te %47,52'ye yükselmiştir. Oran 2024–2025'te %46,34, 2025–2026'da ise %43,72'dir. Başlangıç ve son gözlem arasındaki artış 31,45 yüzde puandır. Buna karşılık 2023–2024 ile son gözlem arasındaki 3,80 puanlık gerileme, erişimdeki genişlemenin her yıl aynı yönde devam etmediğini göstermektedir.

Şekil 1. Seçilmiş öğretim yıllarında yükseköğretim net okullaşma oranı



Kaynak: Tablo 1'de belirtilen MEB yayınları. Yalnızca seçilmiş gözlemler gösterilmiştir; ara yıllar için değer tahmin edilmemiştir. 2020–2021 ve sonrasındaki dört gözlem MEB'in 2026 tablosundan alınmıştır. MEB'in kapsam açıklamasına göre 2016–2017'den itibaren Türkiye'de ikamet eden T.C. vatandaşları esas alınmakta, yabancı uyruklu nüfus ve öğrenciler hesap dışında tutulmaktadır. Bu kapsam değişikliği uzun dönem karşılaştırmasının bir sınırıdır.

Tablo 1: Şekil 1'de Kullanılan Net Okullaşma Verileri ve Kaynakları

Öğretim yılı	Net oran (%)	Kaynak ve konum
2000–2001	12,27	MEB (2012), Tablo 1.2, s. 1
2010–2011	33,06	MEB (2018), Tablo 1.1.a, s. 1
2020–2021	44,41	MEB (2026), Tablo 1.1.b, s. 7
2023–2024	47,52	MEB (2026), Tablo 1.1.b, s. 7
2024–2025	46,34	MEB (2026), Tablo 1.1.b, s. 7
2025–2026	43,72	MEB (2026), Tablo 1.1.b, s. 7

Bir sosyolog olan Martin Trow, yükseköğretimin tarihsel dönüşümünü üç temel aşamada açıklar: elit, kitlesel ve evrensel erişim. Bu aşamalar yalnızca sayısal katılım oranlarıyla yorumlanmaktan ziyade aynı zamanda yükseköğretimin işlevi, öğrenci profili, kurumsal yapısı ve toplumsal algısıyla da birbirinden ayrılır (Trow, 1973, 2005).

Elit aşamada yükseköğretime katılım çağ nüfusunun yaklaşık %15'ini geçmez. Bu dönemde üniversite, seçkin bir azınlığın ayrıcalığı, özerkliği olarak görülür. Yükseköğretimin temel işlevi bu noktada toplumun yönetici kadrolarını ve seçkin meslek gruplarını yetiştirmektir. Öğrenci profili büyük ölçüde üst sosyal sınıflardan gelen genç bireylerden oluşmaktadır. Kurumsal yapı küçük ölçekli, homojen ve merkezidir. Üniversiteler birbirine benzer programlar sunmaktadırlar (Trow, 1973, 2005).

Kitlesel aşamada ise katılım oranı %15 ile %50 arasına yükselir. Yükseköğretim artık bir ayrıcalıktan ziyade daha geniş kesimlerin hakkı olarak görülmeye başlanmıştır. Bu dönemde üniversite kurumu nitelikli işgücü yetiştirme ve toplumsal hareketlilik sağlama işlevi kazanır. Öğrenci profili çeşitlenir, kurumsal yapı büyür ve farklılaşır, yeni üniversiteler, açıköğretim programları ve teknik okullar ortaya çıkar. Eğitim programları daha esnek hale gelir ve mesleki yönelim güçlenir (Trow, 1973, 2005).

Son aşama olan evrensel aşamada katılım oranı %50'yi aşar. Yükseköğretim, toplumun tamamı için olağan bir beklenti ve neredeyse bir birey olarak varolabilmek için bir zorunluluk haline gelir. Yükseköğretim kurumunun temel işlevi tüm bireylere yaşam boyu öğrenme imkânı sunmak ve toplumsal katılımı artırmak olur. Öğrenci profili son derece heterojen hale gelir; farklı yaş gruplarından, sosyal sınıflardan ve etnik kökenlerden bireyler sisteme dahil olur. Kurumsal yapı son derece çeşitlenir; örgün, uzaktan, yarı zamanlı ve açıköğretim yolları bir arada bulunur. Eğitim içeriği de çeşitleşir ve bireyselleşir (Trow, 1973, 2005).

Trow'un tipolojisinde aşamalar arasındaki sınırlar mutlak değildir. Bir yükseköğretim sistemi aynı anda farklı aşamaların özelliklerini taşıyabilir. Örnek verecek olursak, seçiciliği yüksek kurumlar elit özellikler gösterirken bir yandan da kitlesel programlar ve açıköğretim yolları kitlesel veya evrensel özellikler taşıyabilir. Trow, bu geçişlerin doğrusal ve kesintisiz olmamakla birlikte her aşamanın kendi iç çelişkilerini ve gerilimlerini barındırdığını vurgular (Trow, 2005).

Türkiye bağlamında bakıldığı vakit net okullaşma oranının 2000–2001'de %12,27 iken 2025–2026'da %43,72'ye yükselmesi durumu elit aşamadan kitlesel aşamaya geçişin göstergesidir olmaktadır lakin bu geçiş, Trow'un tanımladığı gibi tek boyutlu ve sorunsuz gerçekleşmemiştir. Seçiciliği yüksek kurumlar ile kitlesel programlar arasındaki farklılaşma, kurum ve program türleri arasındaki ayrışma, bu geçişin karmaşık yapısını yansıtır. Net oranın son yıllardaki düşüşü ise genişlemenin her yıl aynı yönde ilerlemediğini gösterir.

SOSYOLOJİK BAĞLAM

Sosyolojik perspektife giriş yaparken bazı kavramların açıklanması ve ne oldukları gibi ne olmadıklarının da belirlenmesi gerekmektedir. Kitleselleşme, diplomanın toplumsal işlevini tartışmanın başlangıç noktasıdır. Collins'e göre eğitim belgeleri, beceriyi temsil etmelerinin yanı sıra statü gruplarının mesleklere ve avantajlı konumlara erişimini düzenleyen araçlardır. Collins, eğitim belgelerini lonca düzenindeki "lonca (guild) sistemi"nin çağdaş eşdeğeri olarak görür; ona göre bu belgeler, sahiplerinin başkaları üzerinde etki kurmasını ve işgücü piyasasının dalgalanmalarından korunmuş "sinecure" (rahat) mesleki konumlar elde etmesini sağlayan kültürel kaynaklardır. Statü rekabeti, farklı grupların mesleki konumlarını korumak veya iyileştirmek için eğitim belgelerini kullanmasıdır.

Collins'in yaklaşımında toplumun temel birimleri, ortak kültürleri (veya alt kültürleri) paylaşan gruplardır; bu gruplar sürekli bir zenginlik, iktidar ve prestij mücadelesi içindedir. Kültürel üyelik ise bir grubun değerleri, davranış kalıpları ve yaşam tarzına uyum sağlamayı ifade eder. Collins'e göre okulların temel işlevi, belirli statü kültürlerini (davranış biçimleri, kendini ifade etme tarzları, sözcük dağarcığı) öğretmektir; bu kültürler, bir gruba aidiyetin işaretleri olarak işlev görür. Belirli belgelerin işe giriş koşulu olarak kullanılması, mesleki erişime bir sınır çizer.

Mesleki kapanma, bir mesleğe girişi zorlaştırarak o mesleğin avantajlarını korumaya yönelik stratejilerdir. Bu kavramın kökeni Max Weber'e dayanır. Weber, sosyal kapanmayı (social closure) bir mesleğin serbest girişe karşı korunması olarak tanımlar. Weber'e göre statü grupları, piyasadaki belirli konumları tekelleştirmeye çalışır ve bu tekelleşme, yeni kazanç fırsatlarının azalmasına karşı bir önlem işlevi görür (Weber, 1968).

Frank Parkin, Weber'in sosyal kapanma kavramını yeniden ele alarak iki karşılıklı strateji tanımlar: dışlama (exclusion) ve gasp (usurpation). Dışlama, avantajlı grupların kaynakları tekeline alma ve dışarıdakileri uzak tutma stratejisidir. Gasp ise dezavantajlı grupların bu tekele karşı çıkarak kaynaklara erişim talep etme stratejisidir. Parkin'e göre gasp, dışlanmış bir grubun, dışlanma statüsüne ve bunun getirdiği kolektif deneyimlere bir yanıt olarak uyguladığı sosyal kapanma türüdür. Parkin bu iki stratejiyi "sosyal kapanma denklemi" (social closure equation) olarak adlandırır. (Parkin, 1979) Eğitim belgeleri, bu dışlama ve gasp stratejilerinin başlıca aracıdır. Bu sınırların kültürel üyelik ve statü rekabetiyle ilişkisi, diploma toplumu yaklaşımının temel sorunudur.

Collins, eğitim belgelerinin yalnızca beceri göstergesi olmadığını, aynı zamanda gruplar arası rekabette bir üstünlük aracı olarak işlev gördüğünü savunur. Pierre Bourdieu'nün yaklaşımı, bu çerçeveye farklı bir analiz düzeyi ekler. Bourdieu'ye göre eğitim sistemi, kültürel sermayeyi akademik yeterlilikler aracılığı ile kurumsallaştırarak toplumsal tabakalaşmayı yeniden üretir. Bourdieu'ye göre, soyluluk artık kan bağıyla aktarılamadığı vakit akademik sertifika egemen sınıfın tahakkümünü meşrulaştıran ve aktaran araç haline gelir. Bourdieu, eğitimi sembolik tahakkümün ta kendisi" olarak tanımlar ve eğitim, egemen sınıfın ayrıcalığını doğallaştırır ve gizler. Bu süreçte dezavantajlı gruplara dahil olan kesimler, başarısızlıklarını kendi yetenek eksikliklerine bağlar hale gelir zira Bourdieu'ye göre kültürel alanda mutlak yoksunluk, yoksunluk bilincini dışlar. (Bourdieu ve Passeron, 1977)

Bir eğitim belgesi yaygınlaştığı vakit tek başına sağladığı ayırt edicilik özelliği azalır. Collins'e göre diploma enflasyonu, arz yönlü bir süreç olarak ele alınmaktadır. Okullaşmanın genişlemesiyle birlikte sistem kendi kendini besler ve talepten bağımsız olarak ilerler. Belgeye sahip olma durumu halen daha gerekli kalırken istihdam piyasasında ayrıcalıklı konumunu sağlamak için yeterli olmaz. Bu durum, Collins'in belge enflasyonu (credential inflation) olarak adlandırdığı kısır döngüyü yaratır. İşverenler daha yüksek statüye belge talep ettikçe bireyler daha fazla eğitim alır ve gelinen son durumda herkes daha fazla eğitim aldığında ise belgenin ayırt ediciliği yeniden azalır.

Collins, bu döngünün ABD'de lise ve lisans eğitiminin genişlemesiyle ortaya çıktığını ve not enflasyonu, artan eğitim maliyetleri ve yanıltıcı iş vaatleri gibi sonuçlar doğurduğunu gösterir. Diploma enflasyonu tartışması bu göreli değişime odaklanır. Mezunlara yönelik talep de artıyorsa belge arzındaki büyüme aynı sonucu doğurmaz. Dolayısıyla kitleselleşmeden diploma enflasyonuna zorunlu bir geçiş bulunduğunu varsaymak yerine, mezun arzı ile mesleki fırsatların nasıl değiştiğini araştırmak gerekir (Collins, 2011).

Collins, belge enflasyonunun yarattığı istikrarsızlığı dengelemek için rahat mesleki konumların yaratıldığını savunur. Ayrıca Collins, tıp, hukuk ve mühendislik gibi yüksek statülü mesleklerin belgelendirme yoluyla yeni girişlere kapatıldığını gösterir. Bu mesleki kapanma, diploma enflasyonunun çalışmasını sağlayan ana motorlarından biridir. Bu ayrım, işverenlerin ek belge taleplerinin gerçekten beceriyle mi ilişkili olduğunu yoksa aday havuzunu daraltan bir eleme aracı mı olduğunu anlamak için önemlidir. Bir ek yabancı dil veya ek mesleki sertifika koşulu, işin gerektirdiği beceriyle ilişkili olabilir. Aynı koşul aynı zamanda aday havuzunu daraltan bir eleme aracı olarak da işlev görebilir. Collins'e göre işverenler yalnızca üretkenlik beklentisi aramamakla birlikte belirli bir kültürel profile uygun adayları seçerek mevcut statü hiyerarşisini korurlar.

EĞİTİM KARARLARI

Eğitim kararları, işgücü piyasasında karşılaşılan veya beklenen koşullarla ilişkilidir. İşe ilk kez girecek olan öğrenciler lisansüstü eğitim, staj veya ek yeterlilik gibi lisans diplomasının yanı sıra kendi yeterliliklerini güçlendirecek faktörlere erişim arayışına yönelebilirler. Çalışanlar ise meslekte ilerleme, iş değiştirme, becerilerini güncelleme veya işlerini koruma amacıyla yeniden eğitime katılabilmektedirler. Bazı bireyler ise eğitim maliyetleri nedeniyle öğrenimi sürdürmek yerine erken çalışmayı seçebilir. Bu nedenle belirsizlik karşısında herkesin daha fazla eğitim alacağını varsaymak tam anlamıyla doğru bir yorumlama olmayacaktır.

Türkiye'de yükseköğretime yeniden katılım için SBB'nin (2023, Tablo 2) açık öğretim verileri kullanılabilir. Mart 2023'te açık öğretimdeki 2.686.241 tekil öğrencinin 1.491.196'sı daha önce bir yükseköğretim programından mezundur. Bu kişiler, açık öğretimdeki tekil öğrencilerin yaklaşık %55,5'ini oluşturmaktadır.

Tablo 2. Yıllara göre Türkiye'de açık öğretim öğrenci sayıları

Öğretim Yılı	Açık Öğretim Öğrenci Sayısı
2013-2014	2.581.878
2014-2015	3.002.534
2015-2016	3.077.779
2016-2017	3.156.936
2017-2018	3.880.931
2018-2019	3.889.506
2019-2020	3.880.931
2020-2021	2.096.720
2021-2022	2.835.600
2022-2023	2.686.241

Kaynak: SBB (2023). On İkinci Kalkınma Planı 2024–2028: Yükseköğretim Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Tablo 4, s. 39). Ankara.

Çalışma hayatıyla eğitim arasındaki bağı daha doğrudan ele alan Kul Gelal (2025), TÜİK Yetişkin Eğitimi Araştırmalarının 2007–2022 verilerini incelemektedir. Tablo 3'deki göstergeler, işgücündeki yetişkin eğitim katılımcıları içinde işverenin sağlayıcı ve çalışma zamanı bakımından rolünü göstermektedir. Son değerler 2007'nin üzerinde olmakla birlikte ara yıllardan sonra gerilemeler de bulunduğundan, kesintisiz artıştan söz edilmemelidir.

Tablo 3. Yetişkin eğitimi katılımcıları içinde işverenle ilişkili göstergeler

Gösterge	2007	2022	Kapsam
Ücretli çalışma saatinde örgün eğitime katılım	%9,4	%18,1	Örgün yetişkin eğitimi katılımcıları
İşveren tarafından sağlanan yaygın eğitim	%33,9	%49,6	Yaygın yetişkin eğitimi katılımcıları

Kaynak: Kul Gelal (2025, Şekil 7 ve 11). Örneklem işgücündeki bireylerden oluşur; yüzdeler ilgili eğitim katılımcıları içindeki dağılımlardır. Bütün çalışanların eğitime katılma oranı olarak okunamaz.

Bu bulgular eğitim ile çalışma hayatının kesiştiğini göstermektedir, sertifika veya lisansüstü eğitime yönelmenin diploma yetersizliği algısından kaynaklandığını katılımcıların ek diploma veyahut sertifika edinme güdülerini ölçmemektedir. Ek öğrenme, mesleki beceriyi geliştirebilir ve çalışma koşullarını iyileştirebilir. Aynı zamanda kurs ücretleri, eğitim için ayrılan zaman, bakım sorumlulukları ve gelir kaybı farklı grupların seçeneklerini sınırlandırabilir. Bu nedenle çalışanların eğitim kararları, öğrencilerin ilk mesleki geçişinden ayrı koşullar içinde değerlendirilmelidir.

İKTİSADİ BAĞLAM

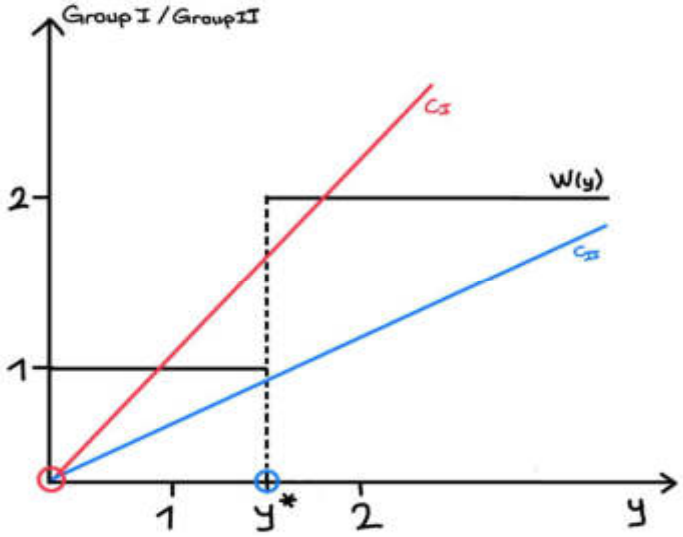
Bahsi geçen yükseköğretim enflasyonu; eğitim tercihleri, iş imkanları, işçiler ve işverenler gibi pek çok konuyu ve bireyi etkilemektedir. Bu etkileri en geniş kapsamda incelemek için işçi-işveren etkileşimlerine bakmak gerekir. İşgücü piyasasındaki işçi-işveren etkileşimlerini inceleyerek eğitim seviyesi, verimlilik, fiziksel yeterlilikler gibi farklı sinyal unsurlarını bu etkileşimlere bağlı olarak açıklayan ve modelleyen 2001 Nobel Ekonomi Ödüllü Michael Spence'in Sinyal Teorisi (Job Market Signaling), işgücü piyasasındaki etkileşimleri ve eğitimin farklı durumlarda bu etkileşimler üzerindeki etkilerini incelemek için en kapsamlı ve yol gösteren çalışmalardan biridir. Bu çalışmada da ele alınan konu iktisadi açıdan Spence'in Sinyal Teorisi bağlamında açıklanmaya çalışılacaktır.

SİNYALLER VE DENGELER

İşçi ile işveren arasındaki etkileşime dahil olup işverenin işçi hakkında fikir oluşturmasında etkili olan her türlü değiştirilebilen faktör sinyal, değiştirilemez faktör de endeks olarak tanımlanmıştır. İşveren işe alacağı işçinin verimliliği hakkında bilgi sahibi olamaz, ancak sahip olduğu sinyaller ve gözlemlediği endeksler sayesinde tahmin yürütebilir. İşveren, işçiyi işe alıp bir süre gözlemledikten sonra o işçinin verimliliği hakkında kesin bilgilere ulaşır. Sahip olduğu gerçek verilerle başlangıçtaki tahminlerini kıyaslar; hangi düşüncelerin doğru ve yanlış olduğunu görür ve o işçinin verimliliği hakkındaki fikirleri tamamen netleşmiş olur. Bu döngü birkaç kez tekrar ettikten sonra artık işveren doğrulanan inançlarına bağlı olarak bazı önyargılara sahiptir. Benzer profillerle karşılaştığında sahip olduğu önyargılarla birlikte bu kişinin verimliliği hakkında daha belirgin tahminlerde bulunarak daha net karar verecektir.

İşe alım gerçekleştikten sonra işverenin o işçi hakkındaki fikirleri kesinleşene kadar (yani deneme süreci bitene kadar) geçen sürede işveren kimin verimli kimin verimsiz olduğuna göre verimi ayırt eden (güçlü bir sinyal işlevi gösteren) beklentisi olan ortalama eğitim düzeyini ve teklif edeceği ortalama maaş miktarını da belirler. Eğitim almak zaman ve maliyet gerektiren zahmetli bir süreçtir. Verimli ve yetenekli olan kişiler için eğitim almak daha az maliyetli ve daha az masraflı olacaktır, bu nedenle onlar için karlı bir tercihtir; daha yüksek maaş için eğitim almayı tercih ederler. Verimsiz biri için durum daha farklıdır, eğitim almak daha zahmetli bir iş olduğu için ya eğitim almamayı tercih eder ya da verimsizliğini gizlemek için aşırı eğitimliliğe sürüklenir.
Spence çalışmasında aşırı eğitimlilik durumundan söz etmez, ancak eğitimin sinyal işlevini yitirdiği durumlarda aşırı eğitimliliğin veya yetersiz eğitimliliğin ortaya çıkması oldukça beklenen bir durumdur. Günümüz Türkiye'sinde aşırı eğitimlilik genç nüfusta daha yaygın tartışılan bir konu halindedir. Yapılan araştırmalardan elde edilen çıkarımlara göre yetersiz eğitimlilik kavramı çoğunlukla cinsiyet eşitsizliğine bağlı olarak ortaya çıktığı için bu çalışmada üstünde durulmamıştır. İşveren eğitime bakarak verimli ve verimsiz kişileri birbirinden ayırmak için kendi beklentilerine göre sınır eğitim seviyesi belirler. Bu eğitim seviyesine sahip olan ve olmayan kişilere verilecek maaş bellidir, sınır eğitim düzeyinden daha da fazla eğitime sahip olması ya da sınırın altında ne kadar eğitim aldığı önemsizdir. İşverenin beklentileri ve buna göre verimli ve verimsiz işçilerin tercihleri grafikle modellenmiştir (Şekil 2).

Şekil 2. Verimli ve Verimsiz Biyerlerin Eğitim Tercihleri



Kaynak: Spence (1973) içinde Figure III

Şekil 2'deki grafikte y ekseni eğitim masrafını, x ekseni de maaşları göstermektedir. W(y) maaş doğrularıdır. y* noktası işverenin belirlediği sınır eğitim düzeyini göstermektedir. Bu eğitimi alan kişilere 2 birim, almayan kişilere ise 1 birim maaş verir. Grafikteki C1 doğrusu verimsiz, C2 doğrusu verimli kişilerin eğitim maliyetlerini (cost) temsil eder. Verimli kişilerin eğitim alması daha az masraflı olduğu için C2 doğrusu y* eğitim sınırına kadar olan eksende eğitim masrafı=1 değerinin altındadır. Yani eğer 1'den az masraf yapıp eğitim alırsa maaşı 2 birime yükselir, elinde kalan net para 1 birimden fazla olacağı için kar eder ve eğitim alır. Verimsiz kişiye bakıldığında ise eğitim almak daha masraflıdır; C1 doğrusu y* eğitim sınırına kadar olan eksende eğitim masrafı=1 sınırının üstünde kalır. Yani 2 maaş almak için 1'den fazla masraf yapar ve elinde kalan net maaş 1'den azdır.

Eğer hiç eğitim almamayı tercih ederse işveren sınırı geçemeyen herkese teklif ettiği maaşı teklif eder ve 1 maaş verir. Bu nedenle eğitim almamayı tercih eder. İşçilerin bu ideal tercihleri aynı renklerde halkalarla gösterilmiştir.

İşverenin beklentisi olan sınır eğitim düzeyi, yani y*, milyonlarca farklı değer alabilir. Eğer işveren sınır eğitim düzeyi olarak çok yüksek bir değer seçerse, yani beklentisi fazla yüksekse, işçiler bu beklentiyi karşılamak ve fazla maaş almak için yüksek masrafa ve zahmete katlanmak zorundadırlar. Ve bu sürecin sonunda elde ettikleri maaş getirisi eğitim sürecinde yaptıkları masraftan daha düşük olacaktır. Bu durumda eğitim almak verimli kişiler için de verimsiz kişiler için de karlı bir tercih olmayacaktır, her iki taraf da eğitim almamayı tercih eder. Herkes tek bir tarafta toplandığı için Spence bu durumu 'havuzlanma dengesi (pooling equilibrium)' olarak adlandırır. Yeteneksiz kişiler için durum değişmezken yetenekli kişiler potansiyellerinin altında çalışmak zorunda kalır. Kimse eğitim almadığı için eğitim sinyal işlevini yitirmiştir; verimlilik konusunda ayrıştırıcı bir unsur olarak görülemez. İşverenin çok yüksek eşik değeri belirlemesinin yanında işverenin tercihlerinden bağımsız şekilde eğer mevcut toplumda eğitim almak herkes için erişimi çok zor ve çok maliyetli ise yine havuzlanma dengesi oluşacaktır.

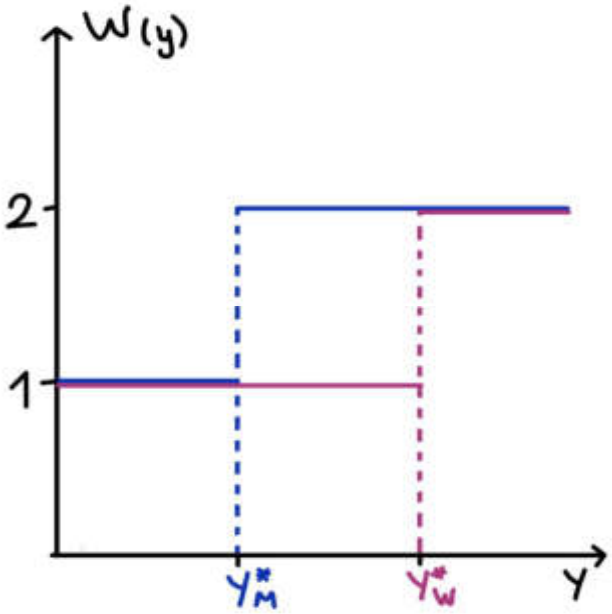
Tam tersi senaryo düşünüldüğünde, işverenin çok basit ve düşük bir eşik değer belirlediği durumda ya da toplumda eğitim almanın herkes için kolay ulaşılabilir ve maliyetsiz olduğu durumlarda ise herkes sınır seviye eğitim almayı tercih eder. Çünkü bu herkes için zahmetsiz bir süreçtir ve maaş getirisi vardır. Herkesin yine aynı tarafta toplandığı bu zıt duruma da ters havuzlanma dengesi diyebiliriz -yine pooling equilibrium tanımına dahildir-. Eğitim almamayı tercih eden kimse olmadığı için herkesin eğitim aldığı piyasada da eğitim sinyal işlevini yitirmiştir. Ters havuzlanma dengesi durumunda verimli kişiler için durum değişmezken verimsiz kişiler haksız kazanç elde etmiş olur.

Her iki durumda da eğitim sinyal işlevini yitirmiştir. Senaryolarda da görüldüğü gibi bir özelliğin sinyal kabul edilmesi için ayrıştırıcı (separating) özellik göstermesi gerekir. Ayrışma dengesi bulunmayan durumlarda sinyal etkisinden söz edilemez.

Spence, endeksler konusunun da önemine değinmiştir. Endeksler bireyin kendi isteği ile değiştiremeyeceği, doğuştan gelen ırk, cinsiyet, yaş gibi özelliklerdir. Birey bu özelliklere müdahale edemeyeceği için sinyallerden hariç tutulması gerektiği düşünülebilir ancak Spence durumun böyle olmadığını ortaya koymuştur. Kadınlar ve erkekler aynı eşit verimlilikte olsalar bile fırsat kümeleri aynı değildir. Bunun temel sebebi olarak işverenin her iki cinsiyetteki bireylerden beklentilerinin farklı olması gösterilebilir. Daha açık bir ifadeyle; işverenin gözünde bir kadının eğitim kararı yalnızca kadınların piyasa algısını etkiler, aynı şekilde bir erkeğin eğitim kararı da sadece erkeklerin piyasa algısını etkiler. Böylece her iki cinsiyet de birbirinden bağımsız iki ayrı sinyalleşme pazarı oluşturur.

Herhangi bir sebeple bir dönem kadınlar ve erkeklerin farkı eğitim kararları alması işverenlerin bir sonraki dönem sahip olacağı beklentileri ve sunacağı maaşları da farklılaştırır. Aynı verimlilikte olsalar bile işverenin kadın ve erkek işçilerden beklentisinin farklı olması her iki grubun da eğitim tercihlerini etkiler ve böylece piyasada endekslere bağlı kalıcı eşitsizlik meydana gelir. Spence, ücret ayrımcılığını yasaklayan yasaların yürürlüğe girmesi durumunda bu tür piyasa temelli eşitsizliklerin ortadan kalkacağını vurgular. Şekil 2'deki grafikte mavi renk ile erkeklerden beklenen sınır eğitim düzeyini (y^{*M}), pembe renk ile de kadınlardan beklenen sınır eğitim düzeyi (y^{*W}) örnek olarak modellenmiştir. Görüldüğü gibi kadınlardan beklenen sınır eğitim düzeyi erkeklere göre daha yüksektir.

Şekil 3. İşverenin Kadınlar ve Erkekler İçin Belirlediği Sınır Eğitim Düzeyleri



Kaynak: Spence (1973) içinde Figure V

AŞIRI EĞİTİMLİLİK VE NİTELİK UYUMSUZLUĞU

Sinyal teorisine göre işgücü piyasasında maaşların belirlenme kriteri işverenin doğrulanan inançlarına göre belirlediği sınır eğitim düzeyi idi. İşveren bu sınıra göre maaş verdiği için kişinin sınırın üzerinde eğitim almasına gerek kalmaz, bu nedenle bu modelde aşırı eğitim bir sorun sayılmamaktadır. Ancak tersine havuzlanma dengesinde diplomanın kolay ulaşılabilir olduğu durumda eğitim sinyal işlevini yitirdiği için Spence'in değinmediği yeni bir sorun ortaya çıkar: aşırı eğitimlilik sorunu (over-educated)[1]. Eğitim almak kolay ve zahmetsiz bir durum olduğu için herkes sınır eğitimi alır ancak kişiler kendilerini ayrıştıracak sinyallere ihtiyaç duyarlar, bu nedenle kendilerini eğitimli diğer insanlardan ayrıştırmak için daha fazla eğitim almaya yönelirler (ikinci üniversite diploması, sertifikalar, stajlar gibi). Normal düzeyden çok daha fazla eğitim almaları hem maddi kayba hem de zaman kaybına neden olur. Bununla birlikte genellikle yaptıkları maddi manevi harcamaların karşılığını verecek bir maaşla karşılaşmadıkları için eğitim yatırımlarından zarar ederler ya da zarar etmemek için eğitim gerektirmeyen/çok daha az eğitim gerektiren ve daha fazla gelir elde edebilecekleri hizmet sektörüne yönelirler. Bu durum "nitelik uyumsuzluğu" problemi'nin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır (Çakır ve Kellevezir, 2020).

Türkiye'de %54.01 oranıyla ücretli çalışanların yalnızca yarısından biraz fazlası nitelik uyumu barındıran işlerde çalışmaktadır (Tablo 4). Kalan nüfusun nitelik uyumsuzluğu sorunu ile karşı karşıya kaldığı görülmektedir. Bu duruma bakıldığında Türkiye'nin kendi düzeyinde benzer düzeylerdeki ülkelere kıyasla hemen hemen aynı sonuçları verdiği ancak OECD ülkelerinin verileriyle kıyaslandığında geride kaldığı görülmektedir.

[1] Bireyin aldığı eğitimle yaptığı mesleğin uyumlu olmaması anlamına gelen nitelik uyuşmazlığı kavramının bir parçasıdır. Nitelik uyuşmazlığı eğer eğitim seviyesi ile ilgili ise dikey nitelik uyuşmazlığı, eğer eğitim alanı ile ilgiliyse yatay nitelik uyuşmazlığı olarak değerlendirilir. Dikey nitelik uyuşmazlığı başlığı da aşırı eğitimlilik ve yetersiz eğitimlilik olmak üzere iki alt başlıkta incelenir. (Özkır,2025)

Yetersiz eğitimlilik konusunda ise Türkiye hem kendi düzeyinde hem de dünya genelinde daha az bir orana sahip olarak daha olumlu bir tablo çizmektedir. Bu verilerden yola çıkarak Türkiye'de aşırı eğitimlilik sorununun yetersiz eğitimlilik sorunundan daha ön planda olduğu açıktır.

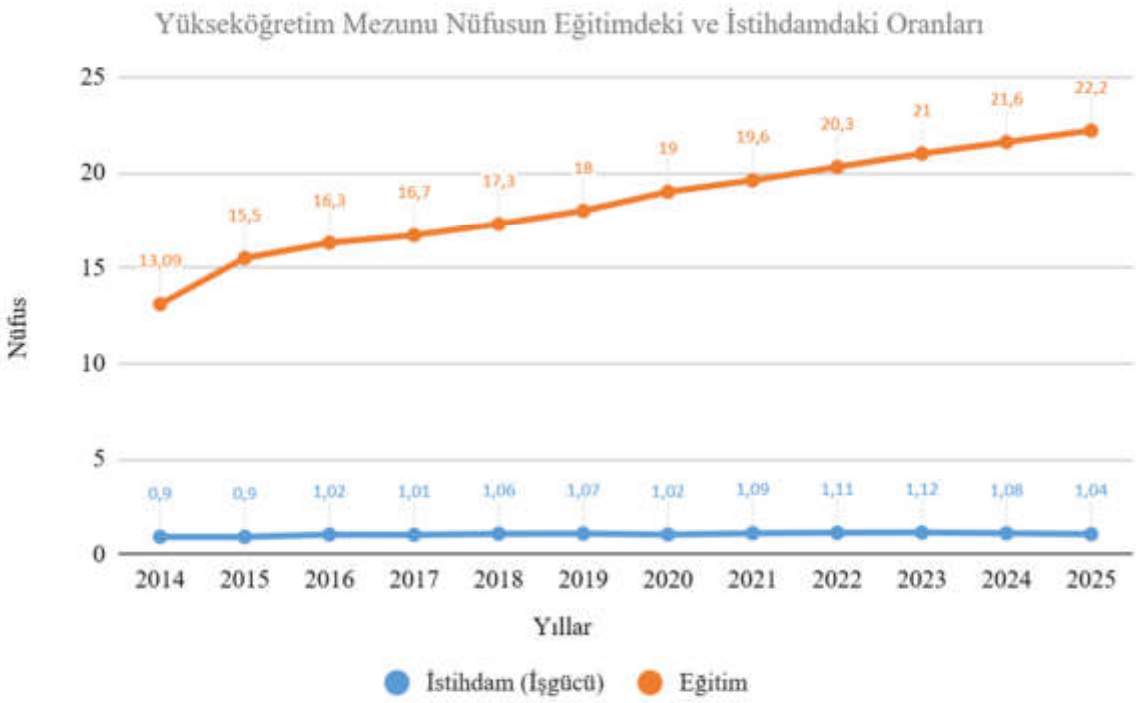
Tablo 4. Ücretli çalışanlarda nitelik uyumu göstergeleri

Birim/Ölçek	Ücretli Çalışanlarda Dikey Uyumlu Eşleşme (%)	Ücretli Çalışanlarda Aşırı Eğitimlilik (%)	Ücretli Çalışanlarda Yetersiz Eğitimlilik (%)
Türkiye	**54,01**	**23,93**	**22,06**
Yüksek Gelir Grubundaki Ülkeler	**61,35**	**22,24**	**16,41**
Orta-Üst Gelir Grubundaki Ülkeler	**54,21**	**20,05**	**25,74**
Orta-Alt Gelir Grubundaki Ülkeler	**42,89**	**17,68**	**39,44**
Düşük Gelir Grubundaki Ülkeler	**34,93**	**11,32**	**53,75**
Dünya	**50,63**	**18,82**	**30,55**
AB	**63,74**	**21,67**	**14,59**
OECD	**61,07**	**22,1**	**16,83**

Kaynak: Özkır'dan (2025, Tablo 1, ss. 285–286) uyarlanmıştır.

Aşırı eğitimlilik ve yetersiz eğitimlilik kavramları nitelik uyumsuzluğu başlığı altında incelenebilir. Bu verilere bakarak ve Türkiye'nin orta-üst gelir grubunda olan bir ülke olduğunu göz önünde bulundurarak uyumlu eşleşme konusunda kendi klasmanındaki ülkeler ile benzer durumda olduğunu söylemek mümkündür. Ancak AB ve OECD ülkeleriyle kıyaslandığında Türkiye'nin geride kaldığı görülmektedir. Türkiye'de uyumlu eşleşme oranının yüzdelik olarak yalnızca yarıdan biraz daha yüksek olması, kalan neredeyse yarıya yakın oran oluşturan kesimin niteliğine uygun olmayan işlerde istihdam ediliyor olduğunu göstermektedir. Alanına uygun olmayan işlerde çalışan bireyler ise aşırı eğitimlilik veya yetersiz eğitimlilik sorularıyla karşılaştıkları için nitelik uyumsuzluğu yaşamaktadır. Bu verilere bakarak Türkiye'nin güncel durumu Sinyal Teorisi bağlamında incelendiğinde; eğitimin sinyal işlevini yitirdiği ve bireylerin daha fazla eğitim alarak aşırı eğitimlilik sorunu ile baş başa kalıp %23,93'lük dilimi oluşturduğu söylenebilir. Bu da Türkiye'de işgücü piyasasındaki her dört kişiden birinin aşırı eğitimliliğe sürüklendiğini göstermektedir.
Şekil 4'te görünen verilere bakıldığında da nüfusun eğitim piyasasında daha yüksek oranlarla var olduğu ve bu oranların hep artarak ilerlediği görülmektedir. Bunun yanında işgücü piyasasında hep aynı oranlarda kalmış ve hatta zaman zaman düşüşler yaşanmıştır. 2025 yılı verilerine bakıldığında toplumdaki yükseköğretim mezunu bireylerin %22,2 oranına ulaştığı, buna rağmen işgücü piyasasındaki istihdam edilen yükseköğretim mezunu nüfusun sayısının hala %1.4 oranında kalması yükseköğretim enflasyonu yaşandığına işaret etmektedir.

Şekil 4: Yükseköğretim Mezunu Nüfusun Eğitimdeki ve İstihdamdaki Oranı



Kaynak: TÜİK, 2026. Turuncu: Yükseköğretim mezunu bireylerin tüm yükseköğretim mezun sayısına oranı. Mavi: İstihdamdaki yükseköğretim mezunu nüfusun toplam istihdama oranı

Yaşanan bu yükseköğretim enflasyonuna bağlı oluşan öğrenci kontenjanları ve işgücü piyasasındaki iş/pozisyon kontenjanları arasındaki büyük fark; eğitimli genç işsizliği, nitelik uyumsuzluğu, aşırı eğitimlilik, yetersiz eğitimlilik, istihdam sorunları gibi sorunların temelini oluşturmaktadır. Tüm bu sorunlar değerlendirilmek istendiğinde öncelikle ülkedeki yükseköğretim enflasyonu göz önünde bulundurularak yola çıkılmalıdır. Aksi taktirde kontrolsüzce artan öğrenci sayıları ve mezun sayılarının yanında işgücü piyasasındaki hızla artan rekabet ortamı varlığını sürdürecek, eğitim sinyal işlevi görmediği için verimsiz bireyler ile verimli bireylerin işgücü piyasasında bir arada bulunmasından kaynaklı işgücünün gittikçe aşağıya çekilmesi kaçınılmaz olacaktır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Türkiye Cumhuriyeti'nde yükseköğretim, uzun süre sınırlı sayıda kurumun ve kişinin erişebildiği seçkin bir alandı. Ancak dalgalar halinde yaşanan genişleme ile birlikte seçkin bir zümrenin okulu olmaktan çıkarak yaygınlaşan bir hakka, kitleselleşmeye dönüştürüldü. Gelinen son durumun daha iyi yorumlanması için brüt okullaşmadan ziyade net okullaşma oranına bakmak gerekmektedir. Bu gereklilik durumu brüt okullaşma oranında payda payda yükseköğretim çağındaki nüfusu, pay ise yaşına bakılmaksızın yükseköğretime kayıtlı tüm öğrencileri içermesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle açıköğretim, ikinci üniversite, uzaktan öğretim ve yaşça büyük öğrenciler nedeniyle oran yüzde yüzü aşabilir. Dolayısıyla veriler yorumlanırken net okullaşma oranını yani belirlenen yaş grubundaki bireylerin (çalışma kapsamında 18-22 olarak alınmıştır) eğitim kurumlarına kayıtlı olma oranını kullanmak gerekmektedir. Bu oran bize "yükseköğretim çağındaki gençlerin ne kadarı üniversitede" sorusunun yanıtını vermektedir.

Net okullaşma oranının 2000–2001'de %12,27 iken 2025–2026'da %43,72'ye yükselmesi, elit aşamadan kitlesel aşamaya geçişin göstergesidir. Lakin bu geçiş, Trow'un tanımladığı gibi tek boyutlu ve sorunsuz gerçekleşmemiştir, seçiciliği yüksek kurumlar ile kitlesel programlar arasındaki farklılaşma, geçişin karmaşık yapısını yansıtmaktadır. Sosyoloji perspektifinde ise Randall Collins'in diploma enflasyonu kavramında bu geçişin izlerini sürmek mümkündür. Collins'e göre eğitim belgeleri yalnızca beceriyi temsil etmez, aynı zamanda statü gruplarının mesleki konumlarını korumak için kullandığı kültürel kaynaklardır. Bir belge yaygınlaştığında tek başına sağladığı ayırt edicilik azalır. Belgeye sahip olmak gerekli kalırken istihdam piyasasında ayrıcalıklı konum sağlamak için yeterli olmaz. Bu durum, işverenlerin daha yüksek belge talep etmesi ve bireylerin daha fazla eğitim almasıyla kendini besleyen bir kısır döngü yaratır. Türkiye bağlamında bu döngünün somut yansımaları görülmektedir. Açıköğretimdeki 2.686.241 tekil öğrencinin 1.491.196'sının daha önce bir yükseköğretim programından mezun olması, bireylerin ek belge edinme yoluyla konumlarını korumaya veya iyileştirmeye çalıştığına işaret etmektedir.

Çalışmanın sadece ikincil veri ve literatür taramasına bağlı olarak betimsel ve karşılaştırmalı analiz yöntemiyle yapılması durumu, sınırlılıklarından kaynaklanan net çıkarım yapma yetisinin eksik olmasına neden olmuştur. Elde edilen veriler kuramsal çerçeveler ile yorumlanarak ilerlenmiş ve birincil veri eksikliği dolayısıyla işverenlerin ek belge taleplerinin gerçekten beceriyle mi ilişkili olduğu yoksa aday havuzunu daraltan bir eleme aracı mı olduğu kesin olarak belirlenememiştir. Aynı şekilde bireylerin ek eğitime yönelme güdüleri de doğrudan ölçülememiştir. Bu sınırlılıklara rağmen elde edilen bulgular, Türkiye'de yükseköğretimin kitleselleşmesiyle birlikte diplomanın ayırt edici değerinin azaldığını, bireylerin ek belge edinmeye yöneldiğine dair göstergeler sunmaktadır.

Gelecek araştırmalar için üç öneri sunulabilir. İlki, işverenlerin işe alım süreçlerinde hangi ölçütlere ne kadar ağırlık verdiğini belirlemek için iş ilanları ve fiilî işe alım kararları üzerine ampirik çalışmalar yapılmasıdır. İkincisi, bireylerin ek eğitime yönelme gerekçelerini anlamak için görüşme veya anket verisi toplanmasıdır. Üçüncüsü ise kurum ve program türleri arasındaki ayrışmayı izlemek için kurum düzeyinde veri analizleri yapılmasıdır. Bu tür çalışmalar, burada bir araya getirilen tarihsel ve sosyolojik açıklamaların sınanmasını sağlayacaktır. Sonuç olarak Türkiye'de yükseköğretimin kitleselleşmesi; diplomanın ayırt edici değerini azaltmış, bireyler ek belge edinmeye yönelmiştir. Bu süreç, Collins'in diploma enflasyonu kavramının Türkiye bağlamındaki geçerliliğini gösterebilmektedir.

Türkiye’nin cinsiyete göre eğitim tercihi ve işgücündeki istihdam tercihlerine bakıldığında oranlar arasında belirgin bir fark görülmektedir. Örneğin 2024 yılı verilerine baktığımızda 25 yaş üstü okuma yazma bilmeyen erkek sayısı oranı %0,1 iken, kadın sayısı oranı %5,1’dir. Yine aynı yılda lise ve dengi okul mezunu olan erkek sayısı oranı %28,2 iken kadın sayısı %19,6’dır. İşgücü piyasasına bakıldığında ise 2024 yılında toplam nüfusta işgücüne katılan erkek oranı %72 iken kadın oranı yalnızca %36,8’dir (TÜİK). Türkiye’de kadınların eğitimde ve işgücüne katılımda erkeklere göre daha geri planda kalmasının sebebi toplumda daha erkek egemen bakış açısının uzun süre kabul görmesi ve bu düşünce değişmeye başlasa bile hala tam olarak etkilerinin silinmemesi olabilir (Aşkın, 2015). Bu verilere dayanarak günümüzde hala kadınların erkeklere göre eğitim ve iş hayatında daha az var olmakta olduğu ve istihdam edilmek için daha fazla çaba göstermekte olduğu söylenebilir. 2023 yılı eğitim durumuna göre cinsiyetler arası ücret farkı oranları incelendiğinde yükseköğretim mezunları arasındaki farkın %17,4 olması da bu durumun bir göstergesidir (TÜİK).

Türkiye’de özellikle 2006 yılında başlatılmış olan ‘her ile bir üniversite’ projesinin etkisiyle yükseköğretimde okullaşma oranı bir anda artış göstermiştir. Ne var ki, yükseköğretim mezunlarında görülen nicelik artışının, nitelikli işgücüne dönüşüp dönüşmediği şüpheli kalmıştır (Küpeli ve Dağlı, 2025).

Eğitim oranını ve eğitime ulaşımın kolaylığını artırmak amacıyla başlatılmış bu ulusal proje, niteliksiz eğitim ve aşırı eğitimlilik gibi sorunları beraberinde getirmiştir. Spence'in teorisi baz alındığında, yükseköğretimin, çok kolay erişilebilir olmasından dolayı, sinyal işlevini yitirmesi durumu günümüz Türkiye'sindeki işgücü piyasasının önemli bir sorunu olarak değerlendirilmiştir. Diploma artık bir sinyal işlevine sahip olmadığı için bireyler rekabetin yoğun olduğu ve kimsenin ayrışamadığı işgücü piyasasında kendilerini öne çıkarmak için, ekstra sertifika ve kurs programlarına katılıp daha fazla eğitim almaya yönelebilir. Bu durum, aşırı eğitimlilik krizi (Özkır, 2025) olarak anılır. Bu da gittikçe yükseköğretimi daha da değersizleştirmektedir.

Bugünün Türkiye'sinde hala özellikle yeni mezun ve gençler arasında çok yaygın olan genç işsizliği, aşırı eğitimlilik krizi, nitelik uyumsuzluğu istihdam problemleri gibi sorunların daha da fazla artmaması için bu sorunlar çözüme ulaştırılmak üzere gündeme getirilip araştırılmalıdır. Özellikle kamunun konuya müdahalesinin en etkili seçeneklerden biri olacktır. Başlangıçta açılmış olan üniversitelerdeki nitelik eksikliği sorununa odaklanarak eğitimin daha kaliteli olması amaçlanmalıdır. Devamında işgücü piyasasındaki istihdam sorununa odaklanılarak daha fazla kontenjan açmak, kadroları yenileyerek genç işgücünün sahip olduğu güncel bilgi birikimini ve yenilikçi fikirleri çalışma hayatına kazandırmak amaçlanmalıdır. Yine istihdam sorununa bir çözüm olarak tüm üniversitelere nitelik testi yapılarak belirli bir nitelik düzeyinin altında kalan üniversiteler kapatılabilir veya diğer üniversitelerin bünyesine katılarak niteliğe katkı sağlaması amaçlanabilir. Tüm bunların eğitimin yeniden sinyal işlevi göstermesine katkı sağlayacağı, böylece yükseköğretim enflasyonunun ve işsizlik sorununun azalmasına öncü olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

Anadolu Üniversitesi. (2025). Açıköğretim Fakültesi eğitim-öğretim ve sınav yönetmeliği. https://mevzuat.kslaw.com.tr

Aşkın, E. Ö. (2015). Kadınların işgücü piyasasındaki konumlarını etkileyen faktörler. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 10(1), 43–66.

Bourdieu, P. ve Passeron, J.-C. (1977). Reproduction in education, society and culture. Sage. (Özgün eser 1970'te yayımlanmıştır.)

Collins, R. (2011). Credential inflation and the future of universities. Italian Journal of Sociology of Education, 3(2), 228–251.

Çakır, Ö. ve Kellevezir, I. (2020). Yükseköğretim mezunlarında işsizlik ve nitelik uyumsuzluğu olgusu: UNI-VERI araştırma sonuçları ışığında bir değerlendirme. Çalışma İlişkileri Dergisi, 1(Özel Sayı), 1–17.

Devlet Planlama Teşkilatı. (1989). Altıncı beş yıllık kalkınma planı 1990–1994. Ankara.

Günay, D. ve Günay, A. (2017). Türkiye'de yükseköğretimin tarihsel gelişimi ve mevcut durumu. Yükseköğretim Dergisi, 7(3), 156–178.

Gürüz, K. (2003). Dünyada ve Türkiye'de yükseköğretim: Tarihçe ve bugünkü sevk ve idare sistemleri. ÖSYM Yayınları.

Kul Gelal, H. (2025). Adult education and labor market outcomes in Türkiye, 2007–2022. Ekonomi-tek, 14(2), 423–457.

Küpeli, B. ve Dağlı, E. (2025). Diploma ile işsizlik arasında: Türkiye'de yükseköğretimin niceliği ve niteliği [Politika notu]. TEPAV. https://tepav.org.tr/tr/haberler/s/11091

Millî Eğitim Bakanlığı. (2012). Millî eğitim istatistikleri: Örgün eğitim 2011–2012 (Tablo 1.2, s. 1).

Millî Eğitim Bakanlığı. (2018). Millî eğitim istatistikleri: Örgün eğitim 2017–2018 (Tablo 1.1.a, s. 1).

Millî Eğitim Bakanlığı. (2026). Millî eğitim istatistikleri: Örgün eğitim 2025–2026 (Tablo 1.1.b, s. 7).

Özkır, M. C. (2025). Türkiye'de nitelik ve beceri uyuşmazlığının boyutları: TÜİK ve OECD verileri üzerinden bir inceleme. Biga İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6(3), 283–297. https://doi.org/10.70754/biibfd.1807577

Parkin, F. (1979). Marxism and class theory: A bourgeois critique. Columbia University Press.

Resmî Gazete. (1992, 19 Kasım). Yükseköğretim Kurumlarında İkili Öğretim Yapılması, 2547 Sayılı Yükseköğretim Kanununun Bazı Maddelerinin Değiştirilmesi ve Bu Kanuna Bir Ek Madde Eklenmesi Hakkında Kanun. T.C. Resmî Gazete, (21417).

Resmî Gazete. (2006, 1 Mart). Yükseköğretim Kurumları Teşkilatı Kanunu, Yükseköğretim Kanunu, Kamu Malî Yönetimi ve Kontrol Kanunu, Telsiz Kanunu ile 78 ve 190 Sayılı Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun. T.C. Resmî Gazete, (26104).

Resmî Gazete. (2007, 29 Mayıs). Yükseköğretim Kurumları Teşkilatı Kanununda ve Yükseköğretim Kurumları Öğretim Elemanlarının Kadroları Hakkında Kanun Hükmünde Kararname ile Genel Kadro ve Usulü Hakkında Kanun Hükmünde Kararnameye Ekli Cetvellerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun. T.C. Resmî Gazete, (26536).

Resmî Gazete. (2008, 31 Mayıs). Yükseköğretim Kurumları Teşkilâtı Kanununda ve Yükseköğretim Kurumları Öğretim Elemanlarının Kadroları Hakkında Kanun Hükmünde Kararname ile Genel Kadro ve Usulü Hakkında Kanun Hükmünde Kararnameye Ekli Cetvellerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun. T.C. Resmî Gazete, (26889).

Spence, M. (1973). Job market signaling. The Quarterly Journal of Economics, 87(3), 355–374.

Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). On ikinci kalkınma planı 2024–2028: Yükseköğretim özel ihtisas komisyonu raporu. Ankara.

Tanrıkulu, D. (2009). Yükseköğretime erişimin değerlendirilmesi ve Türkiye için politika önerileri [Planlama uzmanlığı tezi]. Devlet Planlama Teşkilatı. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Yuksekogretime-Erisimin-Degerlendirilmesi-ve-Turkiye-Icin-Politika-Onerileri-Duygu-Tanrikulu.pdf

Trow, M. (1973). Problems in the transition from elite to mass higher education. Carnegie Commission on Higher Education.

Trow, M. (2005). Reflections on the transition from elite to mass to universal access: Forms and phases of higher education in modern societies since WWII (Research and Occasional Paper Series, CSHE.4.05). University of California, Berkeley.

Türkiye İstatistik Kurumu. (2023). İşgücü istatistikleri, 2023. https://biruni.tuik.gov.tr/medas/

Türkiye İstatistik Kurumu. (2026, 23 Temmuz). Yükseköğretim istihdam göstergeleri, 2025 [Haber bülteni].

Türkiye İstatistik Kurumu. (t.y.-a). Bitirilen eğitim düzeyi ve cinsiyete göre nüfus dağılımı [Veri seti]. TÜİK Veri Portalı. Erişim tarihi: 5 Ekim 2026, https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/databrowser/tuik/categories/4/4_4/TR,DF_BED_NUFUS_DAGILIM,1.0

Türkiye İstatistik Kurumu. (t.y.-b). Merkezi Dağıtım Sistemi [Veri tabanı]. TÜİK MEDAS. Erişim tarihi: 5 Ekim 2026, https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr

Weber, M. (1968). Economy and society: An outline of interpretive sociology. Bedminster Press.

Yükseköğretim Kurulu. (2003). Türk yükseköğretiminin bugünkü durumu. Ankara.

Yükseköğretim Kurulu. (2020, 13 Mart). YÖK'ten üniversitelere uzaktan eğitim kararı [Basın bülteni]. https://basin.yok.gov.tr/

Yükseköğretim Kurulu. (2022, 11 Şubat). TYT ve AYT baraj uygulaması kaldırıldı [Basın bülteni]. https://basin.yok.gov.tr/

Yükseköğretim Kurulu. (2023, 11 Şubat). YÖK'ten deprem sonrası 'uzaktan eğitim' kararı [Basın bülteni]. https://basin.yok.gov.tr/

Yükseköğretim Kurulu. (2024, 10 Temmuz). YÖK Başkanı Özvar: Devlet üniversitelerindeki ikinci öğretim programları kapatıldı [Basın bülteni]. https://basin.yok.gov.tr/

Yükseköğretim Kurulu. (2026, 17 Şubat). Yükseköğretim Kurulu Başkanı Özvar, stratejik kontenjan dönüşümünü açıkladı [Kurumsal haber]. https://www.yok.gov.tr/tr/news/yuksekogretim-kurulu-baskani-ozvar-stratejik-kontenjan-donusumunu-acikladi-OlqxR

SİYASAL OTORİTENİN MEŞRUİYET TEMELLERİ: GELENEKSEL YÖNETİMDEN MODERN DEVLETE

Fatma ÖZBİÇKİ
Gaziantep Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0008-2152-1274

ÖZET
Siyasal otoritenin hangi koşullarda meşru kabul edildiği, siyasal düşüncenin temel tartışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Otorite ile meşruiyet arasındaki ilişki, yalnızca iktidarın nasıl kullanıldığına değil, iktidarın hangi gerekçeler temelinde yönetilenler tarafından kabul edildiğine de işaret etmektedir. Bu çalışma, siyasal otoritenin meşruiyet temellerini geleneksel yönetim biçimlerinden modern devletin ortaya çıkışına uzanan tarihsel dönüşüm bağlamında incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın temel problemi, siyasal otoritenin meşruiyet kaynağının geleneksel ve aşkın temellerden modern dönemin hukuki, siyasal ve toplumsal temellerine geçişinin nasıl gerçekleştiğidir.
Çalışmada öncelikle geleneksel siyasal yapılarda otoritenin meşruiyetini sağlayan din, gelenek, soy, statü ve kutsallık gibi unsurlar ele alınmaktadır. Ardından modern devletin oluşumuyla birlikte meşruiyet anlayışında meydana gelen dönüşüm incelenmekte; hukukun üstünlüğü, anayasal düzen, halk iradesi, siyasal temsil ve rıza gibi ilkelerin siyasal otoritenin meşruiyetindeki belirleyici rolü değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda çalışma, meşruiyetin kişisel ve geleneksel bağlılık ilişkilerinden kurumsallaşmış ve hukuki bir otorite anlayışına doğru evrilmesini siyasal düşüncedeki dönüşümler üzerinden tartışmaktadır. Çalışmada literatür taramasına dayalı kavramsal ve karşılaştırmalı bir inceleme gerçekleştirilmiştir.
Çalışmanın temel yaklaşımı, modern devletin meşruiyetinin yalnızca iktidarın hukuki varlığıyla açıklanamayacağı; rıza, temsil, hukuk ve siyasal katılım gibi unsurların birlikte değerlendirilmesi gerektiğidir. Bu çerçevede modern siyasal otorite, geleneksel meşruiyet biçimlerinden ayrışmanın yanı sıra, meşruiyetin yeniden tanımlandığı ve kurumsallaştırıldığı bir dönüşüm süreci olarak ele alınmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Siyasal Otorite, Meşruiyet, Siyasal İktidar

THE FOUNDATIONS OF POLITICAL AUTHORITY'S LEGITIMACY: FROM TRADITIONAL GOVERNANCE TO THE MODERN STATE

ABSTRACT
The conditions under which political authority is considered legitimate constitute one of the fundamental areas of debate in political thought. The relationship between authority and legitimacy points not only to how power is exercised but also to the grounds on which those being governed accept that power. This study aims to examine the foundations of the legitimacy of political authority within the context of historical transformation, spanning from traditional forms of governance to the emergence of the modern state. The central question of the study is how the source of political authority's legitimacy shifted from traditional and transcendent foundations to the legal, political, and social foundations of the modern era.
The study first addresses elements such as religion, tradition, lineage, status, and sanctity that provided the legitimacy of authority in traditional political structures.

It then examines the transformation in the concept of legitimacy that occurred with the formation of the modern state, evaluating the decisive role of principles such as the rule of law, constitutional order, the will of the people, political representation, and consent in the legitimacy of political authority. In this vein, the study discusses the evolution of legitimacy from personal and traditional bonds of allegiance toward an institutionalized and legal conception of authority through the lens of transformations in political thought. The political thought literature and fundamental theoretical approaches related to the subject are evaluated comparatively.
The study's central argument is that the legitimacy of the modern state cannot be explained solely by the legal existence of power; rather, elements such as consent, representation, law, and political participation must be evaluated collectively. Within this framework, modern political authority is examined as a process of transformation in which legitimacy is redefined and institutionalized, alongside a break from traditional forms of legitimacy.
Keywords: Political Authority, Legitimacy, Political Power

1.GİRİŞ

Siyasal otorite ve meşruiyet, siyasal iktidarın toplumla kurduğu ilişkiyi açıklayan temel kavramlar arasında yer almaktadır. Siyasal otorite, yönetme yetkisinin belirli bir dayanak üzerinden kullanılmasını ifade ederken; meşruiyet, bu yetkinin hangi temeller üzerinden kabul edildiğini açıklamaktadır. Bu bakımdan siyasal iktidarın sahip olduğu güç ile meşru otorite arasında ayrım bulunmaktadır. Bir iktidarın yönetme gücünü elinde bulundurması, onun kendiliğinden meşru bir otoriteye dönüştüğü anlamına gelmemektedir. Meşruiyet, yönetme yetkisinin belirli değerler, kurallar ve toplumsal kabuller çerçevesinde temellendirilmesini gerektirmektedir (Gönenç, 2001: 133-134).
Siyasal düzenin sürekliliği, yalnızca iktidarın varlığına değil, bu iktidarın toplum tarafından hangi gerekçelerle kabul edildiğine de bağlıdır. Bir iktidarın yönetme gücünü elinde bulundurması, onun kendiliğinden meşru bir otoriteye dönüştüğü anlamına gelmemektedir. Meşruiyet, yönetme yetkisinin belirli değerler, kurallar ve toplumsal kabuller çerçevesinde temellendirilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda meşruiyet, siyasal otoritenin yönetme hakkının hangi gerekçelerle kabul edildiğini açıklayan temel kavramlardan biridir (Kutluay, 2019: 14).
Bununla birlikte meşruiyetin dayandığı kaynaklar tarihsel olarak aynı kalmamış; siyasal ve toplumsal koşullardaki değişimlerle birlikte farklı biçimler kazanmıştır. Meşruiyetin geleneksel yapılardaki dayanakları daha çok dinî inançlar, yerleşik gelenekler ve hükümdarlık anlayışıyla ilişkilendirilirken, modern devletle birlikte siyasal iktidarın hukuk ve yurttaş iradesi temelinde sınırlandırılması önem kazanmıştır. Dolayısıyla tarihsel dönüşüm, siyasal iktidarın kullanım biçiminin yanı sıra, yönetme yetkisinin hangi dayanaklarla kabul edildiğine ilişkin anlayışı da değiştirmiştir.
Meşruiyetin dayandığı ölçütlerin tarihsel süreç içerisinde değişmesi, siyasal düşüncede otoritenin kaynağı ve sınırları üzerine yürütülen tartışmaların temel konularından biri olmuştur. Bu nedenle siyasal iktidarın meşruiyeti, yalnızca sahip olduğu yönetme gücüyle değil, bu gücün dayandığı siyasal ve toplumsal temellerle birlikte ele alınmalıdır. Geleneksel yönetimlerde meşruiyet daha çok din, gelenek, soy ve toplumsal statü gibi unsurlara dayandırılırken, modern devletin gelişmesiyle birlikte siyasal iktidarın hukuk kurallarıyla sınırlandırılması meşruiyet anlayışında önemli bir dönüşüme işaret etmiştir (Uygun, 2022: 522).Yönetme hakkının yalnızca geleneksel ve aşkın kaynaklarla açıklanması yerine hukuk, rıza, halk iradesi ve temsil gibi kavramlarla temellendirilmeye başlanması, bu dönüşümün temel göstergelerindendir.

Bu çalışmanın amacı, siyasal otoritenin meşruiyet temellerini geleneksel yönetim biçimlerinden modern devletin ortaya çıkışına uzanan tarihsel süreç içerisinde incelemektir. Bu doğrultuda, geleneksel meşruiyet kaynakları ile modern dönemde öne çıkan siyasal ve hukuki dayanaklar karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır. Çalışmada bu dönüşüm, yalnızca belirli düşünürlerin görüşleriyle sınırlı tutulmayıp siyasal otoritenin kaynağı, sınırları ve yönetilenlerle ilişkisi üzerinden tarihsel bir çerçevede değerlendirilmektedir. Araştırma, nitel yaklaşım çerçevesinde literatür taramasına dayalı olarak yürütülmüştür. Araştırmada siyasal otorite ve meşruiyet kavramlarına ilişkin akademik çalışmalar ile siyasal düşünce alanındaki temel eserlerden yararlanılmıştır. Kuramsal ve kavramsal çerçevede geleneksel ve modern otorite biçimlerine yönelik yaklaşımlar incelenmiş, elde edilen bilgiler meşruiyet anlayışındaki tarihsel dönüşüm çerçevesinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. Geleneksel Yönetimlerde Siyasal Otoritenin Meşruiyeti

Geleneksel yönetimlerde siyasal otoritenin meşruiyeti, siyasal düzenin geçmişten devralınan değerler ve uygulamalarla kurduğu süreklilik üzerinden şekillenmiştir. Bu yapılarda yönetme yetkisinin kabulü, hukuki bir düzenlemeden ziyade geçmişten aktarılan siyasal düzenin benimsenmesine dayanmaktadır. Bu yönetim anlayışında bireyler, modern anlamda yurttaş statüsünde değerlendirilmemekte; hükümdara bağlı tebaa konumunda bulunmaktadır (Şenol, 2017: 46). Bununla birlikte otorite ile meşruiyet kavramları birbirinden tamamen ayrı düşünülmemelidir. Otorite, yönetme gücünün yanı sıra bu gücün yönetilenler tarafından kabul edilmesini sağlayan dayanakları da kapsamaktadır. Siyasal iktidarın sahip olduğu güç, tek başına meşruiyet için yeterli değildir; otoritenin kabulü, yönetme yetkisinin dayandığı gerekçelerle ilişkilidir. Bu nedenle siyasal otoritenin sürekliliği bakımından yalnızca güç kullanımı değil, yönetilenlerin mevcut iktidarı kabul etmelerini sağlayan inanç, gelenek, değer ve kurallar da önem taşımaktadır. Geleneksel yönetimlerde meşruiyet; dinî inançlar, yerleşik gelenekler, soy bağı, toplumsal statü ve siyasal makama yüklenen kutsallık gibi unsurlar üzerinden şekillenmiştir. Özellikle yöneticinin belirli bir soydan gelmesi veya yönetme konumunun kutsal bir temele dayandırılması, siyasal iktidarın kabul edilmesini sağlayan meşruiyet kaynakları arasında yer almıştır.

Weber'in yaklaşımında iktidarın kullanılması ile yönetme yetkisinin kabul edilmesi birbirinden ayrılmaktadır. Bu ayrım doğrultusunda Weber, iktidar ve otorite kavramlarını siyasal ilişkilerin açıklanmasında birbirinden ayırmaktadır. Bu ayrım doğrultusunda Weber, iktidar ve otorite kavramlarını siyasal ilişkilerin açıklanmasında birbirinden ayırmaktadır. Weber'in meşru iktidar anlayışı, yalnızca hukuki düzenlemelerle sınırlı olmayıp otoritenin toplumsal kabul boyutunu da kapsamaktadır. Weber, meşru otoritenin dayanaklarını geleneksel, karizmatik ve yasal-ussal olmak üzere üç ideal tip üzerinden açıklamaktadır (Weber, 2017: 11-14).

Bu tipoloji, geleneksel meşruiyetin dayanaklarını açıklamak açısından kuramsal bir çerçeve sunmaktadır. Weber, meşru otorite biçimlerini "geleneksel", "karizmatik" ve "yasal-ussal" olmak üzere üç ideal tip üzerinden ele almıştır (Poggi, 2002: 123). Bu sınıflandırmada otorite biçimleri, yönetme yetkisinin kabul edilmesini sağlayan farklı meşruiyet temelleri üzerinden ayrıştırılmaktadır (Birsin, 2012: 7). Bununla birlikte, yönetim biçimi ve yöneticilerin sahip olduğu özellikler, büyük ölçüde siyasal iktidarın dayandığı meşruiyet temellerine göre şekillenmektedir (Weber, 2012: 7).

1) Geleneksel otoritede siyasal iktidarın meşruiyeti, geçmişten aktarılan gelenek, görenek ve inanışlarla temellendirilmektedir. Bu anlayışta yöneticinin belirlenmesi ve yönetim biçiminin uygulanması, toplumda yerleşmiş gelenek ve törelerle yakından ilişkilidir (Ergun & Polatoğlu, 1992: 59). Hanedanlık ve krallık gibi yapılarda yönetme hakkının belirlenmesinde soy bağı ve kalıtsal aktarım temel bir rol oynamaktadır (Kapani, 1987:89).

Bununla birlikte geleneksel yönetimlerde yöneticinin kişisel iradesi de yönetim sürecinde etkili olabilmektedir. Ancak yöneticinin yetkileri, toplumda yerleşmiş gelenek ve kuralların sınırları içerisinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte geleneksel yönetimlerde yöneticinin kişisel iradesi de yönetim sürecinde etkili olabilmektedir. (Ergun & Polatoğlu, 1992: 59-60).

2) Karizmatik otoritede siyasal itaat, yöneticinin olağanüstü veya üstün niteliklere sahip olduğuna yönelik toplumsal inançtan kaynaklanmaktadır. Bu otorite biçiminde meşruiyet, yerleşik kurallardan çok yöneticinin kişiliğine duyulan güven ve bağlılıkla ilişkilidir. Karizmatik otorite geleneksel otoriteyle birlikte bulunabilse de geleneklere bağlılık bu otoritenin temel koşulu değildir. Gelenek ve görenekler tamamen ya da kısmen geri planda bırakılabilir. Burada belirleyici olan, yöneticinin olağanüstü yeteneklere, kahramanlık özelliklerine veya toplum tarafından özel kabul edilen niteliklere sahip olduğuna yönelik inançtır. Dolayısıyla karizmatik otoritenin meşruiyeti, yöneticinin kişisel özellikleri ve bu özelliklere yönelik toplumsal bağlılık üzerinden şekillenmektedir (Eryılmaz, 2013, 68).

3) Yasal-ussal otoritede yönetme yetkisinin dayanağını kişisel özellikler değil, önceden belirlenmiş hukuki ve rasyonel kurallar oluşturmaktadır. Bu çerçevede egemenlik yetkisini hukuki düzenlemeler doğrultusunda kullananlara itaat esastır (Weber, 1995: 315). Yasal-ussal otoriteyi diğer biçimlerden ayıran temel unsur, meşruiyetin kişiden bağımsız olarak hukuki kurallara dayanmasıdır. Bu modelde otoritenin geçerliliği yöneticinin kişiliğinden bağımsız olarak kuralların ve kurumların hukuki niteliğine bağlanmaktadır Yönetici, sahip olduğu yetkiyi kişisel iradesine göre değil, önceden belirlenmiş ve genel geçerliliğe sahip kurallar doğrultusunda kullanır. Bu nedenle yöneticinin sahip olduğu otorite, kişisel özelliklerinden değil, hukuki düzen tarafından belirlenen yetki alanından kaynaklanmaktadır (Vergin, 2010: 73-74).

Weber'in tipolojisinde geleneksel, karizmatik ve yasal-ussal otorite biçimleri farklı meşruiyet kaynakları üzerinden açıklanmaktadır. Geleneksel otoritede geçmişten devralınan uygulamalar ve bunların geçerliliğine duyulan inanç ön plana çıkarken, karizmatik otoritede yöneticinin kişisel ve olağanüstü kabul edilen nitelikleri belirleyici olmaktadır. Yasal-ussal otoritede ise meşruiyet, kişiden bağımsız olarak hukuki kuralların geçerliliğine ve kurumsal yapıya dayanmaktadır. Bu sınıflandırma, farklı otorite biçimlerinin hangi meşruiyet kaynaklarıyla temellendirildiğini karşılaştırmalı olarak değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Bununla birlikte Weber'in söz konusu otorite biçimleri, birbirini zorunlu olarak takip eden tarihsel aşamalar şeklinde değerlendirilmemelidir. Bunlar, farklı meşruiyet biçimlerini açıklamak amacıyla oluşturulmuş ideal tiplerdir. Dolayısıyla gerçek siyasal yapılarda bu otorite biçimlerinin birbirinden tamamen ayrışması yerine, farklı ölçülerde bir arada bulunmaları mümkündür. Modern devletin gelişimiyle hukuki ve kurumsal düzenlemelerin meşruiyet açısından önem kazanması, geleneksel otoriteden modern siyasal otoriteye geçişin temel unsurlarından birini oluşturmuştur.

3. Geleneksel Otoriteden Modern Siyasal Otoriteye Geçiş

Geleneksel yönetimlerden modern devlete geçiş, siyasal iktidarın kişisel ve geleneksel bağlardan ayrılarak kurumsal bir nitelik kazanmasıyla birlikte değerlendirilmelidir. Modern devlet, siyasal iktidarın kişisel bağlardan bağımsız olarak kurumlar ve hukuki kurallar çerçevesinde kullanıldığı bir siyasal örgütlenme biçimini ifade etmektedir. Modern devletin gelişmesiyle yasama ve uygulama işlevlerinin farklı organlarca yürütülmesi, siyasal iktidarın kurumsal bir yapı içerisinde kullanılmasını mümkün kılmıştır (Saygılı, 2010: 61-62). Modern devletin kurumsallaşması, siyasal iktidarın meşruiyet dayanaklarının egemenlik kavramı üzerinden yeniden tartışılmasına zemin hazırlamıştır. Egemenlik, modern devlet içerisinde siyasal iktidarın ülke sınırları dâhilindeki üstün ve bağımsız niteliğini açıklayan temel kavramlardan biri hâline gelmiştir.

Egemenliğin kaynağına ilişkin anlayış tarihsel süreç içerisinde değişmiş; dinsel temellendirmelerin yanı sıra laiklik ve halk iradesi gibi siyasal dayanaklar da egemenlik tartışmalarında önem kazanmıştır (Kaya, 2022: 213). Modern egemenlik anlayışının şekillenmesinde Jean Bodin'in egemenlik kavramına ilişkin görüşleri önemli bir yere sahiptir. Bodin, egemenliği devlet içerisindeki en üstün, sürekli ve bağımsız siyasal yetki olarak ele almaktadır (Ekiz, 2020: 633).

Bodin'in egemenliğin sürekliliğine yaptığı vurgu, siyasal iktidarın hükümdarın kişiliğinden bağımsız biçimde devlet içerisinde devamlılık kazanması açısından önemlidir. Bu doğrultuda Bodin'in egemenlik anlayışı, modern devletin hukuki ve siyasal niteliğinin açıklanmasında önemli bir yere sahiptir. Modern devletin kuruluş ve işleyiş biçimi, belirli bir siyasal otoritenin ülke sınırları içerisindeki üstünlüğüne ve bağımsız karar alma yetkisine dayanır. Bu nedenle egemenlik, modern devletin siyasal yapısının ve örgütlenme biçiminin açıklanmasında temel kavramlardan biridir (Özman, 1964: 57; Beriş, 2006 :2). Modern devleti önceki siyasal yapılanmalardan ayıran özelliklerden biri de siyasal iktidarın belirli bir otorite altında merkezileşmesi ve bu otoritenin hukuki bir nitelik kazanmasıdır.

Bodin'in yaklaşımında egemenlik, devlet içerisindeki en üstün siyasal iktidarı ifade ederken, sonraki dönemde egemenliğin kaynağına ilişkin tartışmalar farklı bir yönde gelişmiştir. Egemenliğin kaynağına ilişkin bu tartışmalarda Jean-Jacques Rousseau'nun yaklaşımı öne çıkmaktadır. Rousseau'nun yaklaşımında egemenliğin dayanağı, siyasal topluluğu meydana getiren yurttaşların ortak iradesidir. Bu anlayışta egemenlik, bireysel bir yöneticinin yetkisinden ziyade topluluğun ortak iradesiyle ilişkilendirilmektedir. Bu yaklaşımda egemenlik, yöneticinin kişisel yetkisinden ayrılarak siyasal topluluğu oluşturan yurttaşların ortak iradesiyle ilişkilendirilmiştir (Işık, 2017: 88-89).

Bu yaklaşımda egemenlik, yöneticinin kişisel yetkisinden ayrılarak siyasal topluluğu oluşturan yurttaşların ortak iradesiyle ilişkilendirilmiştir Bodin'de egemenlik, devlet içerisindeki üstün ve sürekli iktidarı açıklarken, Rousseau'da egemenliğin kaynağı halkın genel iradesiyle ilişkilendirilmiştir. Böylece siyasal otoritenin meşruiyeti, yalnızca iktidarın üstünlüğü ve sürekliliği üzerinden değil, bu iktidarın hangi kaynağa dayandığı üzerinden de tartışılmaya başlanmıştır. Bodin ve Rousseau'nun egemenlik anlayışları karşılaştırıldığında, siyasal iktidarın kaynağı ve niteliğine ilişkin farklılaşan yaklaşımlar ortaya çıkmaktadır.

Bu çerçevede geleneksel otoriteden modern siyasal otoriteye geçiş, yalnızca yönetim biçimindeki bir değişim olarak değerlendirilmemelidir. Bu geçiş aynı zamanda siyasal iktidarın meşruiyetinin hangi temellere dayandırılacağına ilişkin anlayıştaki değişimi de kapsamaktadır. Modern devletin kurumsallaşmasıyla siyasal otoritenin meşruiyeti, geleneksel bağlılık biçimlerinin yanı sıra hukuki ve kurumsal dayanaklarla da açıklanmaya başlanmıştır. Bu dönüşüm, modern devlette siyasal otoritenin meşruiyetini sağlayan hukuki ve siyasal unsurların ayrıca incelenmesini gerekli kılmaktadır.

4. Modern Devlette Siyasal Otoritenin Meşruiyet Temelleri

Modern devletin oluşumuyla siyasal iktidar, kişisel ve geleneksel bağların ötesinde kurumsal bir yapı içerisinde örgütlenmiştir. Bu süreçte kamu yönetiminin kurumsal ve hukuki çerçevesi belirginleşmiş, siyasal yetkilerin kullanımı belirli organlar aracılığıyla düzenlenmiştir. Böylece siyasal iktidarın kullanımı kişisel iradeye bağlı olmaktan çıkarak daha düzenli ve kurallı bir nitelik kazanmıştır. Egemenlik, ülkesel sınırlar, merkezî yönetim ve bürokratik örgütlenme de modern devletin kurumsal yapısını şekillendiren temel unsurlar hâline gelmiştir. Bu süreçte kamu yönetiminin kurumsal ve hukuki çerçevesi belirginleşmiş, siyasal yetkilerin kullanımı belirli organlar aracılığıyla düzenlenmiştir. (Saygılı, 2010: 61-62).

Modern devlette siyasal otoritedeki dönüşüm, iktidarın örgütlenme biçiminin yanı sıra meşruiyet dayanaklarını da kapsamaktadır. Geleneksel yönetimlerdeki meşruiyet anlayışı, modern devletin kurumsallaşmasıyla birlikte farklı siyasal ve hukuki dayanaklar üzerinden yeniden şekillenmiştir. Siyasal iktidarın hukukla sınırlandırılması, anayasal düzen içerisinde örgütlenmesi ve yönetilenlerin siyasal iradesiyle ilişkilendirilmesi, modern meşruiyet anlayışının temel unsurları arasında yer almaktadır. Bu doğrultuda hukuki düzen, halk iradesi ve siyasal katılım, modern devlet içerisinde meşruiyetin temel boyutları arasında değerlendirilebilir. Bu çerçevede modern siyasal otoritenin meşruiyeti, iktidarın yalnızca hukuki kurallara uygun biçimde örgütlenmesiyle açıklanamaz. Meşruiyetin oluşumunda siyasal iktidarın hukuk tarafından sınırlandırılması kadar, yönetilenlerin iradesinin siyasal karar alma süreçlerine yansıması da önem taşımaktadır. Bu nedenle modern devlet anlayışında meşruiyet, hukuki düzen ile siyasal katılım ve temsil arasındaki ilişki çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Bu bağlamda siyasal otoritenin meşruiyeti, hukuki düzenlemelerin yanı sıra iktidar ile toplum arasındaki ilişki üzerinden de ele alınmalıdır. Siyasal iktidarın temel özelliklerinden biri, belirli bir siyasal topluluk içerisinde kamu gücünü kullanma yetkisinin kurumsal bir nitelik taşımasıdır. Bununla birlikte siyasal iktidarın yalnızca zor kullanma kapasitesine dayanması, onun sürekliliğini tek başına açıklamamaktadır. Çünkü siyasal iktidarın meşruiyet kazanabilmesi, toplum tarafından kabul edilmesine ve rızaya dayanmasına bağlıdır. Toplumsal kabulün zayıfladığı durumlarda siyasal iktidarın yönetme yetkisi daha çok zorlayıcı güç kullanımına dayanabilmektedir. Bu nedenle siyasal iktidarın meşruiyet açısından temel meselelerinden biri, toplumsal kabul ve rızanın sağlanmasıdır (Öztekin, 2001: 11-12). Ancak siyasal iktidarın toplumsal rızaya dayanması kadar, sahip olduğu yetkilerin belirli kurallar ve sınırlar içerisinde kullanılması da meşruiyet açısından önem taşımaktadır.

Bu yönüyle hukuk, siyasal iktidarın yetki sınırlarını belirleyerek kamu gücünün kurallı ve kurumsal biçimde kullanılmasını sağlamaktadır (İbrahim, 2020: 233). Hukukun üstünlüğü, kamu otoritesinin önceden belirlenmiş hukuk kurallarıyla sınırlandırılmasını ve devlet organlarının bu kurallara bağlı olmasını esas almaktadır. Hukukun üstünlüğü, kamu otoritesinin önceden belirlenmiş hukuk kurallarıyla sınırlandırılmasını ve devlet organlarının bu kurallara bağlı olmasını esas almaktadır. (Uygun, 2022: 522). Bu yönüyle hukukun üstünlüğü, siyasal iktidarın sınırlandırılması ile bireylerin hukuk güvenliğinin sağlanması arasında doğrudan bir ilişki kurmaktadır.

Öte yandan, modern devlet içerisinde siyasal otoritenin meşruiyeti, iktidarın yalnızca hukuki bir temele sahip olmasıyla sınırlı değildir. Siyasal iktidarın yönetilenler tarafından kabul edilmesi ve toplumun iradesiyle ilişkilendirilmesi, modern meşruiyet anlayışının önemli boyutları arasında yer almaktadır (Satır, 2018: 120-121). Bu noktada rıza, siyasal iktidar ile yönetilenler arasındaki ilişkinin temel unsurlarından biri hâline gelmektedir. Bu nedenle rıza, hukuki meşruiyetin yanında siyasal iktidarın toplumsal kabulünü açıklayan bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Rıza, siyasal iktidar ile toplum arasındaki ilişkinin yalnızca zorlayıcı güce dayanmasını önleyerek yönetme yetkisinin toplumsal kabulünü güçlendirmektedir (Çetin, 2003: 66; Satır, 2018: 121).

Yönetilenlerin siyasal iradesinin iktidarın oluşumu ve kullanımına yansıması, meşruiyet tartışmasının bir diğer boyutunu oluşturmaktadır. Bu ilişki, rıza kavramından halk iradesi ve siyasal temsil anlayışına uzanan bir bağlantı kurmaktadır. Halk iradesi, demokratik rejimlerin temel unsurlarından biridir. Demokratik yönetimlerde siyasal kararların halkın iradesiyle ilişkilendirilmesi temel bir unsurdur. Bu nedenle siyasal egemenliğin halka dayanması, demokratik bir yönetimin temel ölçütlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Halk iradesinin siyasal iktidarın kaynağıyla ilişkilendirilmesi, modern demokratik meşruiyet anlayışının önemli unsurlarından biridir.

Siyasal temsil ise, halk iradesinin doğrudan kullanılmadığı durumlarda yurttaşların siyasal karar alma süreçlerinde dolaylı biçimde yer almasını sağlamaktadır. Temsilcilerin seçim yoluyla belirlenmesi, yurttaşların siyasal karar alma süreçleriyle iktidarı kullananlar arasında kurumsal bir bağlantı kurulmasını sağlamaktadır(Özkan, 2020: 241). Dolayısıyla modern siyasal otoritenin meşruiyeti açısından temsil, halkın siyasal iradesinin kurumsal yapılar aracılığıyla yönetime yansıtılmasını sağlayan temel mekanizmalardan biri olarak değerlendirilebilir.

Modern siyasal otoritenin meşruiyeti, hukuki dayanaklar ile toplumsal kabul ve siyasal katılımın birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Hukuk iktidarın sınırlarını belirlerken, rıza ve halk iradesi yönetme yetkisinin toplumsal kabulünü; siyasal temsil ise bu iradenin karar alma süreçlerine yansımasını sağlamaktadır. Bu çerçevede modernleşme süreci, siyasal otoritenin meşruiyetinin hukuki ve toplumsal dayanaklar üzerinden yeniden biçimlenmesini beraberinde getirmiştir.

Bu değerlendirmeler, siyasal otoritenin meşruiyetinin tarihsel süreç içerisinde farklı dayanaklar üzerinden şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte modern meşruiyet yalnızca iktidarın hukuka uygun olmasına bağlı değildir; siyasal iktidarın hukukla sınırlandırılması ve toplumun siyasal iradesine dayanması da meşruiyet açısından önem taşımaktadır.

SONUÇ

Çalışmanın bulguları, siyasal meşruiyet anlayışının modern devletin tarihsel gelişimi boyunca değişen siyasal ve toplumsal koşullara bağlı olarak yeniden şekillendiğini göstermektedir. Çalışmada siyasal otoritenin meşruiyet temelleri, geleneksel yönetimlerden modern devlete uzanan tarihsel süreç içerisinde değerlendirilmiştir.

Yönetme yetkisinin kabulünü sağlayan dayanakların, siyasal ve toplumsal koşullardaki değişimlere bağlı olarak farklılaştığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu farklılaşma, yalnızca siyasal örgütlenmenin değişimini değil, yönetme yetkisinin hangi gerekçelerle kabul edildiğine ilişkin anlayışın dönüşümünü de kapsamaktadır. Bu değişim, yalnızca yönetim biçimindeki farklılaşmayı değil, siyasal iktidarın toplum tarafından hangi gerekçelerle kabul edildiğine ilişkin anlayışın da dönüşümünü ifade etmektedir. Bodin ve Rousseau'nun egemenlik anlayışları arasındaki farklılık, siyasal iktidarın kaynağına ilişkin yaklaşımlardaki değişimi de ortaya koymaktadır. Bodin egemenliği üstün ve sürekli bir siyasal iktidar olarak ele alırken, Rousseau egemenliği toplumun ortak iradesiyle ilişkilendirmiştir. Bu farklılaşma, siyasal iktidarın meşruiyetinin kaynağı ve toplumla kurduğu ilişki üzerinden de değerlendirilmesine zemin hazırlamıştır.

Modern devlet açısından meşruiyet ise yalnızca iktidarın hukuka uygun olmasıyla açıklanamamaktadır. Siyasal iktidarın hukukla sınırlandırılması, yetkilerin belirli kurallar doğrultusunda kullanılması ve bireylerin hukuki güvencelerinin korunması meşruiyet açısından önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra toplumun siyasal iradesinin dikkate alınması, rıza ve temsil mekanizmalarının işletilmesi de yönetme yetkisinin toplumsal kabulünü desteklemektedir. Bu çerçevede modern siyasal otoritenin meşruiyeti, hukuki düzen ile toplumsal kabulün birlikte ele alınmasını gerektirmektedir. Çalışmanın ulaştığı temel sonuç, modernleşmeyle birlikte meşruiyet düşüncesinin ortadan kalkmadığı, meşruiyetin dayanaklarının ve kurumsal biçimlerinin değiştiğidir. Dolayısıyla geleneksel yönetimlerden modern devlete geçiş, meşruiyetin ortadan kalkması değil, siyasal otoritenin kabulünü sağlayan dayanakların değişmesi olarak değerlendirilmelidir.

Bu bağlamda siyasal otoritenin meşruiyeti, hukuki sınırlar ile toplumsal kabul arasındaki ilişkinin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Bu ilişki, modern siyasal otoritenin yalnızca hukuki kurallara değil, aynı zamanda yönetilenlerin siyasal iradesi ve toplumsal kabulüne de dayandığını göstermektedir. Sonuç olarak modern devlet içerisinde meşruiyet, siyasal iktidarın sınırlandırılması ile yönetilenlerin siyasal iradesinin dikkate alınmasını birlikte içeren bir anlayış çerçevesinde şekillenmiştir.

KAYNAKÇA

BİRSİN, Mehmet. (2012). "Ortaçağdan Aydınlanmaya Kıta Avrupa'sında Meşruiyet Paradigmasının Dönüşümü". *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, Sayı: 4, ss. 5-23.

ÇETİN, Halis. (2003). "Demokratik Meşruiyet Versus Karizmatik Meşruiyet". *Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 27(1), ss. 91-108.

ÇETİN, Halis. (2003). "Siyasetin Evrensel Sorunu: İktidarın Meşruiyeti-Meşruiyetin İktidarı". *Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 58(3), ss. 61-88.

EKİZ, Serkan. (2020). "Jean Bodin'in Siyaset Felsefesinde Devlet ve Egemenlik". *Dokuz Eylül Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 22(2), ss. 633-691.

ERGUN, Turgay ve POLATOĞLU, Aykut. (1992). *Kamu Yönetimine Giriş*. Ankara: Türkiye ve Orta Doğu Amme İdaresi Enstitüsü Yayınları.

GÖNENÇ, Levent. (2001). "Meşruiyet Kavramı ve Anayasaların Meşruiyeti Problemi". *Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 50(1).

IŞIK, Salim. (2017). "J. J. Rousseau ve Egemenlik Anlayışı Üzerine". *İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 8(2), ss. 79-98.

KAYA, Mevlüt Alper. (2022). "Egemenlik Kavramı ve Siyasi Düşünürler". *Necmettin Erbakan Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 5(1), ss. 213-235.

KAPANİ, Münci. (1987). *Politika Bilimine Giriş*. Ankara: Bilgi Yayınevi.

KUTLUAY, Ferhat. (2019). "Siyasal Otorite Kavramının Tarihsel Seyri". *Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, VII(2), ss. 1-29.

ÖZKAN, Ali. (2020). "Siyasal Temsil: Bir Kavramın Dönüşümü". *Felsefe Dünyası*, Sayı: 71, ss. 232-262.

ÖZMAN, M. Aydoğan. (1964). "Devletlerin Egemenliği ve Milletlerarası Teşekküller". *Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 21(1), ss. 53-121.

ÖZTEKİN, Ali. (2001). *Siyaset Bilimine Giriş*. Ankara: Siyasal Kitabevi.

POGGI, Gianfranco. (2002). *Modern Devletin Gelişimi: Sosyolojik Bir Yaklaşım*. İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.

SAYGILI, Abdurrahman. (2010). "Modern Devlet'in Çıplak Sureti". *Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 59(1), ss. 61-97.

SATIR, İbrahim. (2018). "Siyasal Meşruiyetin Sağlanmasında Medyanın Rolü Üzerine Bir Değerlendirme". *Türkiye İletişim Araştırmaları Dergisi*, Sayı: 30, ss. 115-128.

ŞENOL, ... (2017). [Metindeki Şenol (2017: 46) kaynağının tam künyesi dosyada bulunmamaktadır.]

UYGUN, İbrahim Doğuhan. (2022). "Hukukun Üstünlüğü İlkesi". *Yeditepe Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 19(3), ss. 521-558.

VERGİN, Nur. (2010). *Siyasetin Sosyolojisi: Kavramlar, Tanımlar, Yaklaşımlar*. İstanbul: Doğan Kitap.

WEBER, Max. (1995). *Toplumsal ve Ekonomik Örgütlenme Kuramı*. Ankara: İmge Kitabevi.

WEBER, Max. (2012). *Ekonomi ve Toplum*. İstanbul: Yarın Yayınları.

WEBER, Max. (2017). *Meşru Egemenlik Biçimleri*

AVRUPA BİRLİĞİ DIŞ POLİTİKASINDA DEĞERLER VE ÇIKARLAR İKİLİĞİ

Arş. Gör. Dr. Özgür MENGİLER
Ankara Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Uluslararası İlişkiler Bölümü
ORCID: 0000-0003-4825-4387

ÖZET
Avrupa Birliği (AB) dış politikası örgütün temsil ettiği varsayılan normatif kimliğe bağlı olarak tanımlanmıştır. AB kurucu antlaşmaları da, demokrasi, hukukun üstünlüğü, insan hakları ve uluslararası hukuk gibi temel değerlerinin kendi hukuk düzeninin ayrılmaz parçasını oluşturduğunu belirtmektedir. Ancak, jeopolitik rekabetin arttığı günümüzde Birliğin dış politikasında değerler ve çıkarlar arasındaki ikilik belirginleşmiştir. AB kurucu antlaşmaları, dış politikanın bir yandan temel değerleri diğer yandan 'güvenlik, bağımsızlık ve bütünlük' çıkarlarını korumasını öngörmektedir. Uygulamaya bakıldığında, AB'nin kimi devletlere karşı temel değerlerin ihlal edildiği gerekçesiyle yaptırım öngörürken benzer ihlaller karşısında kimi devletlerle iş birliğinin devamını tercih ettiği görülmektedir. Bu durum, Birliğin uluslararası aktör olarak sınırlılığını gösterirken uluslararası normların evrensel niteliğini de zedelemektedir. Aslında söz konusu ikilik, uluslararası güvenlik dinamiklerinden çok Birliğin kendi yapısından kaynaklanmaktadır. Birincisi AB, değerlerin hukuk düzeniyle bir bütün oluşturmasına karşın, hem üye devletlerin tümü hem de üçüncü ülkeler için geçerli bütüncül bir insan hakları ve demokrasi politikası ya da mekanizmasından yoksundur. İkincisi, çıkarların güvenlikle bağlantılı olarak her zaman için AB normları bağlamında yer alması söz konusudur. Çünkü çıkarların tanımlanmasında Birlik kurumlarına gerekli siyasi, ekonomik ve sosyal tercihleri yapacak şekilde geniş yetki tanınmıştır. Bu çerçevede AB'nin küresel stratejisi, vatandaşları ve dış sınırlarının güvenliğinin güvence altına alınmasına temel değerlerin korunması karşısında öncelik vermiştir Üçüncü olarak AB dış politikası, uluslarüstüleşmiş olmadığından üye devletlerin farklı ulusal çıkarlarının uzlaştırılmasıyla şekillenmektedir. Üstelik üye devletlerin arasında olduğu kadar üye devletlerin kendi içindeki farklılık ve tepkilerin de uzlaştırılması gerekmektedir. Dördüncü olarak, Birliğin dış politikası yalnızca kimliğinin bir uzantısı olmayıp aynı zamanda kendi bütünleşmesinin güçlendirilmesine yönelmiştir. Dolayısıyla bütünleşme dış politika amaçlarını gerçekleştirmek için bir araç olduğu kadar dış politika da Birliğin kendini tanımlama sürecinde nesnel olmaktan çok öznel bir araç konumundadır. Sonuç olarak, AB dış politikasının kendi iç gerilimlerini yansıtan çıkarlarını önceleyecek şekilde taraflı olmayı sürdürmesi kaçınılmaz görünmektedir.
Anahtar Kelimeler: Avrupa Birliği, dış politika, ikilik, temel değerler, çıkarlar

THE DICHOTOMY OF VALUES AND INTERESTS IN EUROPEAN UNION FOREIGN POLICY

ABSTRACT
European Union (EU) foreign policy primarily rests on its so-called normative identity. This is also confirmed by the founding Treaties which refer to democracy, rule of law, human rights and international law as fundamental values integrated into the EU legal order. However, in a world of increasing geopolitical competition the dichotomy between the Union's values and interests has become more concrete than ever. EU law foresees both upholding the values and safeguarding the interests of 'security, independence and integrity' in EU external relations.

In practice, the Union sanctions certain states over an illegal act while opting for continuing cooperation with other states which have committed the very same act. This kind of uneven response puts limitations on the EU as an international actor and weakens the universal nature of international norms as well. The dichotomy between values and interests results from the Union's internal structure raher than dynamics of international security. First, the EU lacks a monolithic policy or mechanism on human rights and democracy. Secondly, security-related interests persist within the EU norms, as the Union institutions are vested with a wide margin of discretion in defining the interests. Hence, EU global strategy prioritizes its interest in guaranteeing the security of its citizens and territory over promotion of fundamental values. Thirdly, EU foreign policy, being not supranationalized, functions only through overcoming divisions among and even within member states. Fourthly, EU foreign policy is rather oriented towards reinforcing its integrity than being an extension of the Union. Thus, integrity through combined interests is a tool to achieve foreign policy goals whereas foreign policy is a means to define a constantly evolving 'EU self'. In sum, it becomes inevitable for the EU to pursue an interest-biased foreign policy.

Keywords: European Union, foreign policy, dichotomy, fundamental values, interests

PARLAMENTER ÇOĞUNLUKTAN KOALİSYON YÖNETİŞİMİNE: KKTC'DE HÜKÜMET İSTİKRARININ BELİRLEYİCİLERİ (1983–2026)

Prof. Dr. Bülent EVRE
Bahçeşehir Kıbrıs Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fak., Siyaset Bilimi ve Uluslararası İlişkiler
ORCID: 0000-0002-8851-4510

ÖZET
Bu çalışma, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde (KKTC) 1983–2026 döneminde kurulan hükümetlerin istikrarını koalisyon teorileri çerçevesinde incelemektedir. Çalışmanın temel amacı, hükümet istikrarının yalnızca hükümetlerin görev süreleri veya parlamenter çoğunluğun büyüklüğü üzerinden açıklanıp açıklanamayacağını sorgulamak ve istikrarı belirleyen parlamenter, örgütsel ve ilişkisel dinamikleri ortaya koymaktır. Bu çerçevede araştırma, hükümet istikrarını hükümet sürekliliği, kabine istikrarı, koalisyon bütünlüğü ve parlamenter istikrar olmak üzere dört analitik boyuta ayırmaktadır. Tarihsel-karşılaştırmalı araştırma tasarımının benimsendiği çalışmada hükümetlerin görev süreleri, koalisyon bileşimleri, parlamenter destekleri, kabine değişiklikleri ve sona erme biçimleri incelenmektedir. Veriler KKTC'nin resmî hükümet ve seçim kayıtları ile dönemsel haber kaynaklarından derlenmektedir. Analizde parlamenter güvenlik marjı, koalisyon ortaklarının sayısı, ana parti hâkimiyeti, koalisyon asimetrisi, ortakların parlamenter vazgeçilmezliği, parti içi istikrar ve koalisyon yönetişimi temel açıklayıcı değişkenler olarak ele alınmaktadır. Bulgular, parlamenter çoğunluğun büyüklüğünün hükümet istikrarını tek başına açıklamadığını göstermektedir. Özellikle dar çoğunluğun çok sayıda koalisyon ortağıyla birleşmesi ve parti içi krizlerin parlamenter desteği aşındırması hükümetlerin kırılganlığını artırmaktadır. Buna karşılık kabine değişikliklerinin sıklığı hükümetin veya koalisyonun zorunlu olarak sona ermesi anlamına gelmemektedir. Ayrıca aynı veya benzer koalisyon formüllerinin farklı başbakanlar altında farklı süreklilik sonuçları üretmesi, koalisyon yönetişimi ve liderlik kapasitesinin önemine işaret etmektedir. Çalışma, KKTC örneğinden hareketle hükümet istikrarının parlamenter çoğunluğun yalnızca büyüklüğünden değil, çoğunluğun nasıl yapılandığı ve yönetildiğinden kaynaklandığını ileri sürmektedir.
Anahtar Kelimeler: KKTC, koalisyon hükümetleri, hükümet istikrarı, koalisyon istikrarı, parlamenter çoğunluk, kabine istikrarı, koalisyon yönetişimi.

FROM PARLIAMENTARY MAJORITIES TO COALITION GOVERNANCE: DETERMINANTS OF GOVERNMENT STABILITY IN NORTHERN CYPRUS, 1983–2026

ABSTRACT
This study examines the stability of governments formed in the Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC) between 1983 and 2026 within the framework of coalition theories. Its primary objective is to assess whether government stability can be explained solely by government duration or the size of the parliamentary majority and to identify the parliamentary, organizational, and relational dynamics underlying government survival. Accordingly, the study conceptualizes government stability along four analytically distinct dimensions: government continuity, cabinet stability, coalition integrity, and parliamentary stability. Employing a historical-comparative research design, the analysis examines government duration, coalition composition, parliamentary support, cabinet changes, and modes of government termination.

The dataset is constructed from official government and electoral records of the TRNC and supplemented by contemporaneous news sources. The principal explanatory variables include the parliamentary security margin, number of coalition partners, dominance of the largest governing party, coalition asymmetry, parliamentary pivotality of coalition partners, intra-party stability, and coalition governance. The findings indicate that the size of the parliamentary majority alone does not adequately explain government stability. In particular, the combination of narrow parliamentary majorities and a larger number of coalition partners, as well as the erosion of parliamentary support resulting from intra-party crises, increases government vulnerability. By contrast, frequent cabinet changes do not necessarily lead to government or coalition termination. Moreover, the fact that identical or similar coalition formulas produce different durability outcomes under different prime ministers points to the importance of coalition governance and leadership capacity. Drawing on the TRNC case, the study argues that government stability depends not simply on how large a parliamentary majority is, but on how that majority is structured and governed.

Keywords: Turkish Republic of Northern Cyprus, coalition governments, government stability, coalition stability, parliamentary majority, cabinet stability, coalition governance.

TOPKAPI SARAYINDAKİ BİR GRUP MİNYATÜRLÜ ŞEHNÂMENİN İÇ MEKÂN BEZEMELERİNİN ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi S. Bilge KARAÖZ
Hacı Bayram Veli Üniversitesi Sanat ve Tasarım Fakültesi, Geleneksel Türk Sanatları
ORCID: 0000-0002-3627-4922

Ali İhsan MIHCI
Hacı Bayram Veli Üniversitesi Sanat ve Tasarım Fakültesi, Geleneksel Türk Sanatları
ORCID: 0009-0007-3205-3165

ÖZET
Topkapı Sarayı Müzesi Kütüphanesi'nde bulunan, Zübdetü't-Tevarih (TSMK, H.1321) ve Şehnâme-i Selim Han (TSMK, A.3595) adlı yazmalar, Osmanlı tasvir sanatının 16. yüzyıldaki gelişimini ve saray nakkaşhânesinin klâsik üslûbunu incelemek açısından önemli belgeler arasında yer almaktadır. Özellikle mimari tasvirlerinde iç mekân geometrik bezemelerini gösteren zengin örnekler içermektedir. Bu araştırmanın amacı, bu iki yazmada tasvir edilen iç mekân geometrik bezemelerini motif çeşitliliği, kompozisyon özellikleri, renk kullanımı ve desen kurgusu bakımından incelemek ve karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. Araştırmada tarama modeline dayalı betimsel yöntem kullanılmış; iki yazmada yer alan toplam 82 minyatür arasından iç mekân geometrik bezemeleri içeren 31 minyatür amaçlı örnekleme yöntemiyle belirlenmiştir. İncelenen bezemeler çizimlerle belgelenmiş, motifler sınıflandırılmış ve frekans dağılımları tablolar aracılığıyla ortaya konulmuştur. Bulgular, geometrik bezemelerin kare, altıgen, haçvari biçimler, geçme motifleri, İlhanlı yıldızı ve farklı kollara sahip yıldızlar gibi çeşitli geometrik birimlerden oluştuğunu göstermektedir. Motiflerin çoğunlukla tekil biçimler hâlinde değil, bağlantı elemanları ve tekrar ilişkileri aracılığıyla bir araya getirildiği; bu birleşimlerin negatif alanlarda yeni geometrik örüntüler meydana getirdiği belirlenmiştir. Zübdetü't-Tevârîh'te altı kollu yıldız, Şehnâme-i Selîm Hân'da ise altıgen motifinin öne çıkması, iki yazmanın bezeme repertuvarında hem ortaklıklar hem de farklılıklar bulunduğunu ortaya koymaktadır. Araştırma, minyatürlerdeki iç mekân geometrik bezemelerini sistematik biçimde belgeleyerek Osmanlı tasvir sanatında mimari mekânın bezeme yoluyla kuruluşunun ve yüzey düzenlemelerinin anlaşılmasına katkı sunmayı amaçlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Osmanlı minyatür sanatı, tasvir, Şehnâme, iç mekân, geometrik bezeme, motif analizi.

ANALYSIS OF THE INTERIOR ORNAMENTATION OF A GROUP OF ILLUSTRATED SHAHNAMEH MANUSCRIPTS IN THE TOPKAPI PALACE

ABSTRACT
The manuscripts Zübdetü't-Tevarih (TSMK, H.1321) and Şehnâme-i Selim Han (TSMK, A.3595), preserved in the Library of the Topkapı Palace Museum, are important sources for examining the development of Ottoman pictorial art in the sixteenth century and the classical style of the imperial nakkaşhane *(*court painting workshop). Their architectural depictions, in particular, contain rich examples of geometric ornamentation in interior spaces. This study aims to examine and comparatively evaluate the geometric ornamentation depicted in the interiors of these two manuscripts in terms of motif diversity, compositional characteristics, colour usage, and pattern structure. A descriptive research method based on the survey model was employed.

Of the 82 miniatures contained in the two manuscripts, 31 featuring geometric ornamentation in interior spaces were selected through purposive sampling. The ornaments examined were documented through drawings, the motifs were classified, and their frequency distributions were presented in tables. The findings reveal that the geometric ornamentation comprises various geometric units, including squares, hexagons, cross-shaped forms, interlacing motifs, Ilkhanid stars, and stars with varying numbers of arms. The motifs were found to be arranged predominantly not as isolated forms but through connecting elements and repetition patterns, with these combinations generating new geometric patterns in the negative spaces. The prominence of the six-pointed star in Zübdetü't-Tevarih and the hexagonal motif in Şehnâme-i Selim Han indicates both similarities and differences in the ornamental repertoires of the two manuscripts. By systematically documenting the geometric ornamentation of interior spaces in miniatures, this study aims to contribute to a better understanding of how architectural space was constructed through ornamentation and how surfaces were organised in Ottoman pictorial art.
Keywords: Ottoman miniature painting, pictorial representation, Şehnâme, interior space, geometric ornamentation, motif analysis.

GİRİŞ

Tarihsel ve toplumsal gelişim süreci içinde edinilen bilgi, sanat, ahlâk, örf ve âdetler ile geçmişten devralınan maddi ve manevi değerler bütünü, kültürü meydana getirmektedir. Toplumların kendilerini ifade etme biçimlerinin en temel vasıtalarından biri sanattır. Anadolu coğrafyasında hüküm süren çok sayıda medeniyetin geride bıraktığı kültürel birikim, bu topraklardaki son büyük imparatorluk olan Osmanlı Devleti'nin sanat anlayışında yeniden şekillenerek derin izler bırakmıştır. Bu kültürel sentezin en somut tezahürlerinden biri mimaridir. XIV. yüzyıldan XX. yüzyılın başlarına kadar uzanan geniş bir zaman dilimine yayılan Osmanlı mimarisi, farklı kültürel geleneklerden beslenerek kendine özgü bir üslûp geliştirmiştir. İslâm medeniyetlerinin genelinde mimariye atfedilen önem, Osmanlı'nın kuruluşundan çöküşüne dek devam etmiştir. Kesintisiz bir gelişimin izlendiği bu uzun süreç; Erken, Klâsik ve Batılılaşma olmak üzere üç temel dönem altında incelenmekte olup yüzyıllara yayılan zengin bir yapı envanteri ortaya çıkarmıştır[1]. Söz konusu mimari üretim, köy evlerinden kervansaraylara, köprülerden saraylara kadar uzanan geniş bir tipolojide, farklı toplumsal katmanlara hizmet verecek biçimde çeşitlenmiş ve detaylandırılmıştır[2]. Her bir dönemin karakteristik özelliklerini yansıtan mimari tasarımlar, imparatorluğun günümüze ulaşan en önemli kültürel miraslarını oluşturmaktadır.

Osmanlı mimarisinin ve toplumsal-kültürel hafızanın gelişip şekillenmesinde şüphesiz en büyük pay sanatkârlarındır. Osmanlı Devleti, sanatkâr yetiştirme ve yetenekli ustaları istihdam etme konusunda stratejik bir politika izlemiş olup, saray teşkilatı içerisinde bu zümreye özel alanlar tahsis etmiştir. Bu bağlamda, devletin resmî sanat faaliyetlerini yürüten en temel kurum Ehl-i Hıref teşkilatıdır[3]. Düzenli maaş karşılığında saraya bağlı çalışan bu sanatkârlar; doğrudan padişahı ve devleti için üst düzey eserler üretmişlerdir. Saray himayesinde ortaya konulan bu eserlerdeki yüksek nitelik ve titiz işçilik, serbest çalışan diğer sanatkârlar için de üslûp belirleyici bir model oluşturmuştur. Bu kurumsal ve sanatsal bütünlük içerisinde, imparatorluğun imar faaliyetlerini yönlendiren Hassa Mimarları Ocağı mensuplarının da yapım sürecine geçmeden evvel inşa edecekleri yapılar için plan çizdikleri bilinmektedir. Dönemin ifadesi ile buna "resim" adı verilmiştir.

---

[1] Özkeçeci. İ. vd. (2018). *XVII-XIX. Yüzyıllarda Osmanlı Dönemi Konut Mimarisinde İç Mekân Tavan Süslemelerine Genel Bir Bakış*, Journal of İnsan ve İnsan 5(17), 214.
[2] Mülayim. S. (2001). Ters Lale Osmanlı Mimarisinde Sinan Çağı ve Süleymaniye, 114, İstanbul.
[3] Bahattin. Y. (2008). *1545 Yılı Osmanlı Saray Sanatkârları,* Belleten 72 (264), 501.

Mimari terminolojide plan ve kroki karşılığında kullanılan resim ve tasvir ifadesi, model şeklindeki perspektif resim olarak görülür. Osmanlı mimarlarının elinden çıkan bu orijinal plan ve krokilerden günümüze ulaşanlar XVIII. yüzyıldan eskiye gitmez. Orijinal mimari taslakların yokluğunda, mekân kurgusunun minyatür sanatındaki tasvir biçimleriyle olan yapısal benzerlikleri Oya Şenyurt [4] tarafından detaylıca incelenmiştir. Bunun yanı sıra yazmalardaki tasvirlerde görülen mimari ögeler, günümüze ulaşmayan yapıların tespitinde ve mevcut binaların o dönemki fiziksel görünümlerinin anlaşılmasında görsel kaynak işlevi görmektedir. Bu yönüyle, Osmanlı yazmalarındaki tasvir sanatının belgeleyici niteliği son derece önemlidir. Buna ek olarak yazma eserlerde metnin ihtiva ettiği bilgilerin yanı sıra tezyinatı da eserin yazıldığı yüzyılın sanat anlayışı hakkında bilgi vermektedir[5].

Minyatür kelimesi, Orta çağ Avrupası'nda hazırlanan yazma eserlerin bölüm başlarında metnin ilk harfinin etrafına kızıl-turuncu “minium” ile (sülüğen, sülyen, kırmızı kurşun tozu) yapılan “miniatura” adlı tezhipten gelmekte ve "sülüğenle boyanmış" anlamını taşımaktadır ancak zamanla “minör” (küçük) kelimesinin etkisinde kalarak "küçük resim" anlamını da kazanmıştır[6]. Latince “miniare” kökünden türetilerek İtalyanca’ya “miniatura”, Fransızca’ya “miniature” biçiminde geçip zamanla yazma kitaplardaki resimleri ifade etmek için kullanılan terim, Türkçe’ye batı dillerinden girmiştir[7]. Ancak Osmanlı Dönemi kaynaklarında, tasvir veya nakış kelimelerinin tercih edildiği görülmektedir. Osmanlı’da nakış kelimesinin ifade ettiği anlamın sadece kitapta bulunan resimlerle ilişkilendirilmiş olması, nakış kelimesinin minyatür kelimesi ile direkt olarak karşılanamayacağını gösterir[8]. İslâm öncesi dönemlere kadar inen el yazması ressamlığı Orta çağ boyunca yaygın bir sanat dalı olmuştur. İslâm dünyasında hat sanatıyla birlikte gelişen bu sanat, XIII. yüzyıldan XIX. yüzyıla değin egemen resim türü haline gelmiştir[9].

Türk tasvir sanatında, kompozisyonu şekillendiren en önemli unsur, resmin biçim özelliklerini betimleyici bir karaktere yönlendiren gerçeklik yaklaşımıdır. Bu açıdan bakıldığında Türk tasvirleri, konu ve nesnel ortam açısından yararlandığı gerçeklik durumu ile natüralist; tasarlanmış gerçeklik durumu ile de soyut bir resimdir.[10] Bahsi geçen bu farklılıklar dizgesi çerçevesinde üretilen ve görsel hafızayı şekillendiren yazma eserler içerik ve konuları bakımından tasnif edildiğinde, birkaç farklı konu öbeği etrafında toplanır[11]. Sosyal ve günlük hayatı betimleyen eserler, dinî muhtevalı metinler ve tarihî olayları aktaran vakayinameler. Bilhassa tarihî konulu eserler, Osmanlı minyatürlü eserler yelpazesindeki en geniş dilimi oluşturmaktadır. Buna ek olarak el yazmalarının içerisinde bulunan tasvirler, mekân ve olay örgüsüne yaklaşımlarındaki gerçekçi tutumlarıyla son derece önemli bir belgesel değer taşımaktadır[12]. Bu tasvirler; tarih, sosyoloji, kültür tarihi ve diğer sosyal bilim alanlarında yürütülen araştırmalarda başvurulan temel görsel belgeleri oluştururlar.

Görsel verilerin belgesel niteliğini pekiştiren temel unsur, minyatürlerin eşlik ettiği metinlerin tarihsel alt yapısıdır. Osmanlı Devleti’nde tarih yazıcılığına dair ilk örnekler, devletin kuruluşundan yaklaşık bir asır sonra ortaya çıkmıştır.

---

[4] Şenyurt. O. (2015). Osmanlı Mimarisinin Temel İlkeleri Resim ve İnşâ Üzerinden Geliştirilen Farklı Bir Yaklaşım, İstanbul, 235-244.

[5] Emlak. S. (2021). *Mitolojik Olarak Simurg Figürü ve Fransa Milli Kütüphanede Bulunan Fıraknâme Eserindeki Tasvirleri*, SDÜ ART-E, Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi, cilt 14, sayı 27, 333.

[6] Mahir. B. (2005). Osmanlı Minyatür Sanatı, İstanbul, 173.

[7] Tahirzâde. H. (1953). *Minyatür Tekniği*, AÜ İFD, sayı 1, Ankara, 29.

[8] Konak. R. (2015). *Minyatür Sanatı Bağlamında Minyatür ve Nakış Kelimelerinin Anlamına İlişkin Bilgiler,* Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 19, 229.

[9] Renda. G. (1997). *Minyatür*, Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi, İstanbul, 1262-1271, 1262.

[10] Konak, R. (2007). *Minyatür Sanatında Derinlik Anlayışı*. Journal Of Fine Arts, Sanat Dergisi. S.12, 98.

[11] And. M. (2025). Osmanlı Tasvir Sanatları 1: Minyatür, İstanbul, s.181.

[12] Mahir, a.g.e., 2005, 173.

XIV. ve XV. yüzyıllarda Osmanlı tarih yazımı; ağırlıklı olarak hükümdarların yaşam öykülerini, siyasi faaliyetlerini ve askerî başarılarını merkeze alan eserler şeklinde gelişim göstermiştir. Başlangıçta yalın birer kronik veya gazavatnâme niteliği taşıyan bu metinler, zamanla destansı ve edebî bir forma bürünmüştür[13]. Bu destansı tarih yazımının öncü ve en yetkin örneği, Firdevsî'nin XI. yüzyılın başlarında tamamladığı Şehnâme'dir. İlerleyen süreçte kendi adıyla anılacak bir türe kaynaklık eden bu eser, İran'ın mitolojik tarihini kronolojik bir sırayla ele almaktadır[14].

Şehnâme yazma geleneği, Selçuklu ve Osmanlı İmparatorluğu'nda derin izler bırakmıştır. Bu güçlü kültürel etkileşim neticesinde, dönemin kronolojik tarih konulu eserlerinin geneline "Şehnâme" adı verilmiş ve bu üslûptaki tarih yazıcılığı Osmanlı Sarayı'nda büyük bir önem ve himaye görerek kurumsallaşmıştır. Bu dönüşümün bir neticesi olarak, XV. yüzyıldan itibaren Osmanlı coğrafyasında Firdevsî'nin Şahnâme'sine duyulan ilginin belirgin biçimde arttığı görülmektedir. Padişahlar, kendi dönemlerinin tarihini Şahnâme üslûbunda hazırlanması için çoğunlukla Farsça'ya hâkim şairleri görevlendirmişlerdir. Böylelikle, tarih yazımı ile edebî üretim arasında güçlü bir etkileşim ortaya çıkmış, saray çevresinde tarihî olayların destansı bir dille anlatıldığı yeni bir gelenek şekillenmiştir.

Fatih Sultan Mehmed Devri'nde temelleri atılan bu geleneğin, kurumsal bir nitelik kazanarak resmiyet bulması ise Kanûnî Sultan Süleyman Devri'nde gerçekleşmiştir. Kanûnî Devri'nde şehnâmeciliğin, saray bürokrasisi içinde belirli bir görev tanımı ve hiyerarşik konuma sahip bir kurum hâline geldiği görülmektedir. 1550'lerde kurumsallaşan şehnâmecilik, 1601 yılında etkisini kaybetmiş ve yerini "vaka yazmak anlamına gelen" [15] vekayinüvisliğe bırakmıştır. Bu süreçte resmî olarak beş şehnâmeci'nin görev yaptığı bilinmektedir. Şehnâmecilik görevine atanan ilk isim Fethullah Ârifi Çelebi'dir[16]. Fethullah Ârifî Çelebi tarafından kaleme alınan Süleymannâme, Osmanlı İmparatorluğu'nda şehnâmecilik geleneğinin mihenk taşını oluşturmuş ve kendisinden sonra gelen şehnâmeciler için büyük bir önem teşkil etmiştir. Arifi'nin ölümü ile H. 969'da yerine, Eflâtûn-ı Şirvânî atanmış[17], ancak mevcut kayıtlarda onun tarafından kaleme alınmış herhangi bir şehnâme örneğine rastlanılmamıştır. Üçüncü şehnâmeci Seyyid Lokmân, Eflâtun'un azledildiği 1595 yılına kadar bu makamda görev yapmış ve bu süreç içerisinde en çok eser üreten Şehnâmeci unvanına sahip olmuştur. Görevden azledilen Seyyid Lokmân yerine atanan Tâlikîzâde Mehmed Subhî, 28 Ağustos 1591 tarihinde mensur bir şehnâme kaleme almak üzere şehnâmeci olarak görevlendirilmiştir[18]. Hasan Hükmî, Dîvân-ı Hûmâyun kâtipliği yaptıktan sonra (H.1010-M.1601) onun yerine geçirilmiştir ve kayıtlara geçen son şehnâmecidir.

Osmanlı tasvir sanatındaki mimarilerin iç mekân geometrik bezemelerini belirlemek amacıyla Topkapı Sarayı Müzesi Kütüphanesi'nde muhafaza edilen ve içerisinde 38 minyatür yer alan Zübdetü't-Tevârîh'ten (H.1321) 23, içinde 44 minyatür yer alan Şehnâme-i Selîm Hân'dan (A.3595) 8 adet olmak üzere, 2 adet yazmadaki iç mekân tasvirlerinde geometrik bezeme yer alan toplam 31 adet minyatür araştırma kapsamına alınmıştır.

Yazma eserlerde bulunan tasvirlerdeki mimarilerin iç mekân geometrik bezemelerinin; sembolik anlam, renk, desen, teknik ve kompozisyon özelliklerinin tipolojik analizleri literatürde daha önce yapılmamıştır.

[13]Browne E. G. (1902). İran Edebiyatı Tarihi, Londra, 670.
[14]Nöldeke. T. (1896). Das İranische Nationalepos, Strassburg, 13.
[15] Afyoncu. E. (2006) Osmanlı Tarih Yazıcılığı, 561, İstanbul.
[16] Öztürk. N. (1999). *Osmanlılarda Tarih Yazıcılığı Üzerine*, Tarih Dergisi (35),261.
[17] Dedeyev. B. (2017). *16. Yüzyıl Osmanlı Saraylarında Azerbaycanlı Hattat ve Katipler*, Türk Kültürü ve Hacı Bektaşi Veli Araştırma Dergisi, (83), 97, Bakü.
[18] Kütükoğlu. B. (2008). *Lokman b. Hüseyin. TDV İslâm Ansiklopedisi*, (27), 208-209, Ankara.

Bu geometrik bezemelerin çizimlerinin yapılarak iç mekân tasvirlerine dair nicel bir tipolojinin oluşturulması ve belgelenmesinin özgün bir araştırma niteliğinde olduğu söylenebilir. Bu analizler, araştırmacılar ve icracı sanatkârlar için başvuru kaynağı olarak değerlendirilebilir.

YÖNTEM

Evren ve Örneklem

Araştırma kapsamında incelenen Şehnâme-i Selîm Hân (TSMK, A.3595) ve Zübdetü't-Tevârîh (TSMK, H.1321) adlı yazma eserlerin yüksek çözünürlüklü dijital kopyaları, T.C. Cumhurbaşkanlığı Millî Saraylar İdaresi Başkanlığı'na yapılan resmî başvurular sonucunda temin edilmiştir. Yazmalarda yer alan iç mekân bezemelerinin incelendiği araştırmada, tarama modeline dayalı betimsel yöntem kullanılmıştır. Araştırma sürecinde kitap, tez, makale ve diğer yazılı ve görsel kaynaklar taranmış ayrıca yazma eser kütüphaneleri ile müzelerin kataloglarından yararlanılmıştır.

Araştırmanın evrenini, Topkapı Sarayı Müzesi Kütüphanesi koleksiyonunda bulunan ve Osmanlı şehnâmecilik geleneğini temsil eden iki yazmada yer alan toplam 82 minyatür oluşturmaktadır. Bu kapsamda Seyyid Lokman tarafından kaleme alınan Zübdetü't-Tevârîh adlı yazmadaki 38 minyatür ile Şehnâme-i Selîm Hân adlı yazmadaki 44 minyatür araştırmanın evrenine dahil edilmiştir. Araştırmanın örneklemi ise iç mekân kurgusu barındıran ve geometrik bezeme örnekleri içeren, amaçlı örnekleme yöntemiyle belirlenen 31 minyatürden oluşmaktadır. Bu minyatürlerin 23'ü Zübdetü't-Tevârîh, 8'i ise Şehnâme-i Selîm Hân adlı yazmadan seçilmiştir. Örneklemde yer alan minyatürler, iç mekânlardaki geometrik bezemeler esas alınarak çizim ve tablolar aracılığıyla belgelenmiş; renk, desen, teknik ve kompozisyon özellikleri bakımından analiz edilerek yorumlanmıştır.

BULGULAR

Araştırma kapsamında, Topkapı Sarayı Müzesi Kütüphanesi'nde (TSMK) kayıtlı Zübdetü't-Tevârîh (H.1321) ve Şehnâme-i Selîm Hân (A.3595) adlı iki minyatürlü yazma incelenmiştir. İlk yazmada bulunan minyatürlerden 23'ü, ikinci yazmada bulunan minyatürlerden ise 8'i araştırmanın örneklemini oluşturmuştur. Belirlenen toplam 31 minyatürün iç mekân geometrik bezemeleri renk, desen ve kompozisyon özellikleri bakımından analiz edilmiştir.



Şekil 1. Zübdetü't-Tevârîh, Âsâr-ı Ya‘kûb aleyhi’s-selâm ve Âsâr-ı Yûsuf aleyhi’s-selâm H.1321v33a.

Varak 33a’da yer alan ve TSMK H.1321 envanter numarasına kayıtlı Âsâr-ı Ya‘kûb aleyhi’s-selâm adlı eserin boyutları 27,5 × 47,6 cm’dir. Eserde sıvama, noktalama ve tarama teknikleri kullanılmıştır. Altın, mavi, gümüş, yeşil, pembe, leylak ve kurşuni renkler görülmektedir. Eserin günümüzdeki durumuna bakıldığında, bazı yerlerinde rutubet lekeleri ve kararmalar bulunduğu, kullanılan gümüşün ise oksitlenerek karardığı görülmektedir. Tasvir, kardeşleri tarafından kuyuya atılan Hz. Yusuf’un, Mısır’a davet ettiği babası Hz. Yakup ve affettiği on bir kardeşiyle buluşmasını konu almaktadır. Dikey kompozisyon altın cedvel, siyah iplik ve lacivert kuzu ile sınırlandırılmış ve yatay bir şeritle iki ana bölüme ayrılmıştır. Yükseltilmiş bir seki üzerinde kurgulanan üst bölümde Hz. Yakup ve Hz. Yusuf yer almaktadır. Mimari kot farkı ve iki peygamberin diğer figürlere göre daha büyük ölçekte tasvir edilmesi, kompozisyonda belirgin bir hiyerarşi oluşturmaktadır. Hz. Yusuf, başındaki tacı, alev halesi, sakalsız yüzü ve idealize edilmiş yüz hatlarıyla ayırt edilirken, karşısındaki Hz. Yakup beyaz sakallı ve haleli olarak tasvir edilmiştir.

Platformun alt kademesinde, merkezdeki mermer dokulu çeşmenin iki yanında simetrik olarak konumlandırılan on bir figür, Kur’an-ı Kerim’deki anlatıya uygun şekilde Hz. Yusuf’un kardeşlerini temsil etmektedir. Alt bölümde ise huzura kabul edilmeyi bekleyen on üç figürün yer aldığı dış mekân tasvir edilmiştir.

Dış mekândan başlayarak iç bölüme kadar devam eden yapının ana zemini (Şekil 2) plan olarak cephe görünümündedir. Yüzey, leylak tonlarında sıvama tekniği ile boyanmış olup, yüzeyi, lacivert tahrirli altıgen motifi ile bezelidir. Altıgenlerin sonsuz tekrar etmesi petek formuna sahip zemin dokusu meydana getirmektedir. Her bir altıgen biriminin merkezinde, soldan sağa doğru ardışık biçimde sıralanan lacivert, altın ve turuncu noktaların yer aldığı ve zamanla bir kısmının silindiği görülmektedir.

Sur yapısının en geniş duvarı, cepheden görülür, yüzeyinde ise on iki kollu yıldız deseni yer alır ve yer yer kararmalar mevcuttur (Şekil 3). Cepheden görülen duvarın üzerinde kemerli bir

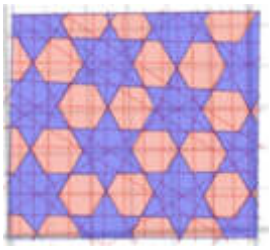
kapı açıklığı resmedilmiştir. Bu sayede iç ve dış mekân arasında geçiş sağlanmış ve mekâna derinlik etkisi kazandırılmıştır. Tasvirin geneline hâkim olan simetrik düzen, mimari kurguda da sürdürülmektedir. Dışa doğru genişleyen yan duvarlar, desen ve renk kullanımı bakımından karşılıklı simetrik olarak tasarlanmıştır. Üç katmandan oluşan bu duvarlar, birbirlerinden siyah tahrirli altın bir cedvel vasıtasıyla ayrılmaktadır. Söz konusu mekânın yan duvarlarında üç faklı bezeme örneği tespit edilmiştir. En alt katmanda yer alan duvar bölümü sıvama pembe ile doldurulmuş olup, koyu kırmızı tahrirler ile oluşturulmuş geometrik bir desen ile bezelidir (Şekil 5). Desen, belli aralıklar ile dizilen ve merkezi altın noktalar ile süslü kare birimleri üzerine temellendirilmiştir (Şekil 6). Kare birimlerinin bir araya gelmesi sonucunda negatif boşluklarda, merkezi turuncu ve lacivert noktalar ile artı/haç motifinin oluşumu görülmektedir.



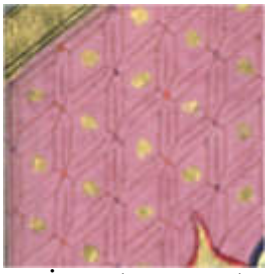
Şekil 2. Figürlerin ayağının altında bulunan zemin v33.a



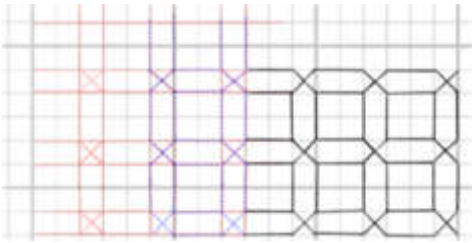
Şekil 3. Figürlerin arkasındaki sur duvarı



Şekil 4. Altı kollu yıldız desen analizi

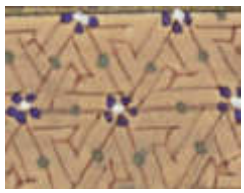
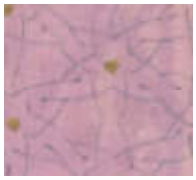
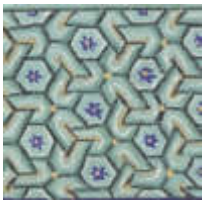
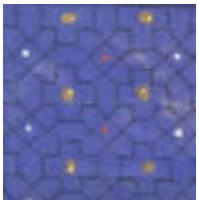
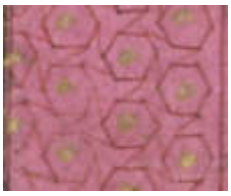


Şekil 5. İç mekân yan duvar



Şekil 6. Kare desen analizi

Tablo 1. Yazmalarda görülen iç mekân geometrik bezemeler

		
Kare-Haç Motifi	Fırıldak	6 Kollu Yıldız
		
4 Kollu Yıldız-Kare	12 Kollu Yıldız	6 Kollu Yıldız-Örgü Motifi
		
Altıgen-Geçme	Haç- Haçvari-Artı	Labrys/Geçme
		
12 ve 5 Kollu Yıldız	Altıgen-Fırıldak	İlhanlı Yıldızı-Haç Motifi

İncelenen iki yazmada tespit edilen iç mekân bezemelerinin Tablo 1'de ana karakterini oluşturan geometrik birimleri görülmektedir. Kompozisyonlardaki diğer bezeme unsurları bu ana birimlerin türevleridir. Tipolojik analizler, motiflerin büyük oranda bağımsız ögeler olarak değil, bağlantı elemanlarıyla birleşimler üzerinden kurgulandığını göstermektedir. İki eserin ortak tasarım özelliklerine sahip olduğu ve geçiş motiflerinin benzerlik sergilediği söylenebilir. Birleştirici özellikteki motifler çoğunlukla "Beş kollu yıldız" ve "Altıgen"dir.

Ana ve geçiş motiflerinin eklemlenmesi, desenin negatif alanlarında yeni örüntülerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bu durum temelde iki yöntemle gerçekleşmektedir. İlkinde, tekil bir motifin düzenli tekrarıyla kurulan düzenlerde birimlerin arasında negatif desenler oluşmaktadır. Nitekim "İlhanlı yıldızı"nın tekrar eden birleşiminde boşluk alanlarında meydana gelen haçvari motifler bu örüntüye örnektir. İkincisi ise iki farklı geometrik motifin bir araya getirilmesi ile oluşur.

İncelenen örneklerde sıkça görülen bu uygulamada, "On iki kollu yıldız"lar ile "Beş kollu yıldızlar"ın birleşiminden doğan negatif alanlarda "Altıgen"ler oluşmaktadır. Söz konusu negatif desenler, uygulanan renk ve dolgularla yüzeyin görsel etkisini artırmakta böylelikle ışık-gölge tekniğinin bulunmadığı minyatürlerde yüzeye derinlik hissi kazandırmaktadır.

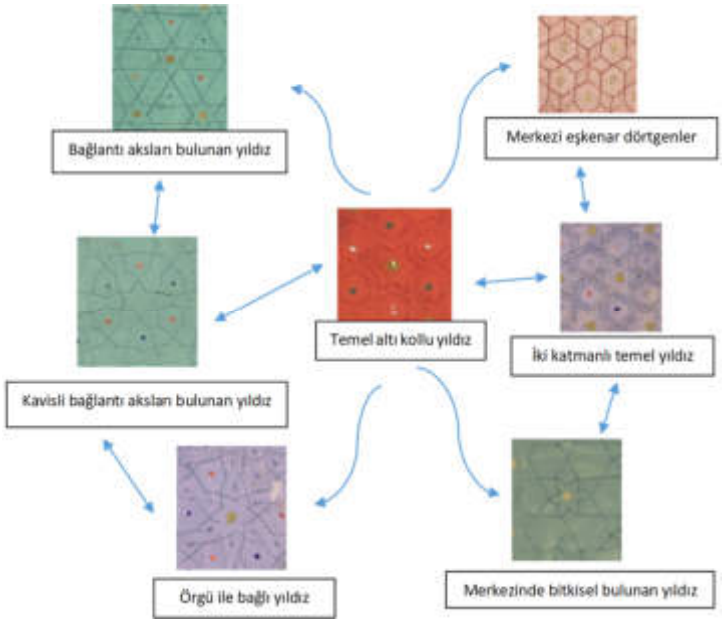
Tablo 2. Zübdetü't-Tevârih minyatürlerinin iç mekân geometrik bezemelerindeki motiflerin dağılımı

Seçenekler	**f**	**%**
Beş kollu yıldız	5	4
Kare	22	16
Haç	25	18
Labrys/Geçme	0	0
Altı kollu yıldız	48	35
Altıgen	11	8
Geçme	4	3
On iki kollu yıldız	5	3
Dört kollu yıldız	3	2
İlhanlı yıldızı	15	11
Toplam	**138**	**100**

Not: Yüzdeler, frekans değerleri üzerinden hesaplanmış ve en yakın tam sayıya yuvarlanarak gösterilmiştir.

Zübdetü't-Tevarih el yazmasının iç mekân süslemelerinde Tablo 2'de görüldüğü üzere, toplam 138 adet geometrik motif tespit edilmiştir. Bu motifler, %35 "Altı kollu yıldız", %18 "Haç", %16 "Kare", %11 "İlhanlı yıldızı", %3 "On iki kollu yıldız" ve %4 "Beş kollu yıldız", %3 "Geçme" ve %2 "Dört kollu yıldız"dır. Bunun yanı sıra, "Labrys/geçme" motifinin hiç kullanılmadığı görülmektedir.
Zübdetü't-Tevarih'te en çok görülen "Altı kollu yıldız" (%35) motifidir. Bunun sebebi "altı kollu yıldız" yedi farklı örüntü oluşturur. Bu örüntüler Şekil 7'de görülebilir.

Şekil 7. İç mekân geometrik bezemelerde görülen altı kollu yıldız ile oluşan örüntüler.



Zübdetü't-Tevarih adlı eserde, Şekil 7'de görüldüğü üzere "Altı kollu yıldız" ya "altıgen" motiflerle birleşir ya da eşkenar dörtgenlerin birleşmesiyle örüntüler oluşturur. Bir diğer örüntüde ise, çift katmanlı yıldız ve yıldızın merkezinde altın nokta görülmektedir.
"Altı kollu yıldızlar" incelendiğinde, birbirine bağlantı şekilleri dikkat çeker. Şekil 7'nin sol tarafındaki örüntüler incelendiğinde, bu bağlantıların üç farklı şekilde yapılmış olduğu görülmektedir. İlkinde yıldızlar düz bağlantı akslarıyla birbirine bağlanmakta ve aradaki boşluklarda üçgenler oluşmaktadır. İkincisinde kavisli bağlantılar kullanılarak iç bükey altıgenler oluşmakta ve genel görünümde dairesel bir etki ortaya çıkmaktadır. Üçüncüde ise bu kavisli bağlantılar birbirinin altından ve üstünden geçirilerek örgü motifine dönüştürülmekte, negatif alanlarda düzensiz altıgenler oluşmaktadır.
Şehnâme-i Selim Han'da yer alan toplam 44 minyatürden 8 adedinde iç mekân unsurları tespit edilmiştir. Bu tasvirlerden iki tanesi aynı varak üzerinde yer almaktadır, bir diğeri ise karşılıklı çift sayfa düzeninde kurgulanmıştır. Minyatürler genel olarak iki metin bloğu arasına yerleştirilmiş olup, kompozisyonlar yatay dikdörtgen olarak tasarlanmıştır. Tasvirli alanlar metin kutularından siyah tahrirli altın bir cetvel ile ayrılmaktadır. Tam sayfa minyatürlerde ise; siyah tahrirli altın cetvel, siyah iplik ve lacivert kuzu ile çevrelenmiştir ve eserin renklendirilmesinde, sıvama tekniği tercih edilmiştir.
Şehnâme-i Selim Han yazmasında tespit edilen iç mekân geometrik bezemeleri, Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3. Şehnâme-i Selim Hân minyatürlerinin iç mekân geometrik bezemelerindeki motiflerin dağılımı

Seçenekler	**f**	**%**
Beş kollu yıldız	5	9
Kare	8	14
Haç	9	16
Labrys/Geçme	2	3
Altı Kollu yıldız	3	5
Altıgen	10	18
Geçme	7	12
On iki kollu yıldız	0	0
Dört kollu yıldız	4	7
İlhanlı yıldızı	9	16
Toplam	**57**	**100**

Not: Yüzdeler, frekans değerleri üzerinden hesaplanmış ve en yakın tam sayıya yuvarlanarak gösterilmiştir.

Şehnâme-i Selim Han (TSMK A.3595) minyatürlerinin iç mekân geometrik bezemelerinde toplam 57 adet motif birimi tespit edilmiştir. Bunlar %18 "Altıgen", %16 "İlhanlı yıldızı", %16 "Haç", %14 "Kare", %12 "Geçme", %9 "Beş kollu yıldız", %7 "Dört kollu yıldız", %5 "Altı kollu yıldız", %3 "Labrys/geçme" motifleridir. Bezemelerde "On iki kollu yıldız" motifi yer almamıştır. En baskın "Altıgen" (%18) motifidir. Özellikle yüzeyde kabartma hissi oluşturan iki katmanlı "Altıgen" (Şekil 7), görsel derinlik sağlaması nedeniyle mimari yapıların zemin bölümlerinde sıklıkla tercih edilmiştir. "Altıgen"den sonra en çok "Haç" (%16) ve "İlhanlı yıldızı" (%16) motiflerinin örüntülerde yer aldığı görülür ve bezemelerin yarısına yakınının bu üç motif ile oluştuğu söylenebilir. Sık görülen diğer motifler ise "Kare" (%14) ve "Geçme"dir (%12).

Özellikle duvar yüzeylerinde “Kare”, kapı açıklıklarını çevreleyen bordürlerde ise “Geçme” motiflerinin kullanıldığı söylenebilir. “On iki kollu yıldız” ise bu yazmanın minyatürlerinin iç mekân geometrik süslemelerinde yer almamıştır. Yıldız örüntüleri olarak yalnızca “Beş kollu yıldız” ve “Dört kollu yıldız” ve örüntüleri görülür.

SONUÇ

Topkapı Sarayı Müzesi Kütüphanesi’nde bulunan, Zübdetü't-Tevarih (TSMK, H.1321) ve Şehnâme-i Selim Han (TSMK, A.3595) adlı yazmalar, Osmanlı tasvir sanatının 16. yüzyıldaki gelişimini ve saray nakkaşhânesinin klâsik üslûbunu incelemek açısından önemli belgeler arasında yer almaktadır. Özellikle mimari tasvirlerde iç mekân geometrik bezemeleri çok çeşitli ve zengindir. Bu araştırmada, iki minyatürlü yazmada yer alan iç mekân geometrik bezemeleri; motif çeşitliliği, desen kurgusu, kompozisyon özellikleri ve renk kullanımı bakımından incelenmiştir. Toplam 82 minyatür arasından iç mekân geometrik bezeme içeren 31 minyatürün değerlendirilmesi sonucunda, Osmanlı minyatürlerinde mimari iç mekânların yalnızca olayların gerçekleştiği bir arka plan olarak değil, farklı geometrik birimlerin düzenlenmesiyle görsel bütünlük kazanan bezemeli yüzeyler olarak da ele alındığı görülmüştür.

Araştırmanın önemli bulgularından biri, geometrik bezemelerin tekil motiflerin tekrarından ibaret olmadığıdır. İncelenen örneklerde kare, altıgen, haçvari biçimler, geçmeler, İlhanlı yıldızı ve farklı kollara sahip yıldız motifleri, bağlantı aksları ve tekrar ilişkileri aracılığıyla bir araya getirilmiştir. Bu birleşimler, ana motiflerin yanı sıra negatif alanlarda ortaya çıkan ikincil geometrik biçimlerin de desenin kuruluşunda etkin rol oynadığını göstermektedir. Özellikle yıldız motiflerinin diğer geometrik birimlerle birleşmesi, boşlukların üçgen, altıgen ve farklı çokgen biçimlere dönüşmesini sağlamaktadır. Böylece bezeme, yalnızca yüzeyi dolduran bir unsur olmaktan çıkarak yüzeyin ritmini, bütünlüğünü ve görsel algısını belirleyen bir kompozisyon ögesine dönüşmektedir.

Motif dağılımlarının karşılaştırılması, iki yazma arasında ortak bir geometrik bezeme grubunun bulunmasıyla birlikte motiflerin kullanım sıklıklarının farklılaştığını ortaya koymaktadır. Zübdetü’t-Tevârîh’te 138 motif birimi içerisinde altı kollu yıldız 48 birimle en sık karşılaşılan motifken Şehnâme-i Selîm Hân’da 57 motif birimi içerisinde altıgen 10 birimle ilk sırada yer almaktadır. İlk yazmada altı kollu yıldızın, ikinci yazmada ise altıgenin öne çıkması, geometrik bezeme repertuvarının iki eser arasında aynı yoğunlukta kullanılmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, bu farklılıkların tek başına belirli bir üslup değişimini veya tarihsel gelişim çizgisini kanıtladığı söylenemez. Söz konusu durumun yazmaların üretim bağlamları, tasvir edilen mekânlar ve bezeme kompozisyonlarıyla ilişkisi, daha geniş bir örneklem üzerinden yapılacak araştırmalarla değerlendirilmelidir.

Renk ve boyama özellikleri ile kompozisyon düzeni birlikte ele alındığında, geometrik bezemelerin mimari yüzeylerin görsel olarak ayrıştırılmasına ve mekânsal etkinin güçlendirilmesine katkıda bulunduğu anlaşılmaktadır. Minyatürlerde gerçekçi ışık-gölge yerine, motiflerin tekrarı, renk karşıtlıkları, tahrirleri ve negatif alanlarda oluşan biçimleri yüzeyde derinlik ve hareket algısını destekleyen unsurlar olarak değerlendirilebilir. Bu özellikler, geometrik bezemelerin mimari tasvirin bütününden bağımsız düşünülmemesi gerektiğini; mekânın kompozisyon kuruluşuyla birlikte incelenmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Araştırmanın diğer bir boyutu, tarihsel anlatı ile mimari tasvir arasındaki ilişkinin değerlendirilmesidir. Yazmalardaki mekân ve bezeme unsurları, anlatının geçtiği döneme ilişkin doğrudan ve değişmez tarihsel belgeler olarak kabul edilmemelidir. Tasvirlerde, olayın anlatısal gerekliliklerinin yanı sıra eserin üretildiği dönemin sanatsal tercihleri ve nakkaşların görsel anlatım anlayışı da etkili olabilir.

Bu nedenle mimari bezemelerin tarihsel gerçeklikle ilişkisi değerlendirilirken yazmaların metinleri, üretim tarihleri, sanat çevreleri ve mevcut mimari örneklerle karşılaştırmalı incelemeler yapılması gerekmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, Zübdetü't-Tevârîh ve Şehnâme-i Selîm Hân yazmalarındaki iç mekân geometrik bezemelerini motif temelli ve karşılaştırmalı bir yaklaşımla belgeleyerek Osmanlı minyatür sanatında bezeme kompozisyonlarının incelenmesine yönelik sistematik bir değerlendirme sunmaktadır. Motiflerin sınıflandırılması, çizimlerle belgelenmesi ve frekans dağılımlarının karşılaştırılması, yazmalardaki geometrik bezeme repertuvarının somut veriler üzerinden değerlendirilmesine imkân sağlamıştır. Bununla birlikte araştırmanın iki yazma ve geometrik bezeme içeren 31 minyatürle sınırlı olması, bulguların Osmanlı minyatür sanatının tamamına genellenmesini engellemektedir. Gelecekte farklı dönemlere ve sanat çevrelerine ait yazmaların benzer ölçütlerle incelenmesi, motiflerin biçimsel dönüşümlerinin, mekânla ilişkilerinin ve kompozisyon içindeki işlevlerinin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Bu yönüyle araştırma, Osmanlı minyatürlerinde mimari iç mekân geometrik bezemelerinin belgelenmesi ve karşılaştırmalı çalışmalarda değerlendirilmesi için bir başlangıç çerçevesi oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

Afyoncu, E. (2006). Osmanlı Tarih Yazıcılığı. İstanbul: Yeditepe Yayınevi.

And, M. (2025). Osmanlı Tasvir Sanatları 1: Minyatür. İstanbul: Yapı Kredi Yayınları.

Bahattin, Y. (2008). 1545 Yılı Osmanlı Saray Sanatkârları. Belleten, 72 (264), 501–530.

Browne, E. G. (1902). A Literary History of Persia [İran Edebiyatı Tarihi]. London: T. Fisher Unwin.

Dedeyev, B. (2017). 16. Yüzyıl Osmanlı Saraylarında Azerbaycanlı Hattat ve Kâtipler. Türk Kültürü ve Hacı Bektaş Veli Araştırma Dergisi, (83), 97–118.

Emlak, S. (2021). Mitolojik Olarak Simurg Figürü ve Fransa Millî Kütüphanesinde Bulunan Fıraknâme Eserindeki Tasvirleri. SDÜ ART-E Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi, 14(27), 333–348.

Konak, R. (2007). Minyatür Sanatında Derinlik Anlayışı. Journal Of Fine Arts, Sanat Dergisi. S.12,97-102.

Konak, R. (2015). Minyatür Sanatı Bağlamında Minyatür ve Nakış Kelimelerinin Anlamına İlişkin Bilgiler. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 19(2), 229–240.

Kütükoğlu, B. (2008). Lokman b. Hüseyin. TDV İslâm Ansiklopedisi. (27), 208–209, Ankara: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

Mahir, B. (2005). Osmanlı Minyatür Sanatı. İstanbul: Kabalcı Yayınevi.

Mülayim, S. (2001). Ters Lale: Osmanlı Mimarisinde Sinan Çağı ve Süleymaniye. İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Yayınları.

Nöldeke, T. (1896). Das iranische Nationalepos. Strassburg: Karl J. Trübner.

Özkeçeci, İ. vd. (2018). XVII-XIX. Yüzyıllarda Osmanlı Dönemi Konut Mimarisinde İç Mekân Tavan Süslemelerine Genel Bir Bakış. İnsan ve İnsan, 5(17), 214–228.

Öztürk, N. (1999). Osmanlılarda Tarih Yazıcılığı Üzerine. Tarih Dergisi, (35), 261–272.

Renda, G. (1997). Minyatür. Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi. (2), 1262–1271, İstanbul: Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.

Şenyurt, O. (2015). Osmanlı Mimarisinin Temel İlkeleri: Resim ve İnşâ Üzerinden Geliştirilen Farklı Bir Yaklaşım. İstanbul: Doğu Kitabevi.

Tahirzâde, H. (1953). Minyatür Tekniği. Ankara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi, 2(1), 29–36

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNDE PSİKOSOSYAL RİSKLER VE TEKNOSTRES YÖNETİMİ: ENDÜSTRİ 5.0 PERSPEKTİFİNDEN PROAKTİF BİR YAKLAŞIM

Dr. Cihandar HASANHANOĞLU
Başkent Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü
ORCID: 0000-0002-6489-1645

ÖZET
Yapay zekâ teknolojilerinin çalışma yaşamına hızla entegre edilmesi, üretim süreçlerinde verimlilik, kalite ve karar verme kapasitesini artırırken, çalışanların maruz kaldığı psikososyal risklerin niteliğini de önemli ölçüde değiştirmektedir. Algoritmik yönetim sistemleri, sürekli dijital bağlantı, akıllı gözetim teknolojileri, büyük veri analitiği ve insan-yapay zekâ etkileşimi; teknostres, bilişsel yük, dijital tükenmişlik, iş güvencesi kaygısı ve mahremiyet endişeleri gibi yeni nesil risklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu gelişmeler, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) uygulamalarının yalnızca fiziksel ve ergonomik tehlikelerle sınırlı kalmaması, aynı zamanda çalışanların psikolojik iyilik hâlini de kapsayan bütüncül bir yaklaşımlar yeniden ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, yapay zekâ destekli çalışma ortamlarında ortaya çıkan psikososyal riskleri ve teknostres kaynaklarını Endüstri 5.0 yaklaşımı çerçevesinde değerlendirmek; bu risklerin çalışan sağlığı, güvenli davranışları, güvenlik kültürü ve örgütsel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini incelemektir. Çalışma, güncel ulusal ve uluslararası literatürün sistematik biçimde değerlendirilmesine dayanan kavramsal bir araştırma niteliğindedir. Literatür bulguları doğrultusunda yapay zekâ teknolojilerinin sağladığı fırsatlarla birlikte ortaya çıkan risk alanları analiz edilmekte ve bu risklerin yönetimine yönelik insan merkezli, proaktif ve sürdürülebilir bir yaklaşım önerilmektedir. Çalışmanın sonunda, psikososyal risk yönetimi, psikolojik güvenlik, dijital liderlik, güvenlik kültürü, çalışan dayanıklılığı ve etik yapay zekâ ilkelerini bütünleştiren Yapay Zekâ Destekli Psikososyal Güvenlik ve Dayanıklılık Modeli (AI-PSR Modeli) önerilmektedir. Modelin, Endüstri 5.0'ın insan odaklı yaklaşımıyla uyumlu olarak kuruluşların yalnızca teknolojik dönüşümünü değil, aynı zamanda çalışan refahını, örgütsel dayanıklılığını ve sürdürülebilir güvenlik performansını destekleyecek bütünleşik bir yönetim çerçevesi sunacağı değerlendirilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, İş sağlığı ve güvenliği, Psikososyal riskler, Teknostres, Endüstri 5.0, Güvenlik kültürü.

PSYCHOSOCIAL RISKS AND TECHNOSTRESS MANAGEMENT IN OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A PROACTIVE APPROACH FROM THE PERSPECTIVE OF INDUSTRY 5.0

ABSTRACT
The rapid integration of artificial intelligence technologies into working life is increasing productivity, quality, and decision-making capacity in production processes while significantly transforming the nature of psychosocial risks to which employees are exposed. Algorithmic management systems, continuous digital connectivity, smart surveillance technologies, big data analytics, and human–artificial intelligence interaction are contributing to the emergence of new-generation risks such as technostress, cognitive workload, digital burnout, job insecurity concerns, and privacy-related anxieties.

These developments necessitate a comprehensive reconsideration of occupational health and safety (OHS) practices, which should no longer be limited to physical and ergonomic hazards but should also encompass employees' psychological well-being through an integrated approach. The aim of this study is to evaluate the psychosocial risks and sources of technostress emerging in artificial intelligence-supported work environments within the framework of the Industry 5.0 approach and to examine their effects on employee health, safety behaviors, safety culture, and organizational sustainability. The study is a conceptual research based on a systematic evaluation of the current national and international literature. In line with the findings of the literature, the study analyzes the risk areasemerging alongside the opportunities provided by artificial intelligence technologies and proposes a human-centered, proactive, and sustainable approach to managing these risks. At the end of the study, the Artificial Intelligence-Supported Psychosocial Safety and Resilience Model (AI-PSR Model) is proposed, integrating psychosocial risk management, psychological safety, digital leadership, safety culture, employee resilience, and ethical artificial intelligence principles. Consistent with the human- centered approach of Industry 5.0, the model is expected to provide an integrated management framework that supports not only the technological transformation of organizations but also employee well-being, organizational resilience, and sustainable safety performance.
Keywords: Artificial intelligence, Occupational health and safety, Psychosocial risks, Technostress, Industry 5.0, Safety culture.

GİRİŞ

Dijital dönüşümün çalışma yaşamında yarattığı değişim, yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin üretim, hizmet ve yönetim süreçlerine hızla entegre edilmesiyle yeni bir aşamaya ulaşmıştır. Yapay zekâ; büyük veri analitiği, makine öğrenmesi, algoritmik karar verme, akıllı otomasyon, dijital izleme sistemleri ve insan-makine etkileşimi aracılığıyla işletmelerin üretkenlik, kalite, hız ve karar verme kapasitesini artırmaktadır. Bununla birlikte teknolojik dönüşüm yalnızca işlerin nasıl yapıldığını değiştirmemekte; çalışanların iş yükünü, iş üzerindeki kontrol algısını, örgütsel ilişkilerini, karar süreçlerine katılımını ve iş güvencesine ilişkin değerlendirmelerini de yeniden şekillendirmektedir (European Commission, 2021; ILO, 2023).İş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından değerlendirildiğinde YZ teknolojileri önemli fırsatlar sunmaktadır. Akıllı sensörler, giyilebilir teknolojiler, görüntü işleme sistemleri, kestirimci analizler ve gerçek zamanlı veri izleme uygulamaları sayesinde tehlikelerin erken belirlenmesi, riskli davranışların tespit edilmesi ve iş kazalarının meydana gelmeden önce öngörülmesi giderek daha mümkün hâle gelmektedir. Bu gelişmeler İSG yönetiminin reaktif bir yapıdan proaktif ve hatta öngörücü bir yapıya dönüşmesini desteklemektedir. Ancak aynı teknolojiler çalışanların sürekli izlenmesi, algoritmik performans değerlendirmeleri, yoğun dijital bağlantı, bilgi yükü ve teknolojiye sürekli uyum sağlama zorunluluğu gibi yeni risk alanlarını da beraberinde getirmektedir (EU-OSHA, 2022; ILO, 2023). Bu dönüşüm, İSG'nin geleneksel olarak odaklandığı fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ergonomik tehlikelerin yanında psikososyal risklerin önemini artırmaktadır. İş yoğunluğu, zaman baskısı, rol belirsizliği, iş güvencesizliği, düşük karar özerkliği, örgütsel adaletsizlik, sosyal destek eksikliği ve iş-özel yaşam sınırlarının bulanıklaşması gibi geleneksel psikososyal riskler, dijital teknolojilerin etkisiyle yeni biçimler kazanmaktadır. Özellikle algoritmik yönetim, dijital gözetim, sürekli erişilebilir olma beklentisi ve YZ sistemlerinin karar süreçlerinde artan rolü çalışanların teknolojiyle kurduğu ilişkinin yalnızca teknik değil, aynı zamanda psikolojik ve sosyal bir İSG konusu olduğunu göstermektedir. Bu noktada teknostres, dijitalleşen çalışma yaşamının önemli psikososyal risklerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

Teknostres genel anlamda bireyin yeni bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımına ve bu teknolojilerin yarattığı değişimlere uyum sağlamakta yaşadığı güçlüklerden kaynaklanan stres durumu olarak değerlendirilmektedir (Tarafdar et al., 2007). Teknolojik aşırı yük, teknolojik karmaşıklık, teknolojinin özel yaşamı işgal etmesi, teknolojik belirsizlik ve teknoloji kaynaklı iş güvencesizliği teknostresin temel belirleyicileri arasında gösterilmektedir (Tarafdar et al., 2007; Ragu-Nathan et al., 2008). Yapay zekânın çalışma yaşamına girmesi söz konusu stres kaynaklarını daha karmaşık hâle getirmektedir. Çalışan artık yalnızca dijital bir aracı kullanmamakta; kimi durumlarda karar veren, performansını değerlendiren, çalışma temposunu belirleyen veya davranışlarını sürekli analiz eden algoritmik sistemlerle birlikte çalışmaktadır. Böylece insan-teknoloji ilişkisi klasik bir "araç-kullanıcı" ilişkisinden çıkarak insan-algoritma-örgüt etkileşimine dönüşmektedir. Bu değişim özellikle bilişsel yük açısından önem taşımaktadır. Çalışanın çok sayıda dijital bildirim, veri, uygulama ve karar destek sistemi arasında sürekli geçiş yapmak zorunda kalması dikkat bölünmesine ve zihinsel yorgunluğa neden olabilmektedir. Bilişsel kapasitenin aşırı yüklenmesi ise yalnızca çalışan refahını değil, güvenlikle ilişkili kararların niteliğini de etkileyebilir. Dikkat azalması, karar yorgunluğu ve zihinsel tükenme; tehlikelerin fark edilmesini, risklerin doğru değerlendirilmesini ve güvenli davranışların sürdürülmesini zorlaştırabilecek faktörlerdir. Bu nedenle yapay zekâ çağında temel İSG sorusu yalnızca "Teknoloji çalışanı nasıl daha güvenli hâle getirebilir?" değildir. Aynı zamanda "Teknolojinin kendisi hangi yeni riskleri üretmektedir ve çalışan bu risklerden nasıl korunabilir?" sorusunun da yanıtlanması gerekmektedir. Bu iki sorunun birlikte ele alınmaması, teknolojik dönüşümün İSG açısından tek yönlü değerlendirilmesine neden olabilir. Endüstri 5.0 yaklaşımı tam da bu noktada farklı bir perspektif sunmaktadır. Endüstri 4.0 büyük ölçüde dijitalleşme, otomasyon, bağlantılı sistemler ve verimlilik üzerine yoğunlaşırken Endüstri 5.0 teknolojik gelişmenin insan merkezlilik, sürdürülebilirlik ve dayanıklılık ilkeleriyle birlikte değerlendirilmesini öngörmektedir (European Commission, 2021). Bu yaklaşımda teknoloji insanın yerine geçen bir unsurdan çok insan kapasitesini destekleyen, çalışan refahını gözeten ve örgütsel dayanıklılığı güçlendiren bir araç olarak konumlandırılmaktadır. Dolayısıyla Endüstri 5.0 perspektifinden İSG'nin temel hedeflerinden biri, "insanı teknolojiye uyarlamak" yerine "teknolojiyi insanın fiziksel, bilişsel ve psikososyal sınırlarına uyarlamak" olmalıdır. Böyle bir yaklaşım çalışanı yalnızca korunması gereken pasif bir unsur olarak değil; teknolojik dönüşümün tasarımına, uygulanmasına ve değerlendirilmesine katılan aktif bir paydaş olarak görmektedir. Bu çalışma, YZ destekli çalışma ortamlarında ortaya çıkan psikososyal riskleri ve teknostres kaynaklarını Endüstri 5.0 perspektifinden incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada yapay zekâ, psikososyal risk, teknostres, psikolojik güvenlik, dijital liderlik, güvenlik kültürü ve örgütsel dayanıklılık arasındaki ilişkiler kavramsal düzeyde ele alınmaktadır. Bunun yanında teknolojik dönüşümün İSG üzerindeki etkisinin yalnızca "risk" ekseninde değerlendirilmemesi; YZ'nin aynı zamanda psikososyal risklerin erken belirlenmesi ve önlenmesinde kullanılabilecek proaktif bir araç olarak ele alınması gerektiği savunulmaktadır. Çalışmanın temel özgün katkısı, bu değişkenleri tek bir bütünleşik yapı içerisinde ele alan Yapay Zekâ Destekli Psikososyal Güvenlik ve Dayanıklılık Modeli (AI-PSR Modeli) önerisidir. Model; psikososyal risklerin erken tanılanması, teknostres yönetimi, psikolojik güvenlik, insan merkezli dijital liderlik, etik ve açıklanabilir yapay zekâ ile çalışan ve örgütsel dayanıklılık olmak üzere altı temel bileşen üzerine yapılandırılmaktadır. Önerilen yaklaşımın temel varsayımı, teknolojik dönüşüm ile çalışan refahının birbirinin alternatifi olmadığıdır. Yüksek teknolojik performansın sürdürülebilir hâle gelmesi, teknolojiyi kullanan ve teknolojiyle birlikte çalışan insanın fiziksel ve psikolojik güvenliğinin korunmasına bağlıdır.

Bu doğrultuda çalışmanın temel yaklaşımı şu önermeyle özetlenebilir: "Geleceğin güvenli işyeri, yalnızca daha fazla yapay zekâ kullanan değil; yapay zekâyı insanın psikososyal güvenliğini güçlendirecek biçimde kullanan işyeridir." Bu perspektiften hareketle çalışma, YZ çağında İSG yönetiminin reaktif risk yönetiminden proaktif psikososyal güvenlik yönetimine **doğru** dönüşmesi gerektiğini ileri sürmekte ve AI-PSR Modelini bu dönüşümü destekleyebilecek kavramsal bir yönetim çerçevesi olarak önermektedir.

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Yapay Zekâ, Dijital Dönüşüm ve İş Sağlığı ve Güvenliği

Yapay zekâ destekli teknolojilerin çalışma yaşamında yaygınlaşması, İSG uygulamalarının niteliğini önemli ölçüde değiştirmektedir. Geleneksel İSG yaklaşımında tehlikelerin tanımlanması, risklerin değerlendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin uygulanması büyük ölçüde geçmiş olaylardan, saha gözlemlerinden ve periyodik denetimlerden elde edilen verilere dayanmaktadır. YZ destekli sistemler ise çok miktarda veriyi gerçek zamanlı olarak analiz ederek risk göstergelerinin daha erken belirlenmesine ve olası olayların meydana gelmeden önce tahmin edilmesine katkı sağlayabilmektedir.

Bu dönüşüm İSG yönetiminde üç farklı yaklaşımın birlikte değerlendirilmesine imkân vermektedir:

Reaktif yaklaşım → Proaktif yaklaşım → Öngörücü yaklaşım

Reaktif yaklaşım meydana gelen olaylardan ders çıkarmaya; proaktif yaklaşım olay meydana gelmeden riskleri belirlemeye; öngörücü yaklaşım ise veri örüntülerinden hareketle gelecekte ortaya çıkabilecek tehlikeleri tahmin etmeye dayanmaktadır. Yapay zekâ özellikle üçüncü aşamanın gelişmesinde önemli bir araç niteliğindedir.

Ancak YZ'nin İSG açısından taşıdığı değer yalnızca kaza tahmini ve teknik risklerin kontrolüyle sınırlı değildir. Çalışma yoğunluğu, dijital etkileşim biçimleri, iletişim örüntüleri, çalışan geri bildirimleri ve örgütsel göstergeler uygun etik ve hukuki sınırlar içerisinde değerlendirildiğinde psikososyal risklerin erken uyarı işaretlerinin belirlenmesine de katkı sağlayabilir. Bununla birlikte aynı verilerin aşırı gözetim veya çalışan üzerinde baskı oluşturacak şekilde kullanılması psikolojik güvenliği zayıflatabilir. Dolayısıyla YZ, İSG bakımından aynı anda hem risk azaltıcı bir teknoloji hem de yeni risklerin potansiyel kaynağı olabilmektedir.

Bu ikili yapı, yapay zekâ çağında İSG'nin temel yönetim paradokslarından birini oluşturmaktadır:

YZ riski öngörebilir; ancak yanlış yönetildiğinde kendisi de risk üretebilir.

Bu nedenle teknolojik kapasitenin artırılması tek başına güvenli çalışma ortamı oluşturmak için yeterli değildir. Teknoloji tasarımı ve kullanımının çalışan özerkliği, mahremiyet, psikolojik güvenlik, örgütsel adalet, insan denetimi ve etik ilkelerle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Psikososyal Risklerin Dijital Dönüşümü

Psikososyal riskler; işin tasarımı, organizasyonu ve yönetimi ile çalışanların sosyal ve örgütsel çevresi arasındaki etkileşimlerden kaynaklanabilen ve çalışanların psikolojik veya fiziksel sağlığı üzerinde olumsuz sonuçlara yol açabilen risklerdir. Dijitalleşme bu riskleri ortadan kaldırmamakta; aksine bazılarını dönüştürmekte ve yeni risk biçimleri üretmektedir.

YZ destekli çalışma ortamlarında öne çıkan psikososyal riskler arasında algoritmik kontrol, dijital gözetim, teknoloji kaynaklı iş güvencesizliği, bilişsel aşırı yük, sürekli bağlantılılık, dijital izolasyon, karar özerkliğinin azalması, performans baskısı ve mahremiyet kaygıları bulunmaktadır.
Özellikle algoritmik yönetim sistemleri çalışanların görev dağılımından performans değerlendirmesine kadar birçok süreci veri temelli olarak yönetebilmektedir. Bu durum yönetsel kararların hızını ve standardizasyonunu artırabilmekle birlikte, karar süreçlerinin çalışan açısından anlaşılmaz olması durumunda adalet ve kontrol algısını zayıflatabilir. Algoritmanın hangi verileri kullandığı, nasıl karar verdiği ve çalışanın bu karara itiraz edip edemeyeceği psikososyal güvenlik açısından giderek daha önemli hâle gelmektedir.
Bu bağlamda geleceğin İSG yaklaşımında yalnızca "çalışan tehlikeye maruz kalıyor mu?" sorusu değil; "çalışan teknoloji karşısında kontrol, özerklik, adalet ve güven hissediyor mu?" sorusu da risk değerlendirmesinin temel bileşenlerinden biri olmalıdır.

Teknostres ve Yeni Nesil Dijital Stresörler
Teknostres, çalışanların bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımına ve teknolojik değişimin hızına uyum sağlama sürecinde yaşadıkları stres olarak ele alınmaktadır. Tarafdar ve arkadaşları (2007) teknostresin oluşumunda teknoloji kaynaklı aşırı yük, işgal, karmaşıklık, güvensizlik ve belirsizlik boyutlarını öne çıkarmaktadır.
YZ çağında bu klasik stresörlere yeni unsurlar eklenmektedir. Bunlar arasında algoritmik değerlendirilme kaygısı, YZ tarafından ikame edilme korkusu, sürekli dijital performans görünürlüğü, otomatik kararların belirsizliği, açıklanamayan algoritmik kararlar, veri mahremiyeti endişeleri ve insan-YZ rol belirsizliği sayılabilir.
Bu çerçevede teknostres yalnızca "teknolojiyi kullanmakta zorlanma" olarak değerlendirilmemelidir. Günümüz çalışma yaşamında teknostres;

teknolojik yoğunluk + sürekli bağlantı + bilişsel yük + algoritmik kontrol + iş güvencesi kaygısı + mahremiyet endişesi

bileşiminden ortaya çıkabilen çok boyutlu bir psikososyal risk alanına dönüşmektedir.
Teknostresin uzun süre devam etmesi çalışanlarda zihinsel yorgunluk, tükenmişlik, dikkat azalması, motivasyon kaybı ve iş tatmininde azalma gibi sonuçlara yol açabilmektedir. İSG açısından kritik olan nokta ise bu sonuçların güvenli davranışları ve risk algısını da etkileyebilmesidir. Zihinsel olarak aşırı yüklenmiş veya tükenmiş çalışanın tehlike sinyallerini algılama, doğru karar verme ve güvenlik prosedürlerine sürdürülebilir biçimde uyma kapasitesi zayıflayabilir.
Bu nedenle teknostres yönetimi çalışan refahına ilişkin ikincil bir insan kaynakları konusu olarak değil, doğrudan İSG yönetim sisteminin bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir.

Endüstri 5.0 ve İnsan Merkezli İSG
Endüstri 5.0 yaklaşımı teknolojik dönüşümün merkezine yalnızca üretkenliği değil, insanı, sürdürülebilirliği ve dayanıklılığı yerleştirmektedir (European Commission, 2021). Bu anlayış, YZ sistemlerinin değerlendirilmesinde "teknoloji ne kadar güçlüdür?" sorusundan önce "teknoloji insanın kapasitesini, refahını ve güvenliğini nasıl desteklemektedir?" sorusunun sorulmasını gerekli kılmaktadır.
İSG açısından insan merkezlilik; çalışanların teknolojik sistemlerin pasif kullanıcıları olarak görülmemesi, sistem tasarımına katılımlarının sağlanması, dijital yetkinliklerinin geliştirilmesi, psikolojik güvenliklerinin korunması ve teknolojik karar süreçlerinde insan denetiminin sürdürülmesi anlamına gelmektedir.

Böylece Endüstri 5.0 perspektifinde güvenli çalışma ortamının formülü yalnızca "insan + teknoloji" değildir. Daha bütüncül bir yapı söz konusudur:

İnsan + Teknoloji + Etik + Güvenlik Kültürü + Dayanıklılık = Sürdürülebilir İSG Performansı

Bu yaklaşım, çalışmada önerilen AI-PSR Modelinin de kavramsal temelini oluşturmaktadır.

YÖNTEM

Bu çalışma, yapay zekâ destekli çalışma ortamlarında ortaya çıkan psikososyal riskleri ve teknostres kaynaklarını Endüstri 5.0 perspektifinden inceleyen kavramsal ve yapılandırılmış bir literatür incelemesidir. Çalışmanın amacı, mevcut araştırma bulgularını istatistiksel olarak birleştirmekten ziyade; yapay zekâ, teknostres, psikososyal riskler, psikolojik güvenlik, dijital liderlik, güvenlik kültürü ve örgütsel dayanıklılık arasındaki ilişkileri bütüncül bir çerçevede değerlendirmektir.

Bu doğrultuda ulusal ve uluslararası literatürde yer alan akademik çalışmalar ile ILO, EU-OSHA ve Avrupa Komisyonu gibi uluslararası kuruluşların raporları kavramsal olarak değerlendirilmiştir. İncelemede özellikle "artificial intelligence", "occupational health and safety", "psychosocial risks", "technostress", "algorithmic management", "Industry 5.0", "psychological safety" ve "digital leadership" kavramları arasındaki ilişkiler dikkate alınmıştır. Elde edilen bulgular tematik olarak sınıflandırılmış; YZ kaynaklı psikososyal riskler, teknostres faktörleri, çalışan üzerindeki olası sonuçlar ve örgütsel koruyucu mekanizmalar temel analiz boyutları olarak ele alınmıştır.

Literatürden elde edilen kavramsal ilişkilerin bütünleştirilmesi sonucunda, yapay zekâ çağında psikososyal risklerin proaktif biçimde yönetilmesine yönelik Yapay Zekâ Destekli Psikososyal Güvenlik ve Dayanıklılık Modeli (AI-PSR Modeli) geliştirilmiştir. Model teorik nitelikte olup ilerleyen araştırmalarda ampirik olarak sınanabilecek bir çerçeve sunmaktadır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapay Zekâ Çağında Değişen Psikososyal Risk Profili

Literatürün değerlendirilmesi, yapay zekâ ve dijitalleşmenin çalışma yaşamındaki psikososyal riskleri ortadan kaldırmadığını, aksine mevcut risklere yeni boyutlar eklediğini göstermektedir. Özellikle algoritmik yönetim, sürekli dijital bağlantı, çalışanların veri temelli izlenmesi ve YZ destekli performans değerlendirme uygulamaları; iş üzerindeki kontrol, özerklik, mahremiyet ve örgütsel adalet algısını etkileyebilmektedir.

Bu kapsamda YZ destekli çalışma ortamlarında öne çıkan risk alanları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Yapay Zekâ Destekli Çalışma Ortamlarında Başlıca Psikososyal Riskler

Risk alanı	**Başlıca stresör**	**Olası çalışan etkisi**	**İSG açısından olası sonuç**
Algoritmik yönetim	Sürekli performans ölçümü	Kontrol kaybı, baskı	Güvenli davranışta azalma
Dijital gözetim	Sürekli izlenme algısı	Mahremiyet kaygısı	Psikolojik güvenlikte azalma
Teknolojik aşırı yük	Yoğun veri ve bildirim	Bilişsel yorgunluk	Dikkat ve karar hataları
Sürekli bağlantılılık	Erişilebilir olma beklentisi	İş-yaşam çatışması	Tükenmişlik
YZ kaynaklı iş belirsizliği	İşin otomasyonla ikamesi korkusu	İş güvencesi kaygısı	Motivasyon kaybı
Algoritmik belirsizlik	Açıklanamayan kararlar	Adaletsizlik algısı	Örgütsel güven kaybı
İnsan-YZ etkileşimi	Rol ve sorumluluk belirsizliği	Stres, bilişsel yük	Hata olasılığında artış

Bu riskler birbirinden bağımsız değildir. Örneğin yoğun dijital gözetim, çalışan üzerinde yalnızca mahremiyet kaygısı yaratmayabilir; aynı zamanda performans baskısını artırarak teknostresi ve bilişsel yükü de yükseltebilir. Benzer şekilde YZ'nin çalışanların bazı görevlerini üstlenmesi fiziksel iş yükünü azaltırken iş güvencesine ilişkin belirsizliği artırabilir. Bu nedenle YZ'nin İSG üzerindeki etkisinin tek yönlü bir fayda-risk ilişkisi yerine çok boyutlu bir sistem ilişkisi içerisinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Teknostres, Bilişsel Yük ve Güvenli Davranış

Teknostresin İSG açısından önemi, çalışan refahının ötesinde güvenli davranış üzerindeki muhtemel etkilerinden kaynaklanmaktadır. Tarafdar ve arkadaşları (2007) tarafından ortaya konulan teknolojik aşırı yük, teknolojik işgal, teknolojik karmaşıklık, teknolojik güvensizlik ve teknolojik belirsizlik boyutları, YZ destekli iş ortamlarında daha karmaşık bir görünüm kazanmıştır.

Çalışanların aynı anda farklı dijital platformları takip etmesi, sürekli bildirimlere maruz kalması ve YZ sistemlerinin ürettiği önerileri değerlendirmesi bilişsel yükü artırabilmektedir. Bilişsel kapasitenin önemli bölümünün teknolojiyle etkileşime ayrılması, çalışanın çevresindeki tehlikeleri fark etme ve riskleri doğru değerlendirme kapasitesini olumsuz etkileyebilir.

Bu ilişki kavramsal olarak şu şekilde ifade edilebilir:

Dijital Stresörler → Teknostres → Bilişsel Yük/Tükenmişlik → Dikkat ve Risk Algısında Zayıflama → Güvensiz Davranış/Kaza Riski

Ancak bu ilişki deterministik değildir. Teknostres yaşayan her çalışanın güvensiz davranış göstereceği veya kazaya uğrayacağı ileri sürülemez. Çalışanın bireysel özellikleri, dijital yetkinliği, örgütsel destek, liderlik yaklaşımı, güvenlik kültürü ve psikolojik güvenlik düzeyi söz konusu ilişkinin yönünü ve şiddetini değiştirebilir. Bu nedenle psikososyal risk yönetiminin bireysel, teknolojik ve örgütsel faktörleri birlikte ele alması gerekmektedir.

Yapay Zekâ: Risk Kaynağından Erken Uyarı Aracına

YZ'nin psikososyal riskler açısından paradoksal bir özelliği bulunmaktadır. YZ bir taraftan yeni stresörler oluştururken diğer taraftan doğru ve etik biçimde kullanıldığında risklerin erken belirlenmesine yardımcı olabilecek önemli bir kapasite sunmaktadır.

Çalışan geri bildirimleri, iş yükü göstergeleri, devamsızlık örüntüleri, çalışma süreleri, hata sıklıkları ve anonimleştirilmiş örgütsel veriler, uygun hukuki ve etik sınırlar içerisinde analiz edilerek psikososyal risklerin erken sinyalleri belirlenebilir. Böylece İSG yönetimi, sorun ortaya çıktıktan sonra müdahale eden reaktif yaklaşımdan erken uyarı ve önlemeye dayalı proaktif yaklaşıma geçebilir.

Burada temel sınır etik yapay zekâ anlayışıdır. Psikososyal risklerin belirlenmesi amacıyla kullanılan bir sistemin kendisinin çalışanlarda gözetim ve mahremiyet kaygısı oluşturması önemli bir çelişki yaratacaktır. Bu nedenle veri minimizasyonu, şeffaflık, açıklanabilirlik, çalışan katılımı, insan denetimi ve mahremiyetin korunması proaktif YZ tabanlı İSG uygulamalarının temel ilkeleri olmalıdır.

YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ PSİKOSOSYAL GÜVENLİK VE DAYANIKLILIK MODELİ (AI-PSR)

Çalışmanın temel kavramsal katkısı, YZ çağında ortaya çıkan psikososyal riskleri yalnızca tanımlamak yerine bunların sistematik ve proaktif biçimde yönetilmesini amaçlayan AI-PSR Modelinin önerilmesidir.

Model, Endüstri 5.**0'ın** insan merkezlilik, sürdürülebilirlik ve dayanıklılık ilkeleri temelinde yapılandırılmıştır. AI-PSR, teknolojiyi çalışan davranışlarını sürekli kontrol eden bir araç olarak değil; psikososyal risklerin erken belirlenmesini, çalışan refahının korunmasını ve örgütsel dayanıklılığın geliştirilmesini destekleyen bir unsur olarak konumlandırmaktadır.

Model altı temel bileşenden oluşmaktadır:

1. Psikososyal Risklerin Erken Tanılanması: İş yükü, zaman baskısı, rol belirsizliği, dijital izolasyon, algoritmik kontrol ve iş güvencesi kaygısı gibi faktörlerin düzenli olarak değerlendirilmesini ifade etmektedir.

2. Teknostres Yönetimi: Dijital iş yükünün dengelenmesi, gereksiz bildirimlerin azaltılması, bağlantıyı kesme hakkının desteklenmesi, çalışanların dijital yetkinliklerinin geliştirilmesi ve teknoloji kullanımında ergonomik-bilişsel tasarım ilkelerinin benimsenmesini kapsamaktadır.

3. Psikolojik Güvenlik: Çalışanın hata, kaygı veya teknoloji kaynaklı sorunlarını cezalandırılma korkusu yaşamadan ifade edebildiği bir çalışma ortamının geliştirilmesini öngörmektedir. Psikolojik güvenlik, erken uyarı mekanizmalarının çalışabilmesi açısından kritik bir örgütsel koşuldur (Edmondson, 1999).

4. İnsan Merkezli Dijital Liderlik: Liderlerin yalnızca teknolojik performansa değil, çalışan refahına ve güvenliğine de odaklanmasını ifade etmektedir. Dijital dönüşüm süreçlerinde çalışan katılımı, açık iletişim ve sosyal destek bu boyutun temel unsurlarıdır.

5. Etik ve Açıklanabilir Yapay Zekâ: Algoritmik kararların mümkün olduğunca şeffaf ve açıklanabilir olması; çalışan mahremiyetinin korunması ve kritik karar süreçlerinde insan denetiminin sürdürülmesi esasına dayanmaktadır.

6. Çalışan ve Örgütsel Dayanıklılık: Çalışanların teknolojik değişime uyum kapasitesinin geliştirilmesi ve kuruluşların beklenmeyen teknolojik, sosyal veya örgütsel değişimler karşısında güvenli çalışma koşullarını sürdürebilmesini kapsamaktadır.

Modelin kavramsal işleyişi aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

YZ ve Dijital Dönüşüm
↓
Yeni Nesil Psikososyal Riskler ve Teknostres
↓
AI-PSR Müdahale Alanları
↓
Erken Tanılama + Teknostres Yönetimi + Psikolojik Güvenlik + Dijital Liderlik + Etik YZ + Dayanıklılık
↓
Çalışan Refahı + Güvenli Davranış + Güçlü Güvenlik Kültürü
↓
Sürdürülebilir İSG Performansı

Modelin ayırt edici özelliği, YZ'yi yalnızca bir risk kaynağı veya teknolojik çözüm olarak değil, insan-teknoloji-örgüt etkileşimi içerisinde çift yönlü bir değişken olarak ele almasıdır. Böylelikle psikososyal güvenlik, teknolojik performansın karşıtı değil, sürdürülebilir teknolojik dönüşümün temel koşullarından biri olarak değerlendirilmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapay zekâ teknolojilerinin çalışma yaşamında yaygınlaşması, İSG açısından önemli fırsatlar sunmakla birlikte yeni psikososyal riskleri de beraberinde getirmektedir. Algoritmik yönetim, dijital gözetim, sürekli bağlantılılık, bilişsel aşırı yük, iş güvencesi kaygısı ve mahremiyet endişeleri, geleceğin çalışma yaşamında İSG yönetim sistemlerinin dikkate alması gereken temel risk alanları arasında yer almaktadır.

Bu durum İSG'nin kapsamının yeniden düşünülmesini gerekli kılmaktadır. Geleceğin İSG sistemi yalnızca çalışanı fiziksel tehlikelerden koruyan değil; aynı zamanda bilişsel yükü, psikolojik güvenliği, dijital refahı ve insan-YZ etkileşimini yöneten bütüncül bir sistem olmak durumundadır.

Çalışmada önerilen AI-PSR Modeli, psikososyal risklerin erken tanılanması, teknostres yönetimi, psikolojik güvenlik, insan merkezli dijital liderlik, etik YZ ve dayanıklılık bileşenlerini bütünleştirerek Endüstri 5.0 perspektifine dayalı proaktif bir yönetim yaklaşımı sunmaktadır.

Bu doğrultuda kuruluşlara; YZ sistemlerini devreye almadan önce psikososyal etki değerlendirmesi yapmaları, teknostresi kurumsal risk değerlendirme süreçlerine dâhil etmeleri, çalışanların teknolojik değişim süreçlerine katılımını sağlamaları, dijital yetkinlik eğitimlerini artırmaları, algoritmik karar süreçlerinde şeffaflık ve insan denetimini korumaları ve psikolojik güvenliği örgütsel güvenlik kültürünün bir parçası hâline getirmeleri önerilmektedir.

Bununla birlikte AI-PSR Modeli kavramsal niteliktedir. Gelecek araştırmalarda modelin değişkenleri için ölçüm araçlarının geliştirilmesi ve farklı sektörlerde nicel, nitel veya karma yöntemli çalışmalarla modelin ampirik olarak sınanması önerilmektedir. Özellikle teknostresin güvenli davranış üzerindeki etkisinde psikolojik güvenlik, dijital liderlik ve güvenlik kültürünün aracılık veya düzenleyicilik rollerinin incelenmesi literatüre önemli katkılar sağlayabilir.

Sonuç olarak yapay zekâ çağında İSG'nin temel hedefi teknolojiden kaçınmak değil, teknolojik gelişmeyi insanın fiziksel, psikolojik ve sosyal güvenliğiyle uyumlu hâle getirmektir. Endüstri 5.0'ın insan merkezli yaklaşımı doğrultusunda geleceğin sürdürülebilir ve güvenli çalışma ortamlarının temel ilkesi şu şekilde ifade edilebilir:

"Akıllı sistemler ancak insanı korudukları, destekledikleri ve güçlendirdikleri ölçüde güvenli sistemlerdir."

KAYNAKLAR

Edmondson, A. (1999). Psychological safety and learning behavior in work teams. *Administrative Science Quarterly, 44*(2), 350–383.

European Commission. (2021). *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Publications Office of the European Union.

European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). (2022). *Artificial intelligence for worker management: Implications for occupational safety and health*. Publications Office of the European Union.

International Labour Organization (ILO). (2023). *Generative AI and jobs: A global analysis of potential effects on job quantity and quality*. International Labour Office.

Ragu-Nathan, T. S., Tarafdar, M., Ragu-Nathan, B. S., & Tu, Q. (2008). The consequences of technostress for end users in organizations: Conceptual development and empirical validation. *Information Systems Research, 19*(4), 417–433.

Tarafdar, M., Tu, Q., Ragu-Nathan, B. S., & Ragu-Nathan, T. S. (2007). The impact of technostress on role stress and productivity. *Journal of Management Information Systems, 24*(1), 301–328.

BİREYSEL FARKLILIKLARIN İŞ GÜVENLİĞİ PERFORMANSINDAKİ ROLÜ: KİŞİLİK ÖZELLİKLERİ, RİSK ALGISI VE KAZA EĞİLİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERE YÖNELİK KAVRAMSAL BİR MODEL ÖNERİSİ

Dr. Cihandar HASANHANOĞLU
Başkent Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü
ORCID: 0000-0002-6489-1645

ÖZET
İş sağlığı ve güvenliği (İSG) alanında sürdürülebilir güvenlik performansının sağlanması, yalnızca teknik önlemlerin, mühendislik kontrollerinin ve yönetim sistemlerinin etkinliğine değil, aynı zamanda çalışanların bireysel özelliklerinin, psikolojik süreçlerinin ve davranışsal eğilimlerinin anlaşılmasına da bağlıdır. Geleneksel güvenlik yaklaşımları ağırlıklı olarak fiziksel tehlikelerin belirlenmesi ve kontrol edilmesine odaklanırken, güncel yaklaşımlar iş kazalarının oluşumunda insan faktörlerinin ve bireysel farklılıkların önemini giderek daha fazla vurgulamaktadır. Aynı çalışma ortamında benzer tehlike ve risklere maruz kalan çalışanların farklı düzeylerde güvenli davranış sergilemesi, kişilik özellikleri, risk algısı ve davranışsal süreçler arasındaki ilişkilerin incelenmesini önemli bir araştırma alanı hâline getirmektedir. Bu çalışmanın amacı, bireysel farklılıkların iş güvenliği performansındaki rolünü açıklamak ve kişilik özellikleri, risk algısı, güvenli davranış ve kaza eğilimi arasındaki ilişkileri bütüncül biçimde ele alan bir kavramsal model önermektir. Çalışmada Beş Faktör Kişilik Modeli temel alınarak kişilik özelliklerinin çalışanların tehlikeleri ve riskleri algılama biçimleri, güvenlik kurallarına uyumları ve güvenli davranışları üzerindeki olası etkileri ele alınmaktadır. Bu çerçevede risk algısı ve güvenli davranışların, kişilik özellikleri ile kaza eğilimi arasındaki ilişkide potansiyel aracı mekanizmalar olarak nasıl işlev görebileceği kuramsal olarak değerlendirilmektedir. Araştırma, mevcut ulusal ve uluslararası literatürün kavramsal ve kuramsal açıdan değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu kapsamda kişilik özellikleri, insan faktörleri, risk algısı, güvenli davranış ve kaza eğilimi arasındaki ilişkiler ilgili literatür doğrultusunda bütünleştirilerek açıklanmakta ve bu değişkenler arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkileri ortaya koyan bir kavramsal model geliştirilmektedir. Önerilen modelde kişilik özellikleri bağımsız değişkenler; risk algısı ve güvenli davranışlar aracı değişkenler; kaza eğilimi ise bağımlı değişken olarak konumlandırılmaktadır. Çalışmanın temel katkısı, iş güvenliği performansını yalnızca çevresel, teknik ve örgütsel faktörlerle açıklamak yerine, çalışanların bireysel farklılıklarını ve psikolojik süreçlerini merkeze alan bütüncül bir yaklaşım sunmasıdır. Önerilen modelin ilerleyen araştırmalarda nicel veriler kullanılarak Yapısal Eşitlik Modellemesi (YEM/SEM) aracılığıyla ampirik olarak test edilmesi önerilmektedir. Modelin doğrulanması durumunda, bireysel farklılıklara duyarlı risk değerlendirme süreçlerinin geliştirilmesi, İSG eğitimlerinin çalışanların özelliklerine göre daha etkin biçimde yapılandırılması ve proaktif güvenlik yönetimi uygulamalarının güçlendirilmesi açısından önemli katkılar sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Sonuç olarak bu çalışma, iş kazalarının yalnızca teknik veya sistemsel eksiklikler üzerinden açıklanmasının yeterli olmadığını; kişilik özellikleri, risk algısı ve güvenli davranış gibi bireysel ve psikolojik faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini savunan insan merkezli bir iş güvenliği yaklaşımı önermektedir.

Anahtar Kelimeler: İş Sağlığı ve Güvenliği, Bireysel Farklılıklar, Kişilik Özellikleri, İnsan Faktörleri, Risk Algısı, Güvenli Davranış, Kaza Eğilimi, Kavramsal Model, Yapısal Eşitlik Modellemesi.

THE ROLE OF INDIVIDUAL DIFFERENCES IN OCCUPATIONAL SAFETY PERFORMANCE: A CONCEPTUAL MODEL PROPOSAL FOR THE RELATIONSHIPS AMONG PERSONALITY TRAITS, RISK PERCEPTION, AND ACCIDENT PRONENESS

ABSTRACT

Achieving sustainable occupational health and safety (OHS) performance depends not only on the effectiveness of technical measures, engineering controls, and management systems but also on understanding employees' individual characteristics, psychological processes, and behavioral tendencies. While traditional safety approaches have primarily focused on the identification and control of physical hazards, contemporary approaches increasingly emphasize the importance of human factors and individual differences in the occurrence of occupational accidents. The fact that employees exposed to similar hazards and risks within the same working environment may demonstrate different levels of safety behavior makes the relationships among personality traits, risk perception, and behavioral processes an important area of research. The aim of this study is to explain the role of individual differences in occupational safety performance and to propose an integrated conceptual model addressing the relationships among personality traits, risk perception, safety behavior, and accident proneness. Drawing upon the Five-Factor Model of Personality, the study conceptually examines the potential effects of personality traits on employees' perceptions of hazards and risks, compliance with safety rules, and safety behaviors. Within this framework, the potential mediating role of risk perception and safety behavior in the relationships between personality traits and accident proneness is theoretically examined. The study is based on a conceptual and theoretical evaluation of the existing national and international literature. Accordingly, the relationships among personality traits, human factors, risk perception, safety behavior, and accident proneness are integrated and examined in light of the relevant literature, and a conceptual model is developed to represent the proposed direct and indirect relationships among these variables. In the proposed model, personality traits are positioned as independent variables, risk perception and safety behavior as mediating variables, and accident proneness as the dependent variable. The main contribution of the study is to provide a comprehensive approach that places employees' individual differences and psychological processes at the center of occupational safety performance rather than explaining safety performance solely through environmental, technical, and organizational factors. It is proposed that the conceptual model be empirically tested in future research using quantitative data and Structural Equation Modeling (SEM). If empirically validated, the model may contribute to the development of individual-difference-sensitive risk assessment processes, the more effective design of OHS training according to employees' characteristics, and the strengthening of proactive safety management practices. In conclusion, this study proposes a human-centered occupational safety approach, emphasizing that occupational accidents cannot be adequately explained solely by technical or systemic deficiencies and that individual and psychological factors such as personality traits, risk perception, and safety behavior should be considered collectively.

Keywords: Occupational health and safety, individual differences, personality traits, human factors, risk perception, safety behavior, accident proneness, conceptual model, structural equation modeling.

GİRİŞ

İş sağlığı ve güvenliği (İSG), çalışma yaşamının sürdürülebilirliği ve çalışanların fiziksel, ruhsal ve sosyal iyilik hâlinin korunması açısından temel bir yönetim alanıdır. Bununla birlikte iş kazalarının önlenmesine yönelik geleneksel yaklaşımlar uzun yıllar boyunca ağırlıklı olarak teknik tehlikelerin ortadan kaldırılması, mühendislik kontrollerinin geliştirilmesi, kişisel koruyucu donanımların kullanılması ve mevzuata uygunluğun sağlanması üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu önlemler vazgeçilmez olmakla birlikte, benzer çalışma koşullarında ve benzer tehlikelere maruz kalan çalışanların neden farklı güvenlik davranışları sergiledikleri sorusunu tek başına açıklamakta yetersiz kalabilmektedir.

İş kazalarının çok faktörlü yapısı, insan faktörlerinin ve bireysel farklılıkların güvenlik yönetiminde daha güçlü biçimde dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır. Çalışan yalnızca teknik sistemin kurallarını uygulayan pasif bir unsur değil; tehlikeyi algılayan, riski yorumlayan, karar veren ve davranış geliştiren aktif bir özne olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle çağdaş İSG anlayışında temel sorulardan biri, "Çalışma ortamında hangi tehlikeler bulunmaktadır?" sorusunun yanında, "Aynı tehlikeye maruz kalan çalışanlar neden farklı davranmaktadır?" sorusudur.

Riskin varlığı ile riskin birey tarafından algılanması aynı olgu değildir. Risk algısı; bireyin bir tehlikenin ortaya çıkma olasılığına, sonuçlarının ağırlığına ve kontrol edilebilirliğine ilişkin öznel değerlendirmesini ifade etmektedir. Slovic (1987), risk algısının yalnızca nesnel olasılıklara dayalı olmadığını; bireylerin tehlikeleri bilişsel ve psikolojik değerlendirmeler aracılığıyla anlamlandırdıklarını ortaya koymuştur. Dolayısıyla aynı fiziksel risk, farklı çalışanlar tarafından farklı düzeylerde önemli veya tehdit edici olarak algılanabilir.

Bu noktada kişilik özellikleri önem kazanmaktadır. Beş Faktör Kişilik Modeli; dışadönüklük, uyumluluk, sorumluluk, nevrotiklik ve deneyime açıklık boyutları üzerinden bireysel farklılıkların sistematik biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (McCrae & John, 1992). Kişilik özelliklerinin çalışanların tehlikeye yaklaşım biçimini, risk alma eğilimlerini, kurallara uyumlarını ve güvenli davranışlarını etkileyebileceği düşünülmektedir.

Nitekim kişilik ile iş güvenliği arasındaki ilişkiye yönelik meta-analitik araştırmalar, özellikle düşük sorumluluk ve düşük uyumluluk düzeylerinin kaza ve güvensiz davranışlarla ilişkili olabileceğini göstermektedir (Clarke & Robertson, 2005; Beus et al., 2015). Bununla birlikte kişilik özelliklerini doğrudan kazaların nedeni olarak değerlendirmek indirgemeci ve deterministik bir yaklaşım olacaktır. Kişilik özelliklerinin güvenlik sonuçlarına etkisinin risk algısı, güvenlik motivasyonu ve güvenli davranış gibi ara mekanizmalar üzerinden gerçekleşmesi daha olasıdır.

Bu çalışmanın amacı, kişilik özellikleri, risk algısı, güvenli davranış ve kaza eğilimi arasındaki ilişkileri bütüncül biçimde açıklayan insan merkezli bir kavramsal model geliştirmektir. Çalışmanın temel savı, bireysel farklılıkların iş kazalarının doğrudan ve değişmez nedenleri olmadığı; ancak çalışanların riskleri algılama ve bu risklere davranışsal tepki verme süreçlerini etkileyerek güvenlik performansında farklılaşmaya katkıda bulunabileceğidir.

KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE

İş Güvenliğinde İnsan Faktörleri ve Bireysel Farklılıklar

İş kazaları teknik, çevresel, örgütsel ve bireysel faktörlerin karşılıklı etkileşimi sonucunda ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle kazaların yalnızca "çalışan hatası" üzerinden açıklanması günümüz güvenlik anlayışı açısından yetersizdir. İnsan davranışı; çalışma koşulları, örgüt kültürü, güvenlik iklimi, liderlik, iş yükü, yorgunluk, stres, eğitim, deneyim ve bireysel özelliklerin birlikte etkilediği dinamik bir süreçtir.

Christian ve arkadaşlarının (2009) meta-analitik çalışması da güvenlik performansının hem bireysel hem de durumsal öncüllerinin bulunduğunu ve güvenlik davranışlarının kazalar ve yaralanmalar gibi güvenlik sonuçları açısından kritik rol oynadığını göstermektedir.
Bu bağlamda bireysel farklılıklar, teknik ve örgütsel güvenlik önlemlerinin alternatifi olarak değil, bu önlemlerin etkinliğini etkileyebilen tamamlayıcı bir açıklama katmanı olarak değerlendirilmelidir. Başka bir ifadeyle güvenlik performansı yalnızca "tehlikenin ne olduğu" ile değil, çalışanın bu tehlikeyi nasıl algıladığı, nasıl yorumladığı ve nasıl davrandığı ile de ilişkilidir.

Kişilik Özellikleri ve İş Güvenliği

Beş Faktör Kişilik Modeli, bireysel farklılıkların incelenmesinde yaygın biçimde kullanılan yaklaşımlardan biridir. Model kişiliği; sorumluluk, uyumluluk, dışadönüklük, nevrotiklik ve deneyime açıklık olmak üzere beş temel boyutta ele almaktadır (McCrae & John, 1992).
Sorumluluk, planlılık, öz disiplin, görev bilinci ve kurallara bağlılık gibi özellikleri kapsamaktadır. Sorumluluk düzeyi yüksek çalışanların prosedürlere uyma, koruyucu önlemleri uygulama ve güvenlikle ilgili görevleri ihmal etmeme eğilimlerinin daha yüksek olması beklenebilir.
Uyumluluk, iş birliği, empati ve kişiler arası uyumu ifade etmektedir. Düşük uyumluluk düzeyinin iş kazalarıyla ilişkili olabileceğine ilişkin meta-analitik kanıt bulunmaktadır (Clarke, 2008). Beus ve arkadaşları (2015) da uyumluluk ve sorumluluğun güvensiz davranışlarla negatif ilişkili olduğunu göstermiştir.
Nevrotiklik, duygusal dengesizlik, kaygı ve stres karşısında hassasiyet ile ilişkilidir. Yüksek nevrotiklik, özellikle baskı altında çalışan bireylerde dikkat ve karar süreçlerini etkileyerek güvenlik davranışlarını dolaylı biçimde etkileyebilir.
Dışadönüklük, sosyallik, hareketlilik ve uyarılma arayışıyla ilişkilidir. Ancak dışadönüklük ile kaza ilişkisi bağlama göre değişebilmektedir. Clarke ve Robertson (2005), dışadönüklüğün trafik kazaları açısından anlamlı bir yordayıcı olabilmesine karşın iş kazaları açısından aynı ölçüde genellenebilir bir ilişki göstermediğini bildirmiştir.
Deneyime açıklık ise yeniliklere, farklı düşüncelere ve öğrenmeye açıklığı ifade etmektedir. Bu özellik yeni güvenlik teknolojilerinin ve prosedürlerinin benimsenmesini kolaylaştırabilecek olmakla birlikte, iş güvenliği davranışlarıyla ilişkisi diğer kişilik boyutlarına göre daha belirsiz görünmektedir.
Dolayısıyla kişilik özelliklerinin güvenlik performansına etkisini tek yönlü ve deterministik biçimde değerlendirmek yerine, örgütsel ve çevresel koşullarla etkileşim içinde ele almak daha uygun görünmektedir.

Risk Algısı

Risk algısı, bireyin belirli bir tehlikenin ortaya çıkma olasılığına ve olası sonuçlarının ciddiyetine ilişkin öznel değerlendirmesidir. Slovic'e (1987) göre risk değerlendirmeleri yalnızca istatistiksel olasılıklardan oluşmaz; kontrol edilebilirlik, belirsizlik, korku, deneyim ve tehlikenin sonuçlarının niteliği gibi faktörlerden etkilenebilir.
İşyerinde tehlikenin mevcut olması, çalışanın söz konusu tehlikeyi yeterli düzeyde algıladığı anlamına gelmez. Tehlikenin kanıksanması, uzun süre kazasız çalışılmış olması, aşırı özgüven, zaman baskısı veya riskli davranışların normalleşmesi, risk algısının zayıflamasına neden olabilir.
Bu nedenle risk algısı, kişilik özellikleri ile güvenli davranış arasındaki ilişkiyi açıklayabilecek önemli bir psikolojik mekanizma olarak değerlendirilebilir.

Örneğin yüksek sorumluluk düzeyine sahip bir çalışan tehlikenin olası sonuçlarını daha sistematik değerlendirebilirken, yüksek dürtüsellik veya yoğun uyarılma arayışı bazı risklerin küçümsenmesine neden olabilir.

Güvenli Davranış ve Güvenlik Performansı

Güvenli davranış, çalışanın görevlerini güvenlik prosedürlerine uygun gerçekleştirmesi ve örgütün güvenlik faaliyetlerine aktif biçimde katkıda bulunması olarak değerlendirilebilir.

Griffin ve Neal (2000), güvenlik performansını güvenlik uyumu **ve** güvenlik katılımı olmak üzere iki temel boyutta ele almaktadır. Güvenlik uyumu; görevlerin güvenli biçimde yürütülmesi için gerekli prosedür ve kurallara bağlılığı ifade ederken, güvenlik katılımı doğrudan görevin zorunlu parçası olmamasına rağmen çalışma ortamının güvenliğini geliştirmeye katkı sağlayan gönüllü davranışları kapsamaktadır.

Bu ayrım, güvenli davranışın yalnızca "kuralları ihlal etmemek" anlamına gelmediğini göstermektedir. Tehlikeleri bildirmek, ramak kala olayları raporlamak, çalışma arkadaşlarını uyarmak ve güvenlik faaliyetlerine gönüllü katılım sağlamak da güvenlik performansının önemli parçalarıdır.

Örgütsel güvenlik ikliminin de bu davranışlar üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Zohar'ın (1980) öncü çalışması güvenlik ikliminin çalışanların örgütte güvenliğe verilen öneme ilişkin ortak algılarını yansıttığını ortaya koymuştur. Neal, Griffin ve Hart (2000) ise güvenlik ikliminin güvenlik performansıyla ilişkili olduğunu ve bu ilişkinin güvenlik bilgisi ve motivasyonu gibi mekanizmalar üzerinden işleyebildiğini göstermiştir.

YÖNTEM

Bu çalışma ampirik veri toplamaya dayalı bir araştırma olmayıp kavramsal ve kuramsal bir model geliştirme çalışmasıdır. Çalışmada iş sağlığı ve güvenliği, örgütsel davranış ve kişilik psikolojisi literatüründe yer alan bireysel farklılıklar, Beş Faktör Kişilik Modeli, risk algısı, güvenlik davranışı ve kaza eğilimine ilişkin kuramsal ve ampirik çalışmalar bütünleştirici bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

Kavramsal modelin oluşturulmasında üç aşamalı bir yaklaşım benimsenmiştir. İlk aşamada kişilik özellikleri ile iş kazaları ve güvenlik davranışları arasındaki ilişkileri ele alan çalışmalar incelenmiştir. İkinci aşamada risk algısı ve güvenli davranışın güvenlik performansı üzerindeki rolleri değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada ise söz konusu değişkenler arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkiler tek bir kavramsal yapı içerisinde bütünleştirilmiştir.

Çalışmada herhangi bir örneklemden veri toplanmadığından istatistiksel hipotez testi gerçekleştirilmemiştir. Bunun yerine literatürde ortaya konulan ilişkilerden hareketle ilerleyen ampirik araştırmalarda sınanabilecek araştırma önermeleri geliştirilmiştir.

ÖNERİLEN KAVRAMSAL MODEL

Çalışmada önerilen model dört temel yapıdan oluşmaktadır:

Kişilik Özellikleri → Risk Algısı → Güvenli Davranış → Kaza Eğilimi

Modelde Beş Faktör Kişilik özellikleri temel açıklayıcı değişkenleri; risk algısı ve güvenli davranışlar aracı mekanizmaları; kaza eğilimi ise sonuç değişkenini oluşturmaktadır.

Modelin temel mantığı, kişilik özelliklerinin kazaları doğrudan belirlediğini ileri sürmek değildir.

Kişilik özelliklerinin çalışanın tehlikeleri nasıl algıladığını ve değerlendirdiğini; risk algısının ise güvenli veya güvensiz davranış geliştirme olasılığını etkileyebileceği öngörülmektedir. Güvenli davranışların da nihai olarak kaza eğiliminin azalmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

Bu çerçevede aşağıdaki araştırma önermeleri geliştirilebilir:

Ö1: Kişilik özellikleri çalışanların risk algısı düzeyleriyle ilişkilidir.
Ö2: Sorumluluk ve uyumluluk düzeyinin güvenli davranışlarla pozitif yönde ilişkili olması beklenmektedir.
Ö3: Risk algısının güçlenmesi güvenli davranışların artmasıyla ilişkilidir.
Ö4: Güvenli davranış düzeyi yükseldikçe kaza eğiliminin azalması beklenmektedir.
Ö5: Risk algısı, kişilik özellikleri ile güvenli davranış arasındaki ilişkide aracı rol oynar.
Ö6: Güvenli davranış, kişilik özellikleri ile kaza eğilimi arasındaki ilişkide aracı rol oynar.
Ö7: Kişilik özelliklerinin kaza eğilimi üzerindeki etkisi, risk algısı ve güvenli davranışın ardışık aracılığı yoluyla gerçekleşebilir.

Model matematiksel olarak basitleştirilmiş biçimde aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

Kişilik Özellikleri → Risk Algısı → Güvenli Davranış → Kaza Eğilimi

Bu modelin gelecekte ampirik olarak sınanmasında Yapısal Eşitlik Modellemesi (YEM/SEM) kullanılması uygun olacaktır. Böylece kişilik özelliklerinin kaza eğilimi üzerindeki doğrudan etkilerinin yanı sıra risk algısı ve güvenli davranış üzerinden oluşabilecek dolaylı etkiler de eş zamanlı olarak değerlendirilebilir.

TARTIŞMA

Önerilen modelin en önemli varsayımı, iş güvenliği performansının yalnızca teknik sistemlerin niteliğine veya çalışanların kurallara uyup uymamasına indirgenemeyeceğidir. Çalışanların kişilik özellikleri, tehlikeleri algılama biçimleri ve güvenli davranış eğilimleri arasında dinamik bir etkileşim bulunmaktadır.

Literatür bu yaklaşımı destekleyen önemli bulgular sunmaktadır. Christian ve arkadaşları (2009), güvenlik performansının hem bireysel hem de durumsal öncüllere sahip olduğunu göstermiştir. Beus ve arkadaşlarının (2015) meta-analizi ise kişilik özelliklerinin güvenlikle ilgili davranışlara özgün katkı sağladığını ve kişilik ile kaza arasındaki ilişkinin güvenlik davranışları üzerinden açıklanabileceğini göstermektedir.

Bu bulgular kişiliğin iş güvenliği açısından dikkate alınması gerektiğini göstermekle birlikte, çalışanları kişilik özelliklerine göre "güvenli" ve "güvensiz" olarak sınıflandırmak bilimsel ve etik açıdan sakıncalıdır. Önerilen modelin amacı çalışanları etiketlemek değil, aynı güvenlik uygulamasının neden her çalışan üzerinde aynı sonucu oluşturmadığını açıklayabilecek psikolojik mekanizmaları görünür hâle getirmektir.

Bu yaklaşım İSG eğitimleri açısından da önemlidir. Standartlaştırılmış ve bütün çalışanlara aynı biçimde sunulan eğitimlerin yerine; risk algısı, deneyim, bilişsel özellikler ve davranışsal farklılıkları dikkate alan eğitim modellerinin geliştirilmesi güvenlik performansını güçlendirebilir. Özellikle senaryo temelli eğitimler, davranışsal geri bildirim, simülasyon uygulamaları ve kişiselleştirilmiş risk iletişimi bu kapsamda değerlendirilebilir.

Model aynı zamanda proaktif güvenlik yönetimine katkı sunmaktadır. Geleneksel göstergeler çoğunlukla meydana gelmiş kazalar üzerinden değerlendirme yaparken, kişilik–risk algısı–davranış ilişkisini esas alan yaklaşım kazadan önce ortaya çıkan davranışsal ve psikolojik sinyallere odaklanmayı mümkün kılabilir.

Bununla birlikte bireysel faktörlerin vurgulanması, örgütsel sorumluluğun çalışanlara aktarılması anlamına gelmemelidir. Güvenlik iklimi, liderlik, iş yükü, çalışma süresi, ergonomik koşullar, eğitim kalitesi ve yönetimin güvenliğe bağlılığı gibi örgütsel değişkenler çalışan davranışlarını önemli ölçüde şekillendirmektedir (Zohar, 1980; Neal et al., 2000). Bu nedenle bireysel farklılıklar, teknik ve örgütsel faktörlerle birlikte değerlendirilmelidir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, bireysel farklılıkların iş güvenliği performansındaki rolünü açıklamak amacıyla kişilik özellikleri, risk algısı, güvenli davranış ve kaza eğilimi arasındaki ilişkileri bütünleştiren kavramsal bir model önermektedir.

Çalışmanın temel sonucu, kişilik özelliklerinin kaza eğilimini tek başına ve doğrudan belirleyen faktörler olarak değerlendirilmemesi gerektiğidir. Kişilik özellikleri çalışanların tehlikeleri algılama, riskleri değerlendirme ve güvenlikle ilgili davranış geliştirme süreçlerini etkileyebilmekte; bu psikolojik ve davranışsal süreçler de kaza eğiliminin oluşumuna katkıda bulunabilmektedir.

Bu bağlamda iş kazalarının önlenmesinde "tehlikeyi kontrol et" yaklaşımının yanına "çalışanın tehlikeyi nasıl algıladığını ve ona nasıl tepki verdiğini anla" yaklaşımının eklenmesi gerekmektedir.

Gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalarda önerilen modelin farklı sektörlerden çalışanların katılımıyla ampirik olarak test edilmesi önerilmektedir. Beş Faktör Kişilik özellikleri, risk algısı ve güvenli davranış için geçerli ve güvenilir ölçeklerden yararlanılarak elde edilecek veriler YEM/SEM aracılığıyla analiz edilebilir. Böylece doğrudan etkilerin yanı sıra risk algısı ve güvenli davranışın aracılık rolleri sınanabilir.

Ayrıca güvenlik iklimi, güvenlik liderliği, iş deneyimi, yaş, eğitim düzeyi, iş yükü, stres ve dijital çalışma koşulları gibi değişkenlerin düzenleyici veya kontrol değişkenleri olarak modele eklenmesi, gelecekte daha kapsamlı modellerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Sonuç olarak sürdürülebilir iş güvenliği performansı yalnızca daha güvenli makineler, daha ayrıntılı prosedürler veya daha güçlü denetim sistemleri geliştirmekle sağlanamaz. Güvenli sistemlerin merkezinde insan bulunmaktadır. Bu nedenle geleceğin İSG yaklaşımı; teknik güvenliği, örgütsel güvenliği ve insan faktörlerini birbirinin alternatifi değil, aynı güvenlik sisteminin tamamlayıcı bileşenleri olarak ele alan bütüncül ve insan merkezli bir anlayış üzerine kurulmalıdır.

KAYNAKLAR

Beus, J. M., Dhanani, L. Y., & McCord, M. A. (2015). A meta-analysis of personality and workplace safety: Addressing unanswered questions. *Journal of Applied Psychology, 100*(2), 481–498. https://doi.org/10.1037/a0037916

Christian, M. S., Bradley, J. C., Wallace, J. C., & Burke, M. J. (2009). Workplace safety: A meta-analysis of the roles of person and situation factors. *Journal of Applied Psychology, 94*(5), 1103–1127. https://doi.org/10.1037/a0016172

Clarke, S. (2008). An examination of the role of personality in work accidents using meta-analysis. *Applied Psychology, 57*(1), 94–108. https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.2007.00267.x

Clarke, S., & Robertson, I. T. (2005). A meta-analytic review of the Big Five personality factors and accident involvement in occupational and non-occupational settings. *Journal of Occupational and Organizational Psychology, 78*(3), 355–376. https://doi.org/10.1348/096317905X26183

Griffin, M. A., & Neal, A. (2000). Perceptions of safety at work: A framework for linking safety climate to safety performance, knowledge, and motivation. *Journal of Occupational Health Psychology, 5*(3), 347–358. https://doi.org/10.1037/1076-8998.5.3.347

McCrae, R. R., & John, O. P. (1992). An introduction to the Five-Factor Model and its applications. *Journal of Personality, 60*(2), 175–215. https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.1992.tb00970.x

Neal, A., Griffin, M. A., & Hart, P. M. (2000). The impact of organizational climate on safety climate and individual behavior. *Safety Science, 34*(1–3), 99–109. https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00008-4

Slovic, P. (1987). Perception of risk. *Science, 236*(4799), 280–285. https://doi.org/10.1126/science.3563507

Zohar, D. (1980). Safety climate in industrial organizations: Theoretical and applied implications. *Journal of Applied Psychology, 65*(1), 96–102. https://doi.org/10.1037/0021-9010.65.1.96

İŞ KAZALARINDA "ÇALIŞANIN YAŞI" VE "KIDEM SÜRESİ" FAKTÖRLERİNİN ROLÜ: SGK VERİLERİ ÜZERİNDEN BİR ANALİZ

Öğr. Gör. Salih KIRKAN
Başkent Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı
ORCID: 0000-0001-5331-9005

ÖZET
İş kazaları, çalışanların yaşamını, bedensel bütünlüğünü ve toplumsal refahı tehdit eden, büyük ölçüde önlenebilir nitelikte bir sorun olarak dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de çalışma hayatının en kritik gündem maddelerinden birini oluşturmaktadır. Bu çalışma, Türkiye'de meydana gelen iş kazalarında çalışanın yaşının ve işyerindeki kıdem süresinin nasıl bir rol oynadığını, Sosyal Güvenlik Kurumu'nun (SGK) 2021-2025 dönemine ait resmi istatistikleri üzerinden incelemektedir. Çalışmada yaş ve kıdem kavramları bilinçli olarak birbirinden ayrıştırılmakta; literatürde sıklıkla iç içe geçen "genç olmak" ile "işe yeni başlamış olmak" durumlarının kaza sıklığı ve kaza ciddiyeti üzerindeki bağımsız etkileri ayrı ayrı tartışılmaktadır. Türkiye örnekleminde on yıllık bir dönemi kapsayan bir araştırmada, kazaya karışan çalışanların önemli bir bölümünün otuz yaşın altındaki genç işgücünden oluştuğu belirlenmiştir (Ağar, 2025). Buna karşılık, kazanın ölümle sonuçlanma olasılığının ileri yaştaki çalışanlarda belirgin biçimde arttığı, aynı dönemde kaza sayısının yükselmesine rağmen ölüm oranının nispeten gerilediği ve cinsiyete bağlı olarak erkek çalışanların ölüm riskinin kadın çalışanlara kıyasla kat kat yüksek olduğu bildirilmiştir (Kavak ve Yılmaz Çakıroğlu, 2025). SGK'nın en güncel verileri incelendiğinde ise beklenmedik ve tartışmaya açık bir örüntü dikkat çekmektedir: hayatını kaybeden işçilerin ezici çoğunluğunun aynı işyerinde uzun yıllardır, çoğunlukla bir on yılı aşan bir süredir görev yaptığı ortaya çıkmıştır (SGK, 2025). Bu bulgu, deneyim eksikliğinin kaza riskini yükselttiğini savunan ve işe yeni başlayan çalışanların ilk döneminde çok daha yüksek yaralanma riskiyle karşılaştığını gösteren uluslararası literatürle (Breslin ve Smith, Institute for Work & Health) doğrudan çelişmekte, olası nedenleri (ölçüm farklılıkları, kümülatif yorgunluk, sektörel özellikler) üzerinden ayrıca tartışılmaktadır. Çalışma, "kim daha sık kaza geçiriyor" ile "kimin kazası ölümle sonuçlanıyor" sorularının birbirinden farklı yanıtlara sahip olabileceğini öne sürerek, yeni işe başlayanlara yönelik oryantasyon ve eğitim odaklı politikalar kadar, uzun yıllara dayanan çalışma sürecinin getirdiği yorgunluk ve sağlık risklerini izlemeye yönelik önlemlerin de eş zamanlı olarak geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.
Anahtar Kelimeler: İş Kazası, Çalışan Yaşı, Kıdem Süresi, SGK İstatistikleri, İş Sağlığı ve Güvenliği

THE ROLE OF WORKER AGE AND JOB TENURE IN OCCUPATIONAL ACCIDENTS: AN ANALYSIS BASED ON SGK DATA

ABSTRACT
Workplace accidents, which threaten workers' lives, physical well-being, and social welfare and are largely preventable, constitute one of the most critical issues in the world of work in Turkey, just as they do worldwide. This study examines the role of an employee's age and length of service at the workplace in workplace accidents occurring in Turkey, based on official statistics from the Social Security Institution (SGK) for the 2021–2025 period.

The study deliberately distinguishes between the concepts of age and tenure; it separately discusses the independent effects of “being young” and “being new to the job” two conditions that are often conflated in the literature on accident frequency and severity. In a study covering a ten-year period in the Turkish sample, it was determined that a significant portion of workers involved in accidents consisted of young workers under the age of thirty (Ağar, 2025). In contrast, it has been reported that the likelihood of an accident resulting in death increases significantly among older workers; that despite a rise in the number of accidents during the same period, the fatality rate has declined relatively; and that, by gender, the risk of death for male workers is many times higher than that for female workers (Kavak and Yılmaz Çakıroğlu, 2025). However, an unexpected and debatable pattern emerges when examining the Social Security Institution’s (SGK) most recent data: it turns out that the overwhelming majority of workers who lost their lives had been employed at the same workplace for many years in most cases, for more than a decade (SGK, 2025). This finding directly contradicts the international literature (Breslin and Smith, Institute for Work & Health), which argues that a lack of experience increases the risk of accidents and shows that newly hired workers face a much higher risk of injury during their initial period on the job; it is also being discussed in terms of possible causes (differences in measurement, cumulative fatigue, sector-specific characteristics). The study suggests that the questions “who experiences accidents more frequently” and “whose accidents result in fatalities” may have different answers. It emphasizes the need to simultaneously develop policies focused on orientation and training for new employees, as well as measures to monitor the fatigue and health risks associated with long-term employment.
Keywords: Workplace Accidents, Employee Age, Length of Service, Social Security Institution (SGK) Statistics, Occupational Health and Safety.

GİRİŞ

İş kazaları, yalnızca çalışanları değil, aileleri ve toplumu da etkileyen ciddi sağlık, ekonomik ve sosyal sonuçlar doğuran bir olgudur ve bu nedenle iş kazalarının azaltılması toplum refahı ve iş gücü verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Türkiye'de iş kazalarına ilişkin resmi istatistikler, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından her yıl istatistik yıllıkları şeklinde yayımlanmakta ve bu veriler akademik araştırmalarda temel veri kaynağı olarak kullanılmaktadır.

İş kazalarının nedenleri incelendiğinde, çevresel ve örgütsel faktörlerin yanı sıra bireysel risk faktörlerinin de belirleyici olduğu görülmektedir. Bu bireysel faktörlerin başında çalışanın yaşı ve işyerindeki kıdem süresi gelmektedir. Konuyla ilgili güncel bir Türkiye araştırmasında, on yıllık bir dönem SGK verileri temel alınarak incelenmiş ve kaza yaşayan çalışanların önemli bir kısmının otuz yaşın altındaki genç işgücünden oluştuğu ortaya konmuştur (Ağar, 2025). Bu bulgu, göreli olarak genç ve tecrübesi sınırlı çalışanların kaza sıklığı bakımından öne çıktığını göstermektedir.

Yaş faktörünün kaza sıklığı ile kaza ciddiyeti üzerindeki etkisinin birbirinden farklılaştığına dair bulgular da literatürde yer almaktadır. Farklı yıllara ait SGK verilerinin karşılaştırıldığı bir analizde, ileri yaştaki çalışanların karıştığı kazaların ölümle sonuçlanma ihtimalinin diğer yaş gruplarına kıyasla belirgin biçimde daha yüksek olduğu; aynı zamanda incelenen dönemde kaza sayılarının artmasına karşın ölüm oranının nispeten gerilediği ve cinsiyete bağlı olarak ölüm riskinin erkek çalışanlarda kadınlara göre kat kat fazla çıktığı gözlemlenmiştir (Kavak ve Yılmaz Çakıroğlu, 2025). Bu bulgular, yaşın kazaya maruz kalma olasılığından ziyade kazanın sonucunun ağırlığı üzerinde belirleyici olabileceğine işaret etmekte ve yaş-kıdem etkileşiminin tek boyutlu değil çok boyutlu (sıklık/ciddiyet) olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Genç işçilerin kaza riskine ilişkin davranışsal bir açıklama da yerli literatürde bulunmaktadır. Mesleki eğitim merkezi öğrencileri üzerinde yürütülen bir araştırmada, ramak kala olay yaşama olasılığının işe yeni başlayanlarda, tehlikeli iş kollarında çalışanlarda ve dürtüsellik düzeyi yüksek bireylerde anlamlı ölçüde arttığı; iş kazası geçirme riskinin ise daha önce ramak kala olay yaşamış olanlarda kayda değer biçimde yükseldiği tespit edilmiştir (Orhan, Canbaz, Akbaş ve Pekşen, 2017). Bu çalışma, kıdemin (çalışma yaşamının başlangıcı) genç yaştan bağımsız bir risk faktörü olarak da işlev görebileceğini göstermesi bakımından önemlidir.

Kıdem-kaza ilişkisine dair en güçlü kanıtlardan biri uluslararası literatürden gelmektedir. Kanada'da Institute for Work & Health bünyesinde yürütülen ve neredeyse on yıllık bir dönemi kapsayan bir izleme çalışmasında, işe henüz başlamış çalışanların, belirli bir süredir aynı işte olanlara kıyasla çok daha yüksek kayıp-zamanlı yaralanma riski taşıdığı gösterilmiştir (Breslin ve Smith, Institute for Work & Health). Araştırmanın öne çıkan bulgusu, bu yüksek riskin yalnızca genç çalışanlara özgü olmadığı, tam tersine ileri yaştaki, erkek ve ağır sanayi/inşaat gibi kollarda çalışan yeni işçilerde de benzer şekilde gözlendiğidir. Araştırmacılar bu bulgudan yola çıkarak temel risk faktörünün "gençlik" değil "yenilik" (işe/işyerine yeni başlamış olma) olduğunu vurgulamaktadır. Bu ayrım, mevcut çalışmanın kavramsal çerçevesinin temelini oluşturmaktadır.

Türkiye'de kıdem değişkeninin SGK verileri üzerinden başka bir kesitte de ele alındığı görülmektedir. Kadın çalışanların iş kazalarını inceleyen bir araştırmada, on yıllık bir dönem boyunca meydana gelen kazalar cinsiyet bağlamında geçici iş göremezlik süreleri, sektörler, kaza saatleri ve kazaya uğrayanların kıdemleri açısından ele alınmış ve kadın sigortalıların kaza sıklığı ile iş günü kaybına ilişkin somut oranlar ortaya konmuştur (Beykoz Akademi Dergisi, 2025). Bu çalışma, kıdem değişkeninin SGK istatistik yıllıklarından elde edilebilir ve cinsiyetle kesiştirilebilir bir değişken olduğunu göstermesi bakımından mevcut çalışma için yöntemsel bir referans niteliği taşımaktadır.

Yukarıda özetlenen literatür bir arada değerlendirildiğinde şu tablo ortaya çıkmaktadır: genç yaş grupları kaza sıklığında öne çıkarken, ileri yaş grupları kazanın ölümle sonuçlanma olasılığında öne çıkmakta; düşük kıdem (deneyimsizlik) yaştan bağımsız olarak kaza riskini artırmakta ve bu etki uluslararası düzeyde en yüksek biçimde gençlerde değil, yaşı ne olursa olsun yeni işe başlayanlarda gözlenmektedir. Ancak, ilerleyen bölümde ele alınacağı üzere, Türkiye'nin en güncel verileri bu genel eğilimle örtüşmeyen, tartışmaya açık bir tablo sunmaktadır. Bu çerçevede çalışmanın amacı, Türkiye'de SGK'ya bildirilen ölümlü iş kazalarında çalışanın yaşı ve işyerindeki kıdem süresinin rolünü istatistiksel olarak ortaya koymak ve bu bulguların işe alım sonrası oryantasyon, eğitim ve denetim politikalarına yönelik ne tür çıkarımlar sunduğunu tartışmaktır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Veri ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan veriler, Sosyal Güvenlik Kurumu'nun iş kazası istatistiklerinden derlenmiştir. Çalışmanın kapsadığı dönem, SGK'nın en son yayımladığı yıllık verilerle birlikte beş yıllık bir pencereyi (2021'den 2025'e kadar) içermektedir. Analizde, ölümlü iş kazalarına karışan sigortalıların yaş dağılımı ve işyerindeki çalışma süresi (kıdem) tanımlayıcı istatistik yöntemleriyle incelenmiş, elde edilen örüntüler literatürdeki bulgularla karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. İş Göremezlik Sürelerine (Gün) Göre İş Kazası Geçiren Sigortalı Sayıları (Yaş Aralığına Göre)

İş göremezlik sürelerine (gün) göre iş kazası geçiren sigortalı sayıları (Yaş aralığına göre)															
	2021			2022			2023			2024			2025		
	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam
14-17	4.640	1.054	5.694	8.741	2.297	11.038	12.184	2.936	15.120	14.222	3.878	18.100	16.242	4.594	20.836
18-24	104.880	28.043	132.923	117.988	35.790	153.778	143.516	45.841	189.357	150.930	53.537	204.467	150.147	58.021	208.168
25-44	238.892	49.593	288.485	257.919	63.309	321.228	285.697	75.172	360.869	295.139	84.955	380.094	296.468	96.016	392.484
45-59	65.021	15.028	80.049	75.909	21.198	97.107	81.662	26.991	108.653	88.519	33.247	121.766	93.758	39.670	133.428
60+	3.645	288	3.933	5.212	460	5.672	6.711	691	7.402	8.120	1.099	9.219	9.663	1.460	11.123

Bulgular

2021-2025 Döneminde Ölümlü İş Kazalarının Genel Seyri: SGK verilerine göre, ölümlü iş kazası sayısı 2021'den 2022'ye doğru bir miktar artmış, 2023 yılında ise belirgin bir sıçrama yaşanmıştır; bu sıçramanın ardından 2024 ve 2025 yıllarında ölüm sayısı benzer ve yüksek düzeylerde seyretmeye devam etmiştir (SGK, 2025). Bu seyir, 2023 yılındaki artışın geçici bir sapma olmadığını, kalıcı bir düzey değişikliğine işaret ettiğini düşündürmektedir.

Tablo 2. İş Kazası Sonucu Ölen Sigortalı Sayısı (Yaş Aralığına Göre)

İş kazası sonucu ölen sigortalı sayısı (Yaş aralığına göre)															
	2021			2022			2023			2024			2025		
	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam
14-17	5	0	5	11	1	12	19	1	20	10	1	11	18	4	22
18-24	90	3	93	135	7	142	185	6	191	132	5	137	137	6	143
25-44	576	16	592	629	19	648	738	27	765	729	27	756	698	30	728
45-59	570	11	581	576	11	587	772	24	796	739	18	757	768	26	794
60+	109	2	111	127	1	128	193	1	194	233	3	236	243	1	244

Yaş Değişkeni: En güncel yıla ait veriler incelendiğinde, hayatını kaybeden işçiler arasında reşit olmayan (18 yaş altı) çalışanların önemli bir grup oluşturduğu, bu grubun yaş dağılımının 14 ile 18 arasında kademeli bir artış gösterdiği görülmektedir. İleri yaş grubunda ise ölüm sayıları görece düşük olduğu görülmektedir (SGK, 2025).

Tablo 3. İş kazası sonucu ölen sigortalı sayısı (Yaş Aralığına Göre)

İş kazası sonucu ölen sigortalı sayısı (Yaş Aralığına Göre)															
	2021			**2022**			**2023**			**2024**			**2025**		
	Erkek	**Kadın**	**Toplam**	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**
14-17	5	0	5	11	1	12	19	1	20	10	1	11	18	4	22
18-24	90	3	93	135	7	142	185	6	191	132	5	137	137	6	143
25-44	576	16	592	629	19	648	738	27	765	729	27	756	698	30	728
45-59	570	11	581	576	11	587	772	24	796	739	18	757	768	26	794
60+	109	2	111	127	1	128	193	1	194	233	3	236	243	1	244

Cinsiyet dağılımına bakıldığında, hayatını kaybeden işçilerin ezici çoğunluğunu erkek çalışanlar oluşturmakta, kadın çalışanların payı oldukça sınırlı kalmaktadır.

Tablo 4. İş kazası sonucu ölen sigortalı sayısı (Erkek-Kadın Sayısına Göre)

	İş kazası sonucu ölen sigortalı sayısı (Erkek-Kadın Sayısına Göre)				
	2021	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**
Erkek	1350	1478	1907	1843	1864
Kadın	32	39	59	54	67

Kıdem (İşyerindeki Çalışma Süresi) Değişkeni: Çalışmanın en dikkat çekici bulgusu kıdem değişkeninde ortaya çıkmaktadır. En güncel yıla ait veriler, ölümlü iş kazasına karışan işçilerin neredeyse tamamına yakınının aynı işyerinde uzun yıllardır, genellikle bir on yılı aşan bir süredir çalıştığını göstermektedir; geriye kalan küçük bir grup ise bir haftadan on yıla kadar değişen daha kısa sürelerde işyerinde bulunmaktadır (SGK, 2025).

Tablo 5. İş göremezlik sürelerine (gün) göre iş kazası geçiren sigortalı sayıları

	İş göremezlik sürelerine (gün) göre iş kazası geçiren sigortalı sayıları														
Kıdem Süresi	**2021**			**2022**			**2023**			**2024**			**2025**		
	Erkek	**Kadın**	**Toplam**	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**
1 gün	2.354	367	2.721	1.067	204	1.271	14	12	26	12	15	27	12	7	19
2-7 gün	12.605	2.197	14.802	5.965	1.247	7.212	64	36	100	56	53	109	88	59	147
8-30 gün	39.885	7.875	47.760	19.159	4.357	23.516	232	175	407	222	198	420	244	208	452
1 aydan fazla-3 ay	64.736	13.963	78.699	31.423	7.866	39.289	351	231	582	386	297	683	403	294	697
3 aydan fazla-1 yıl	111.294	25.866	137.160	58.287	15.744	74.031	803	369	1.172	757	379	1.136	854	386	1.240
1 yıldan fazla-2 yıl	56.260	14.302	70.562	28.914	8.249	37.163	471	145	616	537	209	746	584	195	779
2 yıldan fazla-5 yıl	77.663	19.528	97.191	38.447	10.694	49.141	453	216	669	498	181	679	524	224	748
5 yıldan fazla-10 yıl	32.951	7.391	40.342	16.625	4.078	20.703	49	31	80	53	39	92	91	55	146
10+ yıl	13.643	1.808	15.451	263.167	70.183	333.350	527.083	150.348	677.431	554.160	175.284	729.444	563.243	198.252	761.495
Bilinmeyen	5.687	709	6.396	2.715	432	3.147	250	68	318	249	61	310	235	81	316

Bu bulgu, ölümlü iş kazalarının düşük kıdemli/yeni işçilerde değil, tam tersine yüksek kıdemli işçilerde yoğunlaştığını göstermektedir.

Tablo 6. İş kazası sonucu ölen sigortalı sayısı

	İş kazası sonucu ölen sigortalı sayısı														
	2021			**2022**			**2023**			**2024**			**2025**		
Kıdem Süresi	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**	**Erkek**	**Kadın**	**Toplam**
1 gün	20	3	23	14	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-7 gün	82	0	82	31	1	32	3	0	3	1	0	1	0	0	0
8-30 gün	154	1	155	65	1	66	0	0	0	0	0	0	3	0	3
1 aydan fazla-3 ay	201	7	208	91	2	93	2	0	2	2	0	2	5	0	5
3 aydan fazla-1 yıl	308	8	316	151	2	153	5	1	6	1	0	1	2	0	2
1 yıldan fazla-2 yıl	155	2	157	86	4	90	1	0	1	0	0	0	0	0	0
2 yıldan fazla-5 yıl	221	1	222	109	3	112	3	0	3	2	0	2	2	0	2
5 yıldan fazla-10 yıl	79	7	86	43	1	44	1	0	1	1	0	1	2	0	2
10+ yıl	49	2	51	848	25	873	1.891	58	1.949	1.863	54	1.890	1.846	61	1.907
Bilinmeyen	81	1	82	40	0	40	1	0	1	0	0	0	4	6	10

Sektörel Dağılım: Ölümlü iş kazalarında ilk sırayı, alt kollarıyla birlikte değerlendirildiğinde inşaat sektörü almaktadır. Bunu nakliye-taşımacılık izlemekte; risk düzeyi görece düşük kabul edilen perakende ve toptan ticaret, gıda imalatı ile yiyecek-içecek hizmetleri gibi sektörlerde de dikkat çekici sayıda can kaybı yaşanmaktadır. En sık rastlanan ölüm nedeni yüksekten düşme olup, bunu çalışılmakta olan makine, araç veya ekipmanın kontrolden çıkması izlemektedir (SGK, 2025).

Tartışma

Bu çalışmanın kıdem değişkenine ilişkin bulgusu, uluslararası literatürle farklılık göstermektedir. Kanada'da yürütülen ve on yıla yakın bir dönemi kapsayan araştırma, işe yeni başlayan çalışanların, belirli bir süredir aynı işte olanlara kıyasla çok daha yüksek kaza riski taşıdığını ve temel risk faktörünün "yenilik" (deneyimsizlik) olduğunu ortaya koymuştur (Breslin ve Smith, Institute for Work & Health). Oysa Türkiye'nin en güncel SGK verileri, ölümlü kazaların büyük çoğunluğunun uzun kıdemli işçilerde gerçekleştiğini göstermektedir. Bu görünürdeki çelişki muhtemelen iki farklı olguyu yansıtmaktadır:

- Ölçüm farkı: SGK'nın kıdem verisi, işçinin o belirli işyerindeki değil, sigortalılık sistemi içindeki toplam çalışma süresini yansıtıyor olabilir; bu durumda uzun kıdem, yeni bir işe başlamış ama uzun süredir sigortalı olan (dolayısıyla yaşça daha olgun) işçileri de kapsayabilir.

• Ölümcüllük ile sıklık farkı: Genç/deneyimsiz işçilerde kaza sıklığı daha yüksek olsa da (Ağar, 2025'in bulgusuyla tutarlı biçimde), kazaların ölümle sonuçlanma olasılığı, ağır fiziksel işlerde uzun yıllar çalışmış, kümülatif yorgunluk ve sağlık sorunları biriktirmiş kıdemli işçilerde daha yüksek olabilir. Bu ayrım, ileri yaştaki çalışanlarda ölüm olasılığının daha yüksek çıktığı bulgusuyla da (Kavak ve Yılmaz Çakıroğlu, 2025) tutarlıdır.

Bu nedenle "kim daha çok kaza geçiriyor" sorusunun cevabı genç/deneyimsiz işçiler iken, "kimin kazası ölümle sonuçlanıyor" sorusunun cevabı kıdemli/yaşlı işçiler olabilir. Bu iki bulgunun bir arada sunulması, çalışmanın literatüre özgün katkısını oluşturmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye'de 2021-2025 döneminde meydana gelen ölümlü iş kazalarında çalışanın yaşı ve işyerindeki kıdem süresinin rolünü SGK verileri üzerinden incelemiştir. Elde edilen bulgular, iki farklı ve birbirini tamamlayan bir çerçeve sunmaktadır: genç ve deneyimsiz çalışanlar kaza sıklığı bakımından risk grubunu oluştururken, uzun kıdemli çalışanlar Türkiye örnekleminde ölümlü kaza ciddiyeti bakımından öne çıkmaktadır. Bu ikinci bulgu, deneyimsizliğin kaza riskini artırdığını öne süren uluslararası literatürle doğrudan örtüşmemekte olup, Türkiye'ye özgü koşulların (kıdem verisinin ölçülme biçimi, ağır işlerde uzun süre çalışmanın birikimli etkisi, denetim ve yorgunluk yönetimi eksiklikleri) ayrıca araştırılmasını gerekli kılmaktadır.

Bulgular ışığında şu politika önerileri sunulabilir:

• İşe yeni başlayan çalışanlara yönelik oryantasyon ve güvenlik eğitimlerinin yoğunlaştırılması, özellikle genç işgücünün yoğun olduğu sektörlerde sürdürülmeli.

• Uzun süreli kıdemli çalışanlar için periyodik sağlık taraması, yorgunluk yönetimi ve iş rotasyonu gibi önlemler geliştirilmeli.

• SGK istatistik yıllıklarında kıdem değişkeninin "işyerine özgü süre" ile "toplam sigortalılık süresi" ayrımını netleştirecek şekilde raporlanması, gelecekteki araştırmaların isabetini artıracaktır.

• İnşaat, taşımacılık ve perakende ticaret gibi öne çıkan sektörlerde yaş ve kıdem kırılımlı risk değerlendirmesi uygulamaları yaygınlaştırılmalı.

Gelecek araştırmalar için, SGK'nın ham mikro verilerine erişilerek yaş ve kıdemin birlikte (etkileşimli) etkisinin çok değişkenli istatistiksel modellerle (örneğin lojistik regresyon) test edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Ağar, A. (2025). Türkiye'de Yaşanan İş Kazaları Üzerine Etkili Bazı Faktörlerin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi: 2013-2022 Örneği. Uluslararası Akademik Çalışmalar Dergisi. https://doi.org/10.29228/jacademia.88185

Beykoz Akademi Dergisi (2025). Kadın Çalışanların Geçirdiği İş Kazalarının SGK Verileri Üzerinden Analizi: 2013-2022. https://dergipark.org.tr/tr/pub/beykozad/article/1546813

Breslin, C. & Smith, P. Institute for Work & Health (IWH). Job Tenure and Workplace Injury Risk: A Ten-Year Analysis (1999-2008); ilgili önceki çalışma: "Trial by Fire," Occupational and Environmental Medicine, 63(1), 27-32. https://iwh.on.ca/node/274

Kavak, S., ÇAKIROĞLU YILMAZ, A. (2025). Türkiye'deki İş Kazası İstatistiklerinin Logaritmik Doğrusal Modeller ile Çözümlenmesi. 37(2), 92-108. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4456758

Orhan, S., Canbaz, S., Akbaş, S., & Pekşen, Y. (2017). Genç İşçilerde İş Kazası Sıklığının Dürtüsellikle İlişkisi. Türkiye Klinikleri Sağlık Bilimleri Dergisi, 2(3), 151-158.

Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) (2025). İş Kazası ve Meslek Hastalığı İstatistikleri – 2021-2025 Dönemi. https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Yillik/

TÜRKİYE'DE VARDİYALI VE GECE ÇALIŞMA DÜZENİNİN İŞ KAZALARI RİSKİNE ETKİSİ: SGK VERİLERİ VE ULUSAL/ULUSLARARASI LİTERATÜR IŞIĞINDA BİR İNCELEME

Öğr. Gör. Salih KIRKAN
Başkent Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı
ORCID: 0000-0001-5331-9005

ÖZET
Sanayileşme ve kesintisiz hizmet ihtiyacı, vardiyalı ve gece çalışmasını modern iş hayatının yaygın unsurlarından biri hâline getirmiştir. Biyolojik saatin bozulması ve aşırı yorgunluk, gece vardiyasında güvenlik performansını olumsuz etkileyen, dünyaca kabul görmüş, kanıtlanmış bir sistemdir (Åkerstedt, 2003; Costa, 2010; Folkard ve Tucker, 2003). Bu çalışma, Türkiye'de Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yayımlanan iş kazası istatistiklerini saat/vardiya kırılımında ele alan ulusal kaynakları başta Sosyal Güvenlik Kurumu, Türkiye İşçi Sendikaları Konfederasyonu'nun (Türk-İş) resmî yayını (Yıldız, Gedikli ve Küçük Biçer, 2012) ile Bacak ve Kazancı (2014) olmak üzere ve konuya ilişkin uluslararası literatürü bir araya getirerek, vardiyalı/gece çalışmasının iş kazası riski ve şiddetiyle ilişkisini betimsel biçimde incelemeyi amaçlamaktadır. SGK'nın yıllık istatistiklerine ait resmî saat kırılımlı verileri, kazaların mutlak sayı olarak öğleden önce (09:00-12:00) ve öğleden sonra erken saatlerde (14:00-16:00) yoğunlaştığını göstermektedir. Buna karşın, gündüz vardiyasına kıyasla öğle vardiyasında kaza/yaralanma riskinin yaklaşık %18, gece vardiyasında ise yaklaşık %30 daha yüksek olduğu; ardışık gece nöbetlerinde bu riskin kümülatif olarak arttığı (ikinci gece +%6, üçüncü gece +%17, dördüncü gece +%36) uluslararası literatürden Türkçeye aktarılan bulgular arasındadır (Costa, 2010'dan aktaran Yıldız, Gedikli ve Küçük Biçer, 2012). Sonuç olarak, gece ve vardiyalı çalışma düzeninde proaktif iş sağlığı ve güvenliği (İSG) yaklaşımının benimsenmesi, ileri yönde vardiya rotasyonu ve dinlenme aralarının yapılandırılması, mevzuata (4857 sayılı İş Kanunu md. 69) tam uyumun sağlanması önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: İş Sağlığı ve Güvenliği, Vardiyalı Çalışma, Gece Çalışması, İş Kazası, SGK İstatistikleri, Çalışma Saatleri.

THE EFFECT OF SHIFT WORK AND NIGHT SHIFTS ON THE RISK OF WORK-RELATED ACCIDENTS IN TURKEY: A STUDY BASED ON SGK DATA AND NATIONAL/INTERNATIONAL LITERATURE

ABSTRACT
Industrialization and the need for uninterrupted service have made shift work and night work a common feature of modern working life. Disruption of the biological clock and excessive fatigue are globally recognized, well-established factors that negatively affect safety performance during night shifts (Åkerstedt, 2003; Costa, 2010; Folkard and Tucker, 2003). This study examines national sources—primarily the Social Security Institution (SGK), the official publication of the Confederation of Turkish Trade Unions (Türk-İş) (Yıldız, Gedikli, and Küçük Biçer, 2012) and Bacak and Kazancı (2014), and the relevant international literature, to descriptively examine the relationship between shift work/night work and the risk and severity of workplace accidents.

Official hourly-disaggregated data from the Social Security Institution's (SGK) annual statistics show that accidents are concentrated in absolute numbers during the morning (9:00 a.m.–12:00 p.m.) and early afternoon (2:00 p.m.–4:00 p.m.) hours. However, findings translated into Turkish from the international literature indicate that the risk of accidents and injuries is approximately 18% higher during the afternoon shift and approximately 30% higher during the night shift compared to the day shift; this risk increases cumulatively during consecutive night shifts (second night: +6%, third night: +17%, fourth night: +36%) (Yıldız, Gedikli, and Küçük Biçer, 2012, citing Costa, 2010). Consequently, it is recommended to adopt a proactive occupational safety and health (OSH) approach in night and shift work schedules, to implement forward-rotating shift schedules and structured rest periods, and to ensure full compliance with legislation (Labor Law No. 4857, Article 69).
Keywords: Occupational Safety and Health, Shift Work, Night Work, Work-Related Accidents, Social Security Institution (SGK) Statistics, Working Hours.

GİRİŞ

Sürekli üretim hatları ile sağlık, güvenlik ve ulaştırma gibi kesintisiz hizmet sunan iş kollarının genişlemesi, çalışma hayatında tekil gündüz mesaisi anlayışını esneterek çoklu vardiya ve gece çalışması sistemlerini yaygınlaştırmıştır. İnsan fizyolojisi, yaklaşık 24 saatlik biyolojik bir döngü olan sirkadiyen ritim ile gündüz uyanıklığına ve gece uykusuna programlanmıştır; bu doğal döngüye ters düşen çalışma biçimleri, uyku-uyanıklık bozukluklarına ve performans kaybına yol açabilmektedir (Åkerstedt, 2003). Türkiye İşçi Sendikaları Konfederasyonu (Türk-İş) tarafından 2012 yılında yayımlanan bir uzman raporunda, gece çalışmasında danışmanlık ve denetim faaliyetlerinin kısıtlı olmasının ve gece saatlerinde makine/teçhizattan sorumlu bakım personelinin bulunmayışının, iş kazalarının meydana gelmesinde önemli faktörler olduğu vurgulanmaktadır (Yıldız, Gedikli ve Küçük Biçer, 2012).

Türkiye'de gece çalışmasına ilişkin temel yasal çerçeve 4857 sayılı İş Kanunu'nun 69. maddesinde düzenlenmiştir: çalışma hayatında "gece", en geç saat 20.00'de başlayıp en erken 06.00'ya kadar süren ve her hâlükârda en fazla on bir saat süren dönem olarak tanımlanmakta; işçilerin gece çalışması kural olarak yedi buçuk saati geçememektedir. 2015 yılında 6645 sayılı Kanun'un 37. maddesiyle yapılan değişiklikle, turizm, özel güvenlik ve sağlık hizmeti yürütülen işlerde işçinin yazılı onayı alınması şartıyla bu sürenin aşılabilmesine imkân tanınmıştır. Ayrıca 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, işverenlere mesleki risklerin önlenmesi ve çalışma koşullarının sürekli iyileştirilmesi yükümlülüğünü genel bir çerçevede getirmektedir (Yıldız, Gedikli ve Küçük Biçer, 2012).

Bacak ve Kazancı (2014), Türk çalışma hayatında vardiyalı ve gece çalışan işçilerin karşılaştığı fizyolojik, psikolojik ve sosyolojik etkileri değerlendirdikleri çalışmalarında, gece çalışmasının insan bedeninin biyolojik ritmini, sindirim sistemini ve uyku düzenini bozarak iş kazası sıklığını artıran bir zemin oluşturduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışma, SGK'nın resmî istatistiklerini bu ulusal literatür ve uluslararası kaynaklarla birlikte sentezleyerek, Türkiye'de vardiyalı/gece çalışmasının kaza riski ve şiddetine etkisini irdelemeyi amaçlamaktadır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Biyolojik Ritim Bozulması ve Performans Kaybı

Yıldız, Gedikli ve Küçük Biçer'in (2012) derlediği literatüre göre, işçilerin optimum mental performans düzeyi öğleden sonra 14:00-16:00 saatleri arasında görülürken, performans düzeyi gece 03:30-05:30 arasında en düşük seviyeye inmektedir.

Aynı kaynakta aktarılan bir gaz ölçüm istasyonu incelemesinde, yirmi yıllık kayıtlarda en çok okuma hatasının saat 03:00 civarında yapıldığı; benzer biçimde geceleri çalışan telefon operatörlerinin daha yavaş tempoda çalıştığı, reaksiyon sürelerinin uzadığı ve aritmetik işlem hızının düştüğü bildirilmiştir. Folkard ve Tucker (2003) ise, güvenlik performansının gece vardiyalarında, ardışık gece sayısı arttıkça ve dinlenme molaları seyrekleştikçe kötüleştiğini geniş kapsamlı bir derlemeyle ortaya koymuştur.

SGK İstatistiklerinde Kaza Saati Kırılımı

SGK'nın 2021-2025 yılları arasındaki ve 2010 Yılı İstatistik Yıllığı'ndan derlenen ve Türk-İş'in resmî yayınında (Yıldız, Gedikli ve Küçük Biçer, 2012) yer alan tablo, Türkiye'de iş kazalarının 2009 ve 2010 yıllarında saat kırılımına göre dağılımını göstermektedir:

Tablo 1. SGK İstatistiklerinde Kaza Saati Kırılımı (2009-2010)

Saat Aralığı	2009 Toplam	2010 Toplam
00:00-00:59	528	630
01:00-01:59	1.628	1.254
02:00-02:59	1.580	1.322
03:00-03:59	1.194	1.074
04:00-04:59	972	1.050
05:00-05:59	1.063	1.058
06:00-06:59	1.078	1.125
07:00-07:59	1.236	1.422
08:00-08:59	3.999	3.533
09:00-09:59	4.664	4.763
10:00-10:59	5.190	5.431
11:00-11:59	5.658	5.552
12:00-12:59	4.905	5.192
13:00-13:59	3.170	3.361
14:00-14:59	5.011	4.672
15:00-15:59	6.975	5.832
16:00-16:59	4.616	3.581
17:00-17:59	2.681	2.901
18:00-18:59	1.680	1.935
19:00-19:59	1.449	1.511
20:00-20:59	1.235	1.408
21:00-21:59	1.298	1.445
22:00-22:59	1.341	1.514
23:00-23:59	1.157	1.334

Tablo 2. SGK İstatistiklerinde Kaza Saati Kırılımı (2021-2025)

İş kazasının meydana geldiği saatler		**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**
00:00	00:59	8.549	10.303	12.401	12.323	11.916
01:00	01:59	9.222	10.324	11.115	12.293	11.441
02:00	02:59	8.636	9.395	10.464	11.298	10.626
03:00	03:59	8.002	8.646	9.487	9.996	9.300
04:00	04:59	6.870	7.290	8.247	8.720	8.003
05:00	05:59	6.759	7.149	7.726	8.169	8.365
06:00	06:59	7.467	8.238	9.023	9.398	8.932
07:00	07:59	11.811	13.502	16.121	17.360	15.794
08:00	08:59	26.604	30.538	36.317	38.932	37.329
09:00	09:59	40.741	46.981	54.799	59.969	57.296
10:00	10:59	47.267	54.314	63.035	68.456	66.397
11:00	11:59	49.296	56.466	65.882	71.055	69.544
12:00	12:59	29.304	32.353	39.069	42.186	42.017
13:00	13:59	32.033	37.904	43.281	48.231	47.477
14:00	14:59	42.151	48.896	57.373	61.802	60.517
15:00	15:59	40.698	47.409	55.515	60.284	58.469
16:00	16:59	34.076	40.022	46.786	49.643	49.800
17:00	17:59	25.479	29.672	34.684	36.557	35.318
18:00	18:59	16.125	18.985	21.348	23.079	22.299
19:00	19:59	13.334	15.733	17.661	18.986	18.176
20:00	20:59	12.493	14.881	16.750	18.007	17.530
21:00	21:59	12.449	14.441	16.103	17.172	16.595
22:00	22:59	11.452	13.215	14.649	15.553	14.839
23:00	23:59	10.266	12.166	13.565	14.177	13.902

Tablolarda görüldüğü üzere, kazaların mutlak sayısı 08:00-12:00 ile 14:00-16:00 aralıklarında belirgin şekilde yükselmekte, gece saatlerinde (01:00-06:00) ise istihdam edilen çalışan sayısının da düşük olmasıyla uyumlu biçimde düşük kalmaktadır. Ancak aynı kaynakta (SGK, 2010), gündüz/öğle/gece olmak üzere sekizer saatlik üç vardiyayı karşılaştıran çalışmaların sonuçlarına atıfla, kaza/yaralanma riskinin gündüz vardiyasına oranla öğle vardiyasında %18, gece vardiyasında ise %30 ile en yüksek düzeyde olduğu; ardışık gece vardiyalarında riskin ikinci gece %6, üçüncü gece %17, dördüncü gece ise %36 oranında arttığı aktarılmaktadır (Costa, 2010'dan aktaran Yıldız, Gedikli ve Küçük Biçer, 2012). Aynı kaynak (SGK, 2010), sekiz saati aşan vardiya sürelerinde kaza riskinin üstel biçimde arttığını ve 12 saatlik vardiyalarda riskin 8 saatlik vardiyalara göre yaklaşık iki katına çıkabileceğini belirtmektedir. Bu bulgular, mutlak kaza sayısının gündüz saatlerinde yüksek olmasının, gece vardiyasını görece güvenli kıldığı biçiminde yorumlanmaması gerektiğini; tam tersine, çalışan başına düşen risk açısından gece ve uzun vardiyaların daha yüksek risk taşıdığını göstermektedir.

Sektörel Yansımalar: 7/24 Çalışan Sektörlerde Durum

İmalat / Metal Sektörü: Yıldız, Gedikli ve Küçük Biçer'in (2012) aktardığı, Kore'de metal sanayiinde yürütülen bir araştırmada, gece vardiyasında meydana gelen iş kazalarının çoğunluğunun saat 03:00 ile 06:00 arasında yoğunlaştığı saptanmıştır.

Beceren ve Özcan (2020) da, incelediği bir çelik üretim fabrikasında kaza şiddetinin kazanın gerçekleştiği saate göre istatistiksel olarak farklılaştığını ortaya koymuştur; bu da mutlak kaza sayısının az olduğu gece saatlerinde meydana gelen kazaların hafif sonuçlandığı anlamına gelmediğini desteklemektedir.

Sağlık Hizmetleri: d'Ettorre (2017), 765 hemşireye ait 48 aylık vardiya verisini incelediği vaka-kontrol çalışmasında, haftada 3 veya daha fazla gece nöbeti tutan hemşirelerde iğne batması yaralanmalarının, daha az gece nöbeti tutanlara kıyasla daha sık görüldüğünü göstermiştir. Bacak ve Kazancı (2014) da, gece çalışan sağlık personelinde uyku düzeni bozukluklarının ve buna bağlı dikkat kaybının kaza riskini artıran önemli bir etken olduğunu vurgulamaktadır.

Ulaştırma ve Lojistik: Amerika Birleşik Devletleri'nde NHTSA ve FMCSA tarafından yürütülen Büyük Kamyon Kaza Nedensellik Çalışması, incelenen ağır ticari araç kazalarının yaklaşık %13'ünde sürücü yorgunluğunun etkili bir faktör olduğunu tespit etmiştir (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016). Avrupa Komisyonu Karayolu Güvenliği Gözlemevi'ne göre ise ABD'de uzun mesafeli kamyon kazalarının yaklaşık %20'si, sürücü yorgunluğunun en yoğun olduğu gece yarısı ile sabah 06.00 arasında meydana gelmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

SGK'nın resmî saat kırılımlı verileri (2021-2025) ile ulusal (Yıldız, Gedikli ve Küçük Biçer, 2012; Bacak ve Kazancı, 2014; Beceren ve Özcan, 2020) ve uluslararası (Åkerstedt, 2003; Costa, 2010; Folkard ve Tucker, 2003) literatür bir arada değerlendirildiğinde, iş kazalarının mutlak sayı bakımından gündüz çalışma saatlerinde yoğunlaştığı, ancak çalışan başına düşen kaza riskinin ve kaza şiddetinin gece vardiyasında ve ardışık gece nöbetlerinde belirgin biçimde arttığı görülmektedir.

Tablo 3. İş Kazasının Meydana Geldiği Saatler (Vardiya)

İş kazasının meydana geldiği saatler (Vardiya)	**İş göremezlik sürelerine (gün) göre iş kazası geçiren sigortalı sayıları**				
	2021	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**
00:00 - 07:59	67.316	74.847	84.584	89.557	84.377
08:00 - 15:59	308.094	354.861	415.271	450.915	439.046
16:00 - 23:59	135.674	159.115	181.546	193.174	188.459

Bu çerçevede şu öneriler sunulabilir:

- **Rotasyonel Vardiya Tasarımı:** Vardiyaların, biyolojik saatin uyumunu kolaylaştıran "sabah → akşam → gece" yönünde (ileri rotasyon) düzenlenmesi ve vardiya dönüşümlerinin sık aralıklarla (2-3 gün) yapılması önerilmektedir (Yıldız, Gedikli ve Küçük Biçer, 2012).
- **Ardışık Gece Sayısının Sınırlandırılması:** Ardışık gece nöbeti sayısı arttıkça kaza riskinin kümülatif olarak yükseldiği (2. gece +%6, 3. gece +%17, 4. gece +%36) dikkate alınarak, art arda gece vardiyası sayısı sınırlandırılmalı (Costa, 2010).
- **Gece Mesai Süresine Uyum:** 4857 sayılı İş Kanunu'nun 69. maddesi uyarınca gece çalışma süresinin kanunda öngörülen istisnalar dışında yedi buçuk saati aşmaması sağlanmalı, posta değişiminde kesintisiz en az on bir saat dinlenme verilmeli.

• **Kritik Saatlerde Dinlenme:** Performansın en düşük olduğu 03:30-05:30 aralığına kısa süreli, yapılandırılmış dinlenme molaları yerleştirilmeli (Yıldız, Gedikli ve Küçük Biçer, 2012).
• **Gece Vardiyasında Denetim ve Gözetim:** 6331 sayılı Kanun çerçevesinde bakım, gözetim personeli istihdamı gece vardiyasında da sürdürülmeli; danışmanlık ve denetim kısıtlılığının giderilmesi teşvik edilmeli.
• **Sektöre Özgü Önlemler:** Sağlık kuruluşlarında ardışık gece nöbeti sayısı sınırlandırılmalı; metal/imalat sektöründe gece vardiyasında (özellikle 03:00-06:00 aralığında) denetim yoğunluğu artırılmalı; lojistik sektöründe sürücü dinlenme sürelerine sıkı uyum sağlanmalı.

KAYNAKLAR

Ağar, A. (2025). Türkiye'de Yaşanan İş Kazaları Üzerine Etkili Bazı Faktörlerin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi: 2013-2022 Örneği. Uluslararası Akademik Çalışmalar Dergisi. DOI: 10.29228/jacademia.88185. https://jacademia.com/index.jsp?mod=makale_tr_ozet&makale_id=88185

Åkerstedt, T. (2003). Shift work and disturbed sleep/wakefulness. *Occupational Medicine*, 53(2), 89-94. https://doi.org/10.1093/occmed/kqg046

Bacak, B., & Kazancı, E. (2014). Türk çalışma hayatında vardiyalı gece çalışan işçilerin karşılaştığı fizyolojik, psikolojik ve sosyolojik etkilerin değerlendirilmesi. HAK-İŞ Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi, 3(6), 132-149. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/84805

Beceren, G., & Özcan, B. (2020). Demir Çelik Sektöründe İş Kazalarının Çeşitli Faktörlere Göre Analizi. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 4(1), 1-12. https://doi.org/10.33720/kisgd.740644

Costa, G. (2010). Shift Work and Health: Current Problems and Preventive Actions. Safety and Health at Work, 1(2), 112-123. https://doi.org/10.5491/SHAW.2010.1.2.112

d'Ettorre, G. (2017). Needlestick and Sharp Injuries Among Registered Nurses: A Case-Control Study. Annals of Work Exposures and Health, 61(5), 596-599. https://doi.org/10.1093/annweh/wxx027

Folkard, S., & Tucker, P. (2003). Shift work, safety and productivity. Occupational Medicine, 53(2), 95-101. https://doi.org/10.1093/occmed/kqg047

Fransen, M., Wilsmore, B., Winstanley, J., Woodward, M., Grunstein, R., Ameratunga, S., & Norton, R. (2006). Shift work and work injury in the New Zealand Blood Donors' Health Study. Occupational and Environmental Medicine, 63(5), 352-358. https://doi.org/10.1136/oem.2005.024398

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2016). Fatigue, Hours of Service, and Highway Safety. İçinde: Commercial Motor Vehicle Driver Fatigue, Long-Term Health, and Highway Safety: Research Needs. Washington, DC: The National Academies Press. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK384974/

European Commission, Road Safety Observatory. Professional and Truck Drivers. https://road-safety.transport.ec.europa.eu/european-road-safety-observatory/statistics-and-analysis-archive/fatigue/professional-and-truck-drivers_en

T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi. 4857 Sayılı İş Kanunu, Madde 69 - Gece süresi ve gece çalışmaları. https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.4857.pdf

T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.6331.pdf

T.C. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK). İstatistik Yıllıkları. https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451-ee7500eb1cb4/

Yıldız, A. N., Gedikli, F. G., & Küçük Biçer, B. (2012). Vardiyalı Çalışmalarda İş Sağlığı ve Güvenliği Konuları. Ankara: Türkiye İşçi Sendikaları Konfederasyonu (Türk-İş). ISBN: 978-605-86486-1-6. https://www.turkis.org.tr/wp-content/uploads/2021/10/hfaw3n0lhvz6-pdf.pdf

GÖRÜNMEYEN BAĞIN GÜCÜ: BABA-BEBEK BAĞLANMASININ GELİŞİMSEL İZLERİ

Hatice Sena BÜLBÜL
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Çocuk Gelişimi Bölümü
ORCID: 0009-0007-1084-6439

Öğr. Gör. Muhammed KÖSTEKCİ
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Çocuk Gelişimi Bölümü
ORCID: 0000-0002-4331-4398

Özet
Bu çalışmada bağlanma kavramı ve bağlanma kuramı çerçevesinde bireyin erken dönemde bakım veren kişiyle kurduğu ilişkinin gelişim üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Özellikle baba-bebek bağlanmasının önemi, bu süreci etkileyen faktörler ve bağlanma stillerinin bireyin yaşam boyu sosyal ve duygusal gelişimine etkileri incelenmiştir. Literatür doğrultusunda, güvenli bağlanmanın bireyin psikolojik dayanıklılığı ve kişilerarası ilişkileri üzerinde olumlu etkiler sağladığı; baba katılımının ise bağlanma sürecinde belirleyici bir rol oynadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırma, nitel araştırma yöntemlerinden betimsel derleme modeline dayanmaktadır. Bu kapsamda ulusal ve uluslararası literatür sistematik bir biçimde taranmış; elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak ele alınarak yorumlanmıştır. Literatür bulguları, baba katılımının bağlanma sürecinde önemli bir rol oynadığını ve bu katılımın yalnızca geçirilen zamanın miktarıyla değil, etkileşimin niteliğiyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Babanın çocukla kurduğu duyarlı, tutarlı ve destekleyici etkileşimlerin güvenli bağlanmanın gelişimini desteklediği; buna karşın ilgisiz, tutarsız ya da aşırı kontrolcü tutumların güvensiz bağlanma örüntülerine zemin hazırlayabildiği görülmektedir. Bununla birlikte, babanın sosyoekonomik durumu, eğitim düzeyi, psikolojik iyi oluşu ve aile içi ilişkilerin niteliği gibi değişkenlerin de baba-bebek bağlanmasını etkileyen önemli faktörler arasında yer aldığı belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, güvenli bağlanmanın bireyin psikolojik sağlamlığı, sosyal uyumu ve sağlıklı kişilerarası ilişkiler geliştirmesi açısından koruyucu bir rol üstlendiği sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak, baba-bebek bağlanmasının desteklenmesi ve babaların bakım süreçlerine aktif katılımının teşvik edilmesi, çocuk gelişimi açısından önemli bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bağlanma, Bağlanma Kuramı, Baba-Bebek Bağlanması, Baba Katılımı, Çocuk Gelişimi, Güvenli Bağlanma, Güvensiz Bağlanma, Ebeveyn Tutumları, Erken Çocukluk Dönemi, Sosyal-Duygusal Gelişim, Psikolojik Dayanıklılık, Aile İçi Etkileşim

THE POWER OF THE INVISIBLE BOND: DEVELOPMENTAL TRACES OF FATHER–INFANT ATTACHMENT

ABSTRACT
This study examines the concept of attachment and the effects of the relationship established between an individual and their primary caregiver during early development on subsequent developmental outcomes within the framework of attachment theory. In particular, the importance of father–infant attachment, the factors influencing this process, and the effects of attachment styles on individuals' lifelong social and emotional development are examined.

In line with the literature, secure attachment has been found to have positive effects on psychological resilience and interpersonal relationships, while paternal involvement plays a significant role in the attachment process.
The study is based on a descriptive review model, one of the qualitative research methods. Within this scope, national and international literature was systematically reviewed, and the findings were comparatively examined and interpreted. The findings indicate that paternal involvement plays an important role in the attachment process and that this involvement is associated not only with the amount of time spent with the child but also with the quality of the interaction. Sensitive, consistent, and supportive interactions established by fathers with their children support the development of secure attachment, whereas indifferent, inconsistent, or overly controlling attitudes may contribute to insecure attachment patterns. In addition, factors such as fathers' socioeconomic status, educational level, psychological well-being, and the quality of family relationships were identified as important variables affecting father–infant attachment.
Based on the findings, secure attachment plays a protective role in individuals' psychological resilience, social adjustment, and development of healthy interpersonal relationships. Consequently, supporting father–infant attachment and encouraging fathers' active involvement in caregiving processes are considered important requirements for child development.
Keywords: Attachment, Attachment Theory, Father–Infant Attachment, Paternal Involvement, Child Development, Secure Attachment, Insecure Attachment, Parental Attitudes, Early Childhood, Social and Emotional Development, Psychological Resilience, Family Interaction

GİRİŞ

Bu çalışmanın temel amacı, bağlanma kuramı çerçevesinde baba-bebek bağlanmasının önemini ortaya koymak ve bu bağlanma sürecini etkileyen bireysel, ailesel ve çevresel faktörleri incelemektir. Bu doğrultuda, özellikle babanın çocuk gelişimindeki rolü, bağlanma sürecine katılım düzeyi ve bu etkileşimin çocuğun sosyal, duygusal ve psikolojik gelişimi üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Çalışmada ayrıca, güvenli ve güvensiz bağlanma örüntülerinin oluşumunda babanın rolüne dikkat çekilerek, baba katılımının niteliğinin bağlanma süreci üzerindeki belirleyici etkisi vurgulanmıştır. Bu araştırma, nitel araştırma yöntemlerinden biri olan betimsel derleme modeline dayanmaktadır.

Çalışma kapsamında, konu ile ilgili ulusal ve uluslararası literatür sistematik bir biçimde taranmış; kitaplar, hakemli dergilerde yayımlanmış makaleler ve akademik tezler incelenmiştir. Literatür taraması sürecinde özellikle bağlanma kuramı, baba-bebek etkileşimi ve çocuk gelişimi alanlarında yapılmış güncel ve temel çalışmalar dikkate alınmıştır.

Elde edilen veriler, karşılaştırmalı bir bakış açısıyla değerlendirilmiş ve ortak bulgular doğrultusunda yorumlanmıştır. Araştırmada herhangi bir örneklem grubu ile doğrudan veri toplanmamış olup, mevcut bilimsel çalışmaların bulguları analiz edilerek bütüncül bir değerlendirme yapılmıştır. Bu yönüyle çalışma, kuramsal çerçevede bilgi sunmayı ve literatürde yer alan bulguları sistematik bir şekilde bir araya getirerek yorumlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca, farklı araştırmalardan elde edilen sonuçların bir arada ele alınması sayesinde, baba-bebek bağlanmasına ilişkin genel eğilimlerin ve belirleyici faktörlerin daha net bir şekilde ortaya konulması hedeflenmiştir.

Bağlanma

Bağlanma, bireyin yaşamının ilk yıllarında bakım veren kişiyle geliştirdiği güvene dayalı ve süreklilik gösteren duygusal bir ilişki olarak tanımlanmaktadır. Bu kavram, ilk kez Bowlby (1969) tarafından ele alınmış ve bebeğin bakım verenle kurduğu ilişkinin, hayatta kalmayı destekleyen biyolojik bir temele dayandığı ifade edilmiştir. Söz konusu ilişki yalnızca çocuğun fiziksel gereksinimlerinin karşılanmasını değil; aynı zamanda anlaşılma, korunma ve duygusal destek görme ihtiyaçlarını da kapsamaktadır.

Çocuk, ihtiyaç duyduğu anlarda ulaşabildiği ve tepkilerine karşılık alabildiği bir bakım veren aracılığıyla kendini güvende hisseder. Bu güven duygusu ise çocuğun çevresini keşfetme davranışını destekleyen önemli bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Bağlanma süreci, bireyin hem kendisine hem de diğer insanlara yönelik geliştireceği algıların temelini oluşturmaktadır. Erken dönemde kurulan bu ilişki biçimi, ilerleyen yaşlarda sosyal ilişkiler, duygusal düzenleme becerileri ve stresle başa çıkma yolları üzerinde belirleyici olmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde bağlanma, yalnızca çocukluk dönemine özgü geçici bir durum değil; bireyin yaşam boyu gelişimini etkileyen temel bir yapı olarak kabul edilmektedir.

Bebeğin doğumu, baba-bebek bağlanmasının gelişiminde kritik bir dönüm noktası olarak değerlendirilmektedir. Bu süreçte babanın doğuma tanıklık etmesi ve doğum sırasında eşinin yanında bulunarak ona destek olması, babalık rolüne uyum sağlamasını kolaylaştırmakta ve baba olma sürecine geçişini olumlu yönde etkilemektedir (Sürücüler, 2019).Bu doğrultuda, baba adayının doğum sürecine aktif biçimde katılım göstermesinin, doğum anında bebeğiyle ilk karşılaşmayı deneyimlemesinin ve bebeğini kucağına alarak fiziksel temas kurmasına olanak tanınmasının, baba-bebek bağlanmasının erken dönemde sağlıklı bir şekilde gelişmesine önemli katkılar sağladığı vurgulanmaktadır. Bu erken etkileşimlerin, babanın bebeğine yönelik duygusal yakınlık geliştirmesini desteklediği, babalık rolünü benimsemesini kolaylaştırdığı ve ilerleyen süreçte baba-çocuk ilişkisinin niteliğini olumlu yönde etkilediği ifade edilmektedir (Köse ve ark., 2013; Kara ve Çetinkaya, 2019).

Bebek ile ebeveyn arasında kurulan bağ, çocuğun hem doğumdan önceki süreçte hem de doğum sonrasında fiziksel, duygusal ve ruhsal gelişimini etkileyen temel unsurlardan biridir. Bunun yanı sıra, çocuğun dış çevreyle sağlıklı iletişim kurabilmesinde de belirleyici bir rol oynar (Pündük Yılmaz vd., 2021). Bağlanmanın oluşumunu destekleyen çeşitli ebeveyn tutumları bulunmaktadır. Bu tutumlar arasında bireyin kendini hem bedensel hem de ruhsal açıdan yeterli hissetmesi, bebeği benimsemesi, bağlanma konusunda farkındalık geliştirmesi ve güvenli bir ortam sağlaması yer almaktadır (Kaylak ve Şirin, 2007).

Bağlanma Kuramı

Bağlanma kuramı, temelleri Bowlby tarafından atılan ve yenidoğanların hayatta kalabilmek için bakım veren bir figüre biyolojik olarak ihtiyaç duyduğunu ileri süren bir yaklaşımdır (Kesebir ve ark., 2011). Bu kurama göre bebekler, bakım verenle yakınlık kurmak ve bu bağı sürdürebilmek amacıyla doğuştan bazı davranışsal tepkilerle donatılmıştır.

Emme, gülümseme, ağlama ve bakım vereni izleme gibi davranışlar, bu etkileşimi başlatan ve devam ettiren temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu biyolojik eğilim, bakım verenin çocuğa sunduğu etkileşimin niteliğine bağlı olarak zaman içinde şekillenmektedir. Özellikle duyarlı, tutarlı ve düzenli etkileşimler, bağlanma sürecinin sağlıklı bir şekilde gelişmesine katkı sağlamaktadır (Kesebir ve ark., 2011). Bu süreçte bakım verenle kurulan ilişkinin kalitesi, bireyin ilerleyen yaşam dönemlerinde geliştireceği ilişki biçimlerini ve psikolojik dayanıklılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Bağlanma kuramı, daha sonra Ainsworth tarafından geliştirilen “Yabancı Durum Testi” ile deneysel olarak desteklenmiştir.

Bu çalışma kapsamında bebeklerin bakım verenlerine yönelik geliştirdikleri bağlanma örüntüleri incelenmiş ve güvenli ile güvensiz bağlanma olmak üzere temel kategoriler altında sınıflandırılmıştır (Ainsworth ve ark., 1978). Kuramın devamında, Bowlby'nin ortaya koyduğu "içsel çalışan modeller" kavramı, bireyin kendisi ve diğer insanlara yönelik geliştirdiği algıları açıklamak amacıyla kullanılmıştır (Bowlby, 1982). Bu kavramdan hareketle Bartholomew ve Horowitz (1991), bireylerin benlik ve başkalarına ilişkin değerlendirmelerini olumlu ve olumsuz boyutlar üzerinden ele almışlardır. Bu doğrultuda bağlanma stilleri; güvenli, korkulu, saplantılı ve kayıtsız olmak üzere dört temel kategori altında incelenmiştir (Güloğlu ve Karaırmak, 2017).

Güvenli bağlanma örüntüsü geliştiren bireyler; yüksek özgüven düzeyine sahip, duygularını etkili bir biçimde düzenleyebilen ve yaşam deneyimlerinden işlevsel çıkarımlar yapabilen bir gelişim profili sergilemektedir (Doksat ve Demirdöğen Çiftçi, 2016). Bu bireylerin akademik süreçlerde daha başarılı oldukları; kişiler arası ve romantik ilişkilerde ortaya çıkan çatışmaları yönetme konusunda ise daha yüksek beceriler gösterdikleri belirtilmektedir. Özetle, erken çocukluk döneminde kurulan güvenli bağlanma, birey için yüksek düzeyli stresörlere karşı koruyucu bir mekanizma işlevi görmekte ve yaşamın ilerleyen dönemlerinde psikolojik ile sosyal uyumun temelini oluşturmaktadır (Doksat ve Demirdöğen Çiftçi, 2016).

Korkulu bağlanma stili, güvenli bağlanma stilinin karşıtı bir örüntü sergilemektedir. Bu stile sahip bireyler, derin bir değersizlik duygusu (olumsuz benlik algısı) yaşarken, başkalarının güvenilmez ve reddedici olduğuna ilişkin yerleşik beklentilere (olumsuz başkaları algısı) sahiptirler. Öte yandan, kayıtsız bağlanma stili; bireyin kendisine yönelik yüksek özsaygısı ve olumlu benlik algısı ile başkalarına karşı geliştirdiği mesafeli ve olumsuz tutumun bir bileşimi olarak tanımlanmaktadır. Bu bireyler, özerkliklerine aşırı vurgu yaparak başkalarına duyulan ihtiyacı reddetme eğilimi göstermektedirler (Sümer ve Güngör, 1999).

Saplantılı bağlanma stili, bireyin kendisine yönelik olumsuz, başkalarına yönelik ise olumlu algılara sahip olmasıyla karakterize edilmektedir. Bu stile sahip bireyler, düşük özsaygı düzeyi nedeniyle kendi değerlerini başkalarının onayına bağlamakta; terk edilme korkusu doğrultusunda ilişkilerinde aşırı bağımlılık geliştirmekte ve sürekli yakınlık arayışı içinde olmaktadırlar (Karakuş, 2012).

Kayıtsız bağlanma stili, "olumlu benlik" ve "olumsuz başkaları" zihinsel modellerinin bir bileşimi olarak tanımlanmaktadır. Bu stile sahip bireyler, kişilerarası yakınlıktan kaçınma pahasına kişisel özerkliklerine aşırı vurgu yapma ve yüksek özsaygı geliştirme eğilimi göstermektedirler (Bartholomew ve Horowitz, 1991; Görgü, 2018). İlişkilerinde bağımsızlığı ön planda tutan bu bireyler, duygusal yakınlığı tehdit edici ya da gereksiz bir unsur olarak algılayabilmektedirler (Görgü, 2018).

Bağlanma stillerinin yalnızca çocukluk döneminde değil, yetişkinlikte kurulan romantik ilişkilerde de etkili olduğu; bireylerin partnerlerine yönelik tutum ve davranışlarının erken dönem bağlanma deneyimlerinden etkilendiği belirtilmektedir (Hazan ve Shaver, 1987). Brown ve arkadaşlarının (2007) 46 baba ve çocuk üzerinde gerçekleştirdiği çalışma, baba katılımı ile bağlanma arasındaki dinamik ilişkiyi çarpıcı bulgularla ortaya koymaktadır.

Araştırma sonuçlarına göre, babanın çocukla fiziksel olarak vakit geçirmesi niceliksel açıdan değerli bir katılım göstergesi olsa da, bağlanmanın niteliği bu etkileşimin duygusal içeriğine bağlıdır. Özellikle babanın çocukla geçirdiği süre boyunca sergilediği duygusuz (mesafeli) tavır ve aşırı kontrolcü tutumun, güvenli bağlanma sürecini sekteye uğratarak ilişkiye zarar verdiği saptanmıştır (Brown ve ark., 2007). Bu durum, baba katılımında sadece "birlikte olma" süresine değil, etkileşimin duygusal duyarlılığına odaklanılması gerektiğini göstermektedir. Bağlanma, etkileşime dahil olan her bireyin diğeri üzerinde kalıcı bir iz bıraktığı dinamik bir karşılıklı adaptasyon sürecidir (Ruppert, 2011; Arslan ve Teze, 2016).

Bu süreçte ebeveynin çocuğun mizacına gösterdiği uyum, kurulan duygusal akışın ve bağlanma niteliğinin temel belirleyicisidir. Dolayısıyla bebek ile bağlanma figürü arasındaki ilişki tarzı, bu karşılıklı etkileşimin sağlıklı bir zeminde şekillenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Arslan ve Teze, 2016).



Şekil 1. Dörtlü Bağlanma Modeli (Bartholomew ve Hotowitz, 1991)

Bebekte güven algısı, beslenme ve sakinleştirilme gibi temel ihtiyaçların zamanında ve duyarlı bir şekilde karşılanmasıyla tesis edilir. Bu ihtiyaçların karşılanması güvenli bağlanmayı oluştururken; bakım sürecindeki ihmal veya kesintiler, bireyin ilerleyen yıllarda sosyal çevresi tarafından sevilmediği algısına yol açan güvensiz bağlanma örüntüsüne neden olabilir (Dinç ve Balcı, 2021). Literatürde bağlanma süreci genellikle anne üzerinden açıklansa da, sağlıklı bir çocuk gelişimi için baba-bebek arasındaki bağlanma ilişkisinin de gözlemlenmesi ve desteklenmesi kritik öneme sahiptir (Dinç ve Balcı, 2021).

Yapılan uluslararası çalışmalar, baba ile kurulan bağlanma ilişkisinin kendine özgü bir yapıya sahip olduğunu ve çocuğun özellikle sosyal girişkenlik ve keşif davranışları üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir (Grossmann ve ark., 2002; Paquette, 2004). Babanın bebeğin alt değiştirme ve banyo gibi fiziksel bakımıyla ilgilenmesi, ağladığında sakinleştirmesi ve kucağına alarak sevgi göstermesi baba-bebek bağlanmasını güçlendiren temel unsurlardır. Yapılan araştırmalar; babanın bakım süreçlerine katılımı, çocukla geçirilen sürenin niteliği ve karşılıklı oyun etkileşiminden alınan keyif ile bağlanma puanları arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Dinç ve Balcı, 2021).

Bağlanma kuramı çerçevesinde bebeklerin birincil bakım verenleriyle kurdukları duygusal bağ; yalnızca fiziksel ihtiyaçların karşılanması değil, ebeveynin sunduğu duyarlı ve tutarlı tepkilerle şekillenen dinamik bir süreçtir (Olsavsky vd., 2020). Bu süreçte güvenli ya da güvensiz bağlanma örüntülerinin oluşumu, bebeğin erken dönemde maruz kaldığı ebeveynlik deneyimlerinin ve etkileşim kalitesinin doğrudan bir yansıması olarak kabul edilmektedir (Olsavsky vd., 2020; Düdükcü-Aslan, 2020). Özellikle babaların; eğitim ve gelir durumu, mesleği, çalışma durumu, ailenin tipi, ilk defa baba olma yaşı, sahip olunan çocuk sayısı, babalığa ilişkin bilgi alma durumu ve çocuğu isteme durumu babalık rolü algısını ve baba-bebek bağlanmasını etkileyen temel faktörlerdendir (Düdükcü-Aslan, 2020).

Türk kültüründe "baba" kavramı tarihsel olarak "ata" ve "sultan" gibi otoriter anlamlarla özdeşleştirilmiş; geleneksel aile yapısında ise babaya maddi imkanları sağlayan "reis", anneye ise duygusal bakımı üstlenen "figür" rolleri yüklenmiştir (Kara ve Çetinkaya, 2019). Ancak günümüzde bu geleneksel roller, toplumsal ve kültürel değişimlerle birlikte dönüşüme uğramaktadır. Yaklaşık 30-40 yıl önce babanın rolü yalnızca otorite figürü ve ekonomik sağlayıcı olmakla sınırlı görülmekteydi. Ancak baba yoksunluğu üzerine yapılan çalışmalar, babanın çocuk gelişimindeki etkisinin geleneksel algının çok ötesinde, kritik bir öneme sahip olduğunu kanıtlamıştır. Bu durum, babanın çocuk üzerindeki duygusal ve sosyal etkisinin sanıldığından daha derin olduğunu ortaya koymaktadır(Mangır ve Aktaş, 1993).Biyolojik ebeveynliğin ötesinde babalık algısı; tarihsel bağlamın etkisiyle yeniden şekillenmekte ve babanın çocuk gelişimindeki aktif, duygusal katılımı giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Kara ve Çetinkaya, 2019).

Kadınların iş gücüne daha aktif şekilde katılmasıyla birlikte babalık rolü de zaman içinde önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Geleneksel yaklaşımda baba daha çok çocuğun oyun ihtiyacını karşılayan ve disiplin sağlayan bir figür olarak görülürken, günümüzde bu rol daha geniş bir sorumluluk alanına yayılmıştır. Modern babalık anlayışında babalar, bebeğin günlük yaşam ihtiyaçlarının karşılanmasında aktif rol almakta; beslenme, alt değiştirme ve bakım gibi öz bakım süreçlerine doğrudan katılım sağlamaktadır. Bu katılım, yalnızca fiziksel bakım boyutunu değil, aynı zamanda baba ile bebek arasındaki duygusal etkileşimi de güçlendirmektedir. Babanın bebeğin bakım süreçlerine dahil olması, aralarındaki etkileşimi artırarak erken dönemde güvenli bağlanmanın oluşmasına katkı sağlayan önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir (Sevil, Demir, & Akdolun Balkaya, 2022).

Baba-Bebek Bağlanmasını Etkileyen Faktörler

Baba ile bebek arasındaki bağın niteliği üzerinde pek çok değişken rol oynamaktadır. Olumlu yönde; babanın eğitim düzeyinin yüksek olması, bebek bakımı konusunda bilgi sahibi olması, anneden gelen destekleyici tutumlar ve bebeğin istenen bir gebelik sonucu dünyaya gelmesi bağlanma düzeyini artırmaktadır (Kara ve Çetinkaya, 2019; Düdükcü-Aslan, 2020). Buna karşın olumsuz yönde; babanın düşük gelir düzeyi, işsizlik veya yoğun çalışma temposu gibi ekonomik kaygılar, babalık rolüyle ilgili yetersizlik hissi ve eşler arasındaki zayıf iletişim, güvenli bağlanma sürecini sekteye uğratan temel engeller olarak öne çıkmaktadır (Kara ve Çetinkaya, 2019; Manav vd., 2021).

Erken bebeklik döneminde baba depresyonu ile baba-bebek bağlanması arasındaki ilişkinin incelendiği bir çalışmada, depresyon riski yüksek olan babaların bebekleriyle kurdukları bağlanma düzeyinin daha düşük olduğu saptanmıştır (Işık & Egelioğlu Çetişli, 2020). Çocuk sahibi olmak babalar için mutluluk verici olsa da, özellikle bebekliğin ilk dönemlerinde artan sorumluluklar ve yaşam değişiklikleri kaygı düzeyini yükseltebilmektedir. Bu durum baba-bebek etkileşimini olumsuz etkileyebilir. Özellikle ilk kez baba olanların bu süreci daha yoğun yaşadığı görülmektedir. Bununla birlikte, yapılan çalışmalarda baba-bebek bağlanma düzeylerinin genellikle orta ve üzeri olduğu belirlenmiştir (Kartal ve Erişen, 2020; Güleç, 2010). Bu durum, babaların zorluklara rağmen bebekleriyle yeterli düzeyde bağ kurabildiğini göstermektedir. Oysa güncel kanıtlar, babanın bebekle kurduğu fiziksel temasın, babalık rolüne uyum sağlamasını ve bebeğe karşı duyarlı olmasını kolaylaştırarak sağlıklı bir bağlanma sürecinin temelini oluşturduğunu göstermektedir (Özer Yurdal & Özsoy, 2025).

Ailede gelir yapısının tek ya da çift kazançlı olması, hem evlilik ilişkisinin niteliğini hem de babanın bebeğe katılım düzeyini etkileyebilmektedir (Kuzucu, 2011). Babanın çocukla geçirdiği zamanın niteliği, bakım ve eğitim süreçlerine katılımı, oyun yoluyla etkileşim kurması ve çocukla ilgili kararlarda yer alması, baba-çocuk arasındaki ilişkinin güçlenmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Kara & Çetinkaya, 2019).

Doğum sürecine katılan ve bebeğiyle doğumdan itibaren aktif olarak ilgilenen babaların, bu sürece dahil olmayan babalara kıyasla daha yüksek düzeyde bağlanma geliştirdikleri ifade edilmektedir (Kuzu, 2023). Babanın bebekle zaman geçirmesi, onunla fiziksel temas kurması, iletişim içinde olması ve oyun oynaması gibi etkileşimler, baba ile bebek arasındaki duygusal bağın güçlenmesine katkı sağlar. Ayrıca babanın çocukla ilgili süreçlerde aktif rol alması, ilerleyen dönemlerde baba-çocuk ilişkisinin daha sağlam temellere oturmasına yardımcı olur (Semerci, 2009).

Yapılan bazı araştırmalar, baba ile bebek arasındaki güçlü bağın, ebeveynler arasındaki ilişkinin niteliğiyle de bağlantılı olduğunu ortaya koymaktadır (Üstünöz ve ark., 2010). Babanın evlilik ilişkisinin niteliğinin, bebekle kurduğu bağlanma süreci üzerinde dolaylı ancak önemli bir etkisinin olduğu; eşler arasındaki iletişim düzeyi ve ilişkiden duyulan memnuniyet arttıkça baba-bebek etkileşiminin daha olumlu yönde geliştiği ifade edilmektedir(soysal vd,2005). Bununla birlikte, babanın eşinden gördüğü destek ve ilgi düzeyinin yüksek olması, doğum öncesi dönemde kurulan bağlanmayı olumlu yönde etkileyebilmektedir.

Babanın gebelik sürecinde anneyle ve bebekle iletişim kurması, örneğin annenin karnına dokunarak temas sağlaması ve bebekle konuşması gibi davranışlar, ebeveyn ile bebek arasındaki bağın güçlenmesine katkıda bulunmaktadır (Üstünöz ve ark., 2010; Yu ve ark., 2012). Babanın doğum sürecine aktif katılım sağlamasının, doğum sonrasında bebekle kurulan bağlanma sürecini olumlu yönde etkilediği ve babaların bebeklerine karşı daha güçlü bir duygusal yakınlık geliştirmelerine katkıda bulunduğu belirtilmektedir (Uzel, 2018). Baba ile bebek arasındaki bağlanmayı etkileyen faktörlerin belirlenmesi, bu ilişkinin güçlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Her ne kadar çocukların anneleriyle kurdukları bağlanma ilişkilerinin gelişimsel sonuçlarına yönelik çalışmalar daha yaygın olsa da, babalarla kurulan bağlanmanın da çocuk gelişimi üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, baba-bebek bağlanmasını ele alan araştırmaların, anne-bebek bağlanmasını inceleyen çalışmalara kıyasla daha sınırlı olduğu dikkat çekmektedir (Lamb, 2012; Lucassen ve ark., 2011; Olsavsky ve ark., 2020). Michael E. Lamb (2010), baba-çocuk ilişkisinin yalnızca bakım verme ile sınırlı olmadığını, babanın çocuğun duygusal ve sosyal gelişiminde önemli bir rol oynadığını belirtmektedir. Baba ile kurulan kaliteli etkileşimin, çocuğun duygusal güvenini ve sosyal uyum becerilerini desteklediği ifade edilmektedir (Lamb, 2010). Babanın bebeğiyle kurduğu nitelikli etkileşim ve sergilediği duyarlı ilgi, çocuğun sosyal girişkenliğini artırmakta ve empati yeteneğini güçlendirmektedir. Bu süreç, bebeğin duygusal gelişimine pozitif bir ivme kazandırırken; babalık sorumluluğunun üstlenilmesi babanın öz-yeterliliğini artırmakta ve kendi babasıyla olan geçmiş yaşantılarını daha sağlıklı bir zeminde yeniden anlamlandırmasına olanak tanımaktadır (Telli ve Özkan, 2016; Kuzu, 2023).

Ten tene temas uygulamaları babayı pasif bir gözlemci olmaktan çıkarıp, bebeğin gelişimsel ihtiyaçlarına duyarlı, bakım süreçlerinde aktif ve duygusal açıdan bağlı bir figüre dönüştürmektedir. Bu bağlamda, sağlık politikalarının babaların doğum sonrası erken dönemde bebekle fiziksel temasını teşvik edecek şekilde yeniden yapılandırılması, sadece baba-bebek ilişkisini değil, tüm aile sağlığını ve çocuk gelişimini olumlu yönde etkileyecektir (Özer Yurdal & Özsoy, 2025).

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada elde edilen bulgular, bağlanma sürecinin bireyin yaşam boyu gelişimi üzerinde belirleyici bir rol oynadığını açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Özellikle erken çocukluk döneminde bakım veren ile kurulan ilişkinin niteliğinin, bireyin ilerleyen yaşantısında geliştireceği sosyal ilişkiler, duygusal düzenleme becerileri ve stresle başa çıkma mekanizmaları üzerinde kalıcı etkiler bıraktığı görülmektedir.

Bu bağlamda, bağlanmanın yalnızca çocukluk dönemine özgü bir süreç olmadığı; aksine bireyin tüm yaşamına yön veren temel bir psikososyal yapı olduğu anlaşılmaktadır. Literatür incelendiğinde, bağlanma sürecinin çoğunlukla anne üzerinden ele alındığı; ancak baba-bebek bağlanmasının da en az anne-bebek ilişkisi kadar önemli olduğu dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada da ulaşılan bulgular, babanın çocuk gelişimindeki rolünün yalnızca ekonomik sorumluluklarla sınırlı olmadığını, aynı zamanda çocuğun duygusal güveninin oluşmasında ve sosyal becerilerinin gelişiminde kritik bir işleve sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle babanın çocukla kurduğu ilişkinin niteliği, yani duyarlı, tutarlı ve destekleyici bir etkileşim sunması, güvenli bağlanma örüntüsünün gelişmesini destekleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Baba katılımının yalnızca çocuğa ayrılan zamanın miktarı ile değil, bu sürenin nasıl değerlendirildiği ile ilişkili olduğu görülmektedir. Nitelikli etkileşim; çocuğun ihtiyaçlarına duyarlı olmayı, onunla oyun oynamayı, duygularını anlamayı ve uygun tepkiler vermeyi içermektedir.

Bu doğrultuda, babanın çocukla kurduğu ilişkinin duygusal boyutu güçlendikçe, çocuğun kendilik algısının daha olumlu yönde geliştiği ve çevresiyle daha sağlıklı ilişkiler kurabildiği söylenebilir. Aksi durumda, yani babanın ilgisiz, tutarsız ya da aşırı kontrolcü tutumlar sergilemesi durumunda ise güvensiz bağlanma örüntülerinin ortaya çıkma riski artmaktadır. Araştırma bulguları, baba-bebek bağlanmasını etkileyen faktörlerin çok boyutlu bir yapıya sahip olduğunu da ortaya koymaktadır. Babanın eğitim düzeyi, sosyoekonomik durumu, çalışma koşulları, babalık rolüne ilişkin bilgi ve farkındalık düzeyi gibi bireysel değişkenlerin yanı sıra; eşler arası ilişki, aile içi iletişim ve sosyal destek sistemleri de bağlanma sürecini doğrudan etkilemektedir. Özellikle eşler arasındaki ilişkinin niteliğinin, babanın bebeğe yönelik tutum ve davranışlarını dolaylı olarak etkilediği ve bu durumun bağlanma sürecine yansıdığı görülmektedir. Bununla birlikte, doğum öncesi ve sonrası dönemde babanın sürece aktif katılım göstermesi, bağlanma ilişkisinin daha güçlü temeller üzerine kurulmasına katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında ele alınan bulgular, önceki araştırmalarla paralellik göstermekte ve baba katılımının çocuk gelişimi üzerindeki önemini bir kez daha vurgulamaktadır. Özellikle son yıllarda değişen toplumsal yapıyla birlikte babalık rolünün yeniden tanımlandığı ve babaların çocuk bakımına daha aktif katılım göstermeye başladığı görülmektedir.

Bu dönüşüm, çocukların duygusal ve sosyal gelişimi açısından olumlu bir gelişme olarak değerlendirilmektedir. Ancak buna rağmen, baba-bebek bağlanmasına yönelik çalışmaların hâlâ sınırlı olduğu ve bu alanda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu dikkat çekmektedir. Sonuç olarak, bağlanma süreci bireyin psikolojik sağlamlığı, sosyal uyumu ve kişilerarası ilişkileri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu süreçte yalnızca annenin değil, babanın da aktif ve duyarlı bir rol üstlenmesi, çocuğun sağlıklı gelişimi açısından büyük önem taşımaktadır. Baba-bebek bağlanmasının güçlendirilmesi, çocuğun hem mevcut gelişimini desteklemekte hem de gelecekteki yaşam kalitesini olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle, ebeveynlere yönelik farkındalık çalışmalarının artırılması, babaların bakım süreçlerine katılımının teşvik edilmesi ve bu alanda yapılacak bilimsel çalışmaların desteklenmesi önemli bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Öneriler

Doğum sonrası dönemde babaların bebekle erken etkileşim kurmaları, hem bağlanma sürecini güçlendirmek hem de babanın bakım sorumluluğunu üstlenmesini desteklemek açısından kritik öneme sahiptir. Bu amaçla, babaların doğumdan hemen sonra bebeğiyle zaman geçirmesine olanak sağlanmalı, bakım süreçlerine aktif katılımı teşvik edilmeli ve gerekli ortam koşulları oluşturulmalıdır. Ayrıca babalara bebek bakımı ve gelişimsel aktivitelerde yer almanın önemi konusunda eğitimler sunularak katılımları artırılabilir (Köse ve ark., 2013; Bal, 2014; Korkmaz ve Yılar Erkek, 2021).

Bağlanma sürecinde anne ile kurulan ilişki kadar baba-bebek bağlanma düzeylerinin de kritik bir öneme sahip olduğu göz önünde bulundurularak; babaların doğum öncesi süreçten itibaren bakıma aktif katılımı teşvik edilmeli, hastanelerde ve aile sağlığı merkezlerinde babalara yönelik "duyarlı ebeveynlik" ve "bebekle etkileşimli oyun" eğitimleri yaygınlaştırılmalıdır. Babalığın sadece ekonomik bir sağlayıcılık değil, çocuğun sosyal-duygusal gelişimi ve ilerideki psikolojik dayanıklılığı için temel bir güven kaynağı olduğu vurgulanmalıdır (Kuzu, 2023; Telli ve Özkan, 2016).

Baba-çocuk etkileşiminde oyun temelli aktivitelerin önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Baba-çocuk ilişkisinin, çocuğu keşfetmeye ve risk almaya teşvik eden bir “etkinleştirme ilişkisi” olarak tanımlandığı ve bu ilişkinin özellikle fiziksel oyunlar yoluyla geliştiği ifade edilmektedir (Paquette, 2004). Babaların bebekleriyle kurdukları bağlanma sürecini ve etkileşim kalitesini artırmak adına; evlilik ilişkisinin niteliğini güçlendirmeye yönelik stratejilerin geliştirilmesi, aile planlaması yoluyla istendik sayıda çocuk sahibi olunmasının desteklenmesi ve özellikle uzun süreli evliliklerde ortaya çıkabilecek uyum sorunlarına karşı aile danışma merkezlerinden profesyonel destek alınması önerilmektedir. Ayrıca, babaların çocukla sağlıklı iletişim kanalları kurabilmesi için ilgili kurumlardan rehberlik talep etmeleri, baba-bebek arasındaki duygusal bağın sürdürülebilirliği açısından kritik önem taşımaktadır (Yılmaz, Ören ve Kösegül, 2021). Ayrıca babaların çocuklarıyla geçirdikleri zamanı yetersiz bulmaları ve daha fazla etkileşim kurma istekleri, baba-bebek ilişkisinin olumlu seyrettiğinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Literatürde, etkileşimin niceliği kadar niteliği de vurgulanmakta; babanın anneyle iş bölümü yaparak gün içinde en az yarım saatlik "nitelikli zaman" ayırmasının güvenli bağlanma düzeyini artırdığı belirtilmektedir (Dinç ve Balcı, 2021).

Kaynakça

Ainsworth, M. D. S., Blehar, M. C., Waters, E., & Wall, S. (1978). *Patterns of attachment: A psychological study of the strange situation*. Lawrence Erlbaum.

Bal, S. (2014). İlk kez babalık deneyimi yaşayan erkeklerin bebek bakımına katılmaya ilişkin görüşleri ve bakıma katılma durumları [Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. (Tez No. 383185)

Bartholomew, K., & Horowitz, L. M. (1991). Attachment styles among young adults: A test of a four-category model. *Journal of Personality and Social Psychology, 61*(2), 226–244. https://doi.org/10.1037/0022-3514.61.2.226

Bowlby, J. (1969). *Attachment and loss: Vol. 1. Attachment*. Basic Books.

Brown, G. L., Mangelsdorf, S. C., & Neff, C. (2007). Father involvement, paternal sensitivity, and

father-child attachment security. *Journal of Family Psychology, 21*(4), 653–661. https://doi.org/10.1037/0893-3200.21.4.653

Cabrera, N. J., Shannon, J. D., & Tamis-LeMonda, C. (2008). Fathers’ influence on their children’s cognitive and emotional development. *Applied Development Science, 11*(4), 208–213. https://doi.org/10.1080/10888690802387898

Çetin, S. B., & Haskan Avcı, Ö. (2022). Çocuklarda ayrılık kaygısı ile anne-babanın ayrılık kaygısı ve ebeveynliğe yönelik tutumları. *Anadolu Psikiyatri Dergisi, 23*(6), 1288–1296. https://doi.org/10.33308/26674874.2022361288

Dinç, S., & Balcı, S. (2021). Baba-bebek bağlanma durumu ve etkileyen faktörlerin belirlenmesi. *Türkiye Klinikleri Hemşirelik Bilimleri Dergisi, 13*(1), 8–17. https://doi.org/10.5336/nurses.2019-72534

Düdükcü, F., & Taş Aslan, F. (2020). Paternal-infant attachment and determination of factors affecting attachment. *Archives of Health Science and Research, 7*(1), 43–49. https://doi.org/10.5152/ArcHealthSciRes.558773

Erdoğan, G. (2025). Ebeveynlerin ebeveynlik tutumları ile bağlanma stilleri arasındaki ilişki. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi, 16*(2), 3179–3204. https://doi.org/10.51460/baebd.1705375

Görgü, E. (2018). Okula devam eden 5-6 yaş grubu çocukların annelerinin bağlanma biçimleri, kişilik özellikleri ve çocukların bağlanma biçimleri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 18*(1), 67–82. https://doi.org/10.17240/aibuefd.2018..-364644

Grossmann, K., Grossmann, K. E., Fremmer-Bombik, E., Kindler, H., Scheuerer-Englisch, H., & Zimmermann, P. (2002). The uniqueness of the child–father attachment relationship. *Social Development, 11*(3), 301–337. https://doi.org/10.1111/1467-9507.00202

Güloğlu, B., & Karaırmak, Ö. (2017). Erken çocuklukta baba kaybında bağlanma biçimleri ve yakın ilişkilerdeki psikolojik eğilimler. İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 7(47), 99-115. https://doi.org/10.15869/itobiad.341144

Güvendeğer Doksat, N., & Demirci Çiftçi, A. (2016). Bağlanma ve yaşamdaki izdüşümleri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, 25*(4), 489–501. https://doi.org/10.17827/aktd.253561

Güleç D. (2010). Baba-bebek bağlanma ölçeği' nin Türk toplumunda geçerlik ve güvenilirliğin incelenmesi. Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Kadın Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Tez no(301379)

Hairston, I. S., Handelzalts, J. E., Assis, C., & Kovo, M. (2018). Postpartum bonding difficulties and adult attachment styles: The mediating role of postpartum depression and childbirth-related PTSD. *Infant Mental Health Journal, 39*(2), 198–208. https://doi.org/10.1002/imhj.21695

Hazan, C., & Shaver, P. R. (1987). Romantic love conceptualized as an attachment process. *Journal of Personality and Social Psychology, 52*(3), 511–524. https://doi.org/10.1037/0022-3514.52.3.511

Işık, S., & Egelioğlu Çetişli, N. E. (2020). Paternal depresyon ve baba-bebek bağlanması arasındaki ilişki. *Çukurova Medical Journal, 45*(4), 1663–1671. https://doi.org/10.17826/cumj.779530

Karakuş, Ö. (2012). Ergenlerde bağlanma stilleri ve yalnızlık arasındaki ilişki. Düşünen Adam Psikiyatri ve Nörolojik Bilimler Dergisi, 25(1), 33-46. https://doi.org/10.5350/DAJPN2012250104

Kara, M., & Çetinkaya, Ş. (2019). Türk toplumunda babalık kavramı ve baba-bebek bağlanmasında hemşirelik. *Türkiye Klinikleri Hemşirelik Bilimleri Dergisi, 11*(2), 345–360. https://doi.org/10.5336/nurses.2018-62565

Kartal YA, Erişen B. (2020). 6-12 aylık bebeği olan babaların bebeklerine bağlanma durumu ve ilişkili faktörler, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(2), 44-49. https://doi.org/10.24998/maeusabed.714408.

Kavlak, O., & Şirin, A. (2007). Anne ve babaya ait bağlanma ve hemşirenin rolü. *Ege Üniversitesi Hemşirelik Yüksek Okulu Dergisi, 23*(2), 14–20.

Kesebir, S., Özdoğan Kavzoğlu, S., & Üstündağ, M. F. (2011). Bağlanma ve psikopatoloji. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar, 3*(2), 321–342.

Korkmaz, H., & Yılar Erkek, Z. (2021). Effect of postpartum depression in mothers with 0–1-year-old infants on father–infant attachment. *Middle Black Sea Journal of Health Science, 7*(1), 24–31. https://doi.org/10.19127/mbsjohs.820538

Köse, D., Çınar, N., & Altınkaynak, S. (2013). Yenidoğanın anne ve baba ile bağlanma süreci. *Sürekli Tıp Eğitim Dergisi, 22*(6), 239–245.

Kuzu, F. (2023). Baba-bebek bağlanması ve etkileyen faktörler [Yüksek lisans tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi]. https://hdl.handle.net/11492/7773

Kuzucu, Y. (2011a). Aile yapısının çocuk gelişimine etkisi. *Aile ve Toplum Dergisi, 7*(2), 55–66.

Kuzucu, Y. (2011b). Değişen babalık rolü ve çocuk gelişimine etkisi. *Türk Psikolojik Danışma ve Rehberlik Dergisi*.

Lamb, M. E. (2010). *The role of the father in child development* (5th ed.). Wiley.

Lamb, M. E. (2012). *The role of the father in child development* (5th ed.). Wiley.

Lucassen, N., Tharner, A., Van IJzendoorn, M. H., et al. (2011). The association between paternal sensitivity and infant–father attachment security. *Journal of Family Psychology, 25*(6), 986–992. https://doi.org/10.1037/a0025855

Mangır, M., & Aktaş, Y. (1993). Baba yoksunluğu ve çocuk gelişimi. *Çocuk Gelişimi ve Eğitimi Dergisi, 2*(1), 15–22.

Olsavsky, A. K., Yan, J., Schoppe-Sullivan, S. J., & Kamp Dush, C. M. (2020). New fathers' perceptions of dyadic adjustment. *Journal of Family Psychology, 34*(2), 213–223. https://doi.org/10.1037/fam0000587

Özer Yurdal, N. E., & Özsoy, S. (2025). Effect of skin to skin contact on father infant bonding in a randomized controlled trial. *Scientific Reports, 15*(1), Article 40728. https://doi.org/10.1038/s41598-025-24589-1

Pündük Yılmaz, Melike, Besey Ören, ve Pınar Tarhan. "0-2 Yaş Bebeğe Sahip Babaların Baba-Bebek Bağlanması ve İlişkili Faktörlerin İncelenmesi". Ordu Üniversitesi Hemşirelik Çalışmaları Dergisi 4, sy. 3 (Aralık 2021): 306-15. https://doi.org/10.38108/ouhcd.894434.

Semerci, Z. B. (2009). *Birlikte büyütelim*. Alfa Yayınları.

Sevil, Ü., Demir, G., & Akdolun Balkaya, N. (Ed.). (2022). *4. Uluslararası Tıp Bilimleri ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi*. Güven Plus Grup A.Ş.

Soysal, A. Ş., Bodur, Ş., İşeri, E., & Şenol, S. (2005). Bebeklik dönemindeki bağlanma sürecine genel bir bakış. *Klinik Psikiyatri, 8*(2), 88–99.

Kızıl Sürücüler, H. (2019). 6-12 aylık bebeği olan babalara verilen eğitimin baba-bebek bağlanma durumuna etkisi (Order No. 31286404). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (3110347916). Retrieved from https://www.proquest.com/dissertations-theses/6-12-aylık-bebeği-olan-babalara-verilen-eğitimin/docview/3110347916/se-2

Sümer, N., & Güngör, D. (1999). Bağlanma stillerinin Türk örnekleminde incelenmesi. *Türk Psikoloji Dergisi, 14*(43), 71–86.

Telli, A. A., & Özkan, H. (2016). Babalık rolü ve çocuk gelişimi. *Sağlık Bilimleri Dergisi, 25*(1), 65–72.https://doi.org/10.5222/buchd.2016.127

Tezel, S., & Arslan, E. (2016). Ayrılık kaygısı değerlendirme ölçeği–çocuk/ebeveyn formu geçerlik ve güvenirlik çalışması. The Journal of Academic Social Science Studies (JASSS), (48), 333-344. http://dx.doi.org/10.9761/JASSS3481

Ustunsoz, A., Guvenc, G., Akyuz, A., & Oflaz, F. (2010). Comparison of maternal-and paternal-fetal attachment in Turkish couples. *Midwifery*, *26*(2), e1–e9. https://doi.org/10.1016/j.midw.2009.12.006

Yılmaz, M. P., Ören, B., & Tarhan, P. (2021). 0–2 yaş bebeğe sahip babaların baba-bebek bağlanması ve ilişkili faktörlerin incelenmesi. *Ordu Üniversitesi Hemşirelik Çalışmaları Dergisi, 4*(2), 141–150. https://doi.org/10.38108/ouhcd.894434

Yu, Y., et al. (2012a). Paternal prenatal attachment and postnatal bonding. *Infant Mental Health Journal, 33*(5), 489–501.https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2011.04003.x

Digital Object Identifier (DOI)

Yu, C. Y., Hung, C. H., Chan, T. F., Yeh, C. H., & Lai, C. Y. (2012b). Prenatal predictors for father–infant attachment after childbirth. *Journal of Clinical Nursing, 21*(11–12), 1577–1583. https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2011.04003.x

POTANSİYEL OLARAK YENİLEBİLİR ÜÇ BÖCEK TÜRÜNÜN SON LARVA DÖNEMİNDEKİ AYRINTILI AMİNO ASİT PROFİLİNİN BELİRLENMESİ

Dr. Beran FERİDUN
Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi
ORCID: 0000-0002-2103-6147

ÖZET
Geleneksel hayvansal gıda kaynaklarına sürdürülebilir alternatifler arayışı, yenilebilir nitelikteki böceklerin besin değerlerinin ayrıntılı olarak incelenmesini zorunlu kılmıştır. Bu çalışma, yenilebilir böcekler olarak yüksek potansiyele sahip olan Lepidoptera takımına ait olan *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) ve *Achroia grisella* (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralidae) türlerinin ayrıntılı amino asit bileşimini sunmaktadır. Yumurtadan yeni çıkmış *S. exigua* ve *T. absoluta* larvaları, Adana ili Ceyhan ilçesindeki (37° 01′ 44″ Kuzey enlemi ve 35° 48′ 45″ Doğu boylamı) pamuk tarlaları ve domates seralarından toplanmıştır. Birinci larva dönemindeki *A. grisella* larvaları ise Rize ili İkizdere ilçesinde (40° 49' 20" Kuzey enlemi ve 40° 39' 20" Doğu boylamı) arıcılıkla uğraşan köylülerden doğrudan temin edilmiştir. AOAC yöntemi 994.12'ye göre yapılan biyokimyasal analizlerle bu üç türün son larva aşamasında yaş ağırlık üzerinden ayrıntılı amino asit profili belirlenmiştir. Bulgular, özellikle *A. grisella* türünün valin (1.18%), lösin (1.19%) ve lizin (1.55%) gibi esansiyel amino asitler bakımından zengin, yüksek kaliteli proteinlere sahip olduğunu, *T. absoluta* türünde ise kolajen proteininin yapı taşı olan "prolin"in referans değerlerin üzerinde (1.89%) olduğunu ortaya koymuştur. Dikkat çekici diğer bir bulgu da *S. exugia*'da esansiyel bir amino asit olan fenilalanin düzeyinin diğer türlerden belirgin şekilde yüksek (0.84%) çıkmış olmasıdır ($p < 0.05$). Sonuç olarak, bu çalışmadan elde edilen özgün veriler; incelenen Lepidoptera türlerinin gıda ve yem endüstrilerinde yenilikçi, yüksek besin değerine sahip ve sürdürülebilir katkı maddeleri olarak kullanılma potansiyelini güçlü bir şekilde desteklemektedir.
Anahtar Kelimeler: Lepidoptera, Yenilebilir Böcekler, Sürdürülebilir Gıda, Amino Asit Profili.

DETERMINATION OF DETAILED AMINO ACID PROFILES OF THREE POTENTIAL EDIBLE INSECTS AT THE LAST LARVAL STAGE

ABSTRACT
The search for sustainable alternatives to traditional animal-based food sources has necessitated a detailed examination of the nutritional value of edible insects. This study presents the detailed amino acid composition of *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) and *Achroia grisella* (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralidae) species belonging to the order Lepidoptera that hold high potential as edible insects. Newly hatched *S. exigua* and *T. absoluta* larvae were collected from cotton fields and tomato greenhouse in Ceyhan district of Adana province, Turkey (37° 01′ 44″ Northern latitude and 35° 48′ 45″ Eastern longitude). *A. grisella* larvae which were in the first larval stage were obtained directly from villagers engaged in beekeeping in the Ikizdere district of Rize province, Turkey (40° 49' 20" Northern latitude and 40° 39' 20" Eastern longitude). Detailed amino acid profiles based on wet weight were determined for the final larval stages of these three species through biochemical analyses conducted according to AOAC method 994.12.

The findings revealed that the *A. grisella* species, in particular, possesses high-quality proteins rich in essential amino acids such as valine (1.18%), leucine (1.19%), and lysine (1.55%), while in the *T. absoluta* species, the level of proline, a building block of collagen protein, exceeded reference values (1.89%). Another noteworthy finding is that the level of phenylalanine, an essential amino acid, in *S. exugia* was found to be significantly higher (0.84%) than in the other species ($p < 0.05$). Consequently, the original data obtained from this study strongly support the potential of the investigated Lepidoptera species to serve as innovative, highly nutritious, and sustainable additives in the food and feed industries.
Keywords: Lepidoptera, Edible Insects, Sustainable Food, Amino Acid Profile.

ORTAÖĞRETİM 2018 VE 2024 BİYOLOJİ DERSİ ÖĞRETİM PROGRAMLARININ BOTANİK KONULARI YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Serap IŞIK SEYLAN
Hacettepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü
ORCID: 0000-0001-6167-9908

Araş. Gör. Dr. Esra ÇAKIRLAR ALTUNTAŞ
Hacettepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü
ORCID: 0000-0002-3566-8655

ÖZET
Bu çalışmada, ortaöğretim 2018 ve 2024 biyoloji dersi öğretim programlarının botanik konuları yönünden incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Millî Eğitim Bakanlığı tarafından hazırlanan 2018 ve 2024 ortaöğretim biyoloji dersi öğretim programları incelenmiştir. Araştırmada veriler doküman incelemesi yoluyla elde edilmiş, verilerin analizinde ise betimsel analiz kullanılmıştır. 2018 yılı ortaöğretim biyoloji dersi öğretim programında toplam 12 ünite, 2024 yılı ortaöğretim biyoloji dersi öğretim programında ise her sınıf düzeyinde iki olmak üzere toplam 8 tema bulunduğu belirlenmiştir. 2018 ortaöğretim biyoloji dersi öğretim programında 9., 10. ve 12. sınıf düzeylerinde 5 ünite, 10 konu ve 25 kazanım; 2024 ortaöğretim biyoloji dersi öğretim programında ise 9., 10., 11. ve 12. sınıf düzeylerinde 5 tema, 8 içerik çerçevesi ve 18 öğrenme çıktısının botanik konuları ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. 2018 ortaöğretim biyoloji dersi öğretim programı kazanım ifadelerinde kavramsal bilgi ve bilimsel olguların açıklanmasına ağırlık verildiği görülürken, 2024 ortaöğretim biyoloji dersi öğretim programı öğrenme çıktıları ifadelerinde bilimsel süreç becerilerinin ve üst düzey düşünme becerilerinin geliştirilmesini hedefleyen bütüncül bir öğrenme yaklaşımının benimsendiği görülmüştür. Ayrıca, 2018 ve 2024 ortaöğretim biyoloji dersi öğretim programlarında, botanik konularına ilişkin kazanım/öğrenme çıktılarının sınıf düzeylerine göre dağılımı açısından da iki program arasında benzerlikler ve farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak; Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli kapsamında hazırlanan 2024 ortaöğretim biyoloji dersi öğretim programında içerik ve kavram açısından görülen sadeleşmenin ve beceri temelli yaklaşımın, programdaki botanik konularına da yansıdığı belirlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Biyoloji, botanik, ortaöğretim, öğretim programı, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli.

AN EXAMINATION OF THE BOTANY TOPICS IN THE 2018 AND 2024 SECONDARY EDUCATION BIOLOGY CURRICULA

ABSTRACT
This study aims to examine the botany topics in the 2018 and 2024 secondary education biology curricula. In this context, the 2018 and 2024 secondary education biology curricula prepared by the Ministry of National Education were examined. In the study, data were obtained through document analysis, and descriptive analysis was used to analyze the data. It was determined that the 2018 secondary education biology curriculum contains a total of 12 units, while the 2024 secondary education biology curriculum contains a total of 8 themes, two at each grade level.

It was found that in the 2018 secondary education biology curriculum, 5 units, 10 topics, and 25 learning outcomes at the 9th, 10th, and 12th grade levels; and in the 2024 secondary education biology curriculum, 5 themes, 8 content frameworks, and 18 learning outcomes at the 9th, 10th, 11th, and 12th grade levels are related to botany. While the learning outcome statements of the 2018 secondary education biology curriculum emphasized the explanation of conceptual knowledge and scientific phenomena, the learning outcome statements of the 2024 secondary education biology curriculum reflect the adoption of a holistic learning approach aimed at developing scientific process skills and higher-order thinking skills. Furthermore, similarities and differences were identified between the 2018 and 2024 secondary education biology curricula in terms of the distribution of learning outcomes related to botany topics according to grade levels. In conclusion, it has been determined that the simplification of content and concepts, as well as the skills-based approach adopted in the 2024 secondary education biology curriculum—prepared within the scope of the Century of Türkiye Education Model —are also reflected in the botany topics included in the curriculum.
Keywords: Biology, botany, curriculum, secondary education, the Century of Türkiye Education Model.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BACİLLUS WİEDMANNİİ'NİN, POLYPHYLLA FULLO BÖCEK LARVALARININ MİKROBİYOTASI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Araştırma Görevlisi Özlem BAKIR BOĞA
Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü
ORCID: 0000-0002-1964-3271

Profesör Doktor Esabi Başaran KURBANOĞLU
Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü
ORCID: 0000-0002-7434-6309

ÖZET

Bağırsak fizyolojisi ve bakteri topluluğu, böceklerin enfeksiyonlara ve insektisitlere karşı duyarlılığında çok önemli roller oynamaktadır. *Polyphylla fullo* (L.), Türkiye'de genç meyve bahçeleri, bağlar, süs bitkileri, çimler, patatesler ve diğer birçok mahsulün kök sistemine saldıran en zararlı böceklerinden biridir. *Polyphylla fullo ölü larvalarından izole edilen Bacillus wiedmannii,* fakült*atif anaerobik, spor oluşturan* ve insektisit aktivitesine sahip Cry proteinleri içeren *B. thuringiensis* ile yaygın olarak ilişkilendirilen *bir Bacillus* suşudur. Bu bakterinin böceklerin bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkileri aydınlatılmamıştır. 16S rRNA geninin dizilemesi yoluyla, enfekte olmayan ve enfekte olmuş larvalarda bağırsak bakterilerinin dinamik bileşimini ve çeşitliliği değerlendirilmiştir. Hem bakteri ile enfekte olan grupta hem de enfekte olmayan kontrol *grubunda* filum düzeyinde Firmicutes,Proteobacteria, Bacterioidetes ve Actinobacteria bakterilerinin baskın olduğu görülmüştür. Her iki grupta da, orta bağırsaktaki baskın bakteriler esas olarak dört familyada bulunmuştur: Enterobacteriaceae, Erysipelotrichaceae, Porphyromonadaceae, Ruminococcaceae, Lachnospiraceae, Bacillaceae. Bakteri ile enfekte olmuş larvalarda *Turicibacter, Pragia, Dysgonomonas, Candidatus_Soleaferrea, Proteiniphilum, Desulfovibrio, Bacillus, Aeromonas* cinsleri bulunmuştur. Enfekte olmayan larva grubunda ise daha fazla çeşitlilik söz konusudur. *Turicibacter, Pragia, Dysgonomonas, Candidatus_Soleaferrea, Proteiniphilum, Desulfovibrio, Bacteroides, Peptoclostridium, Escherichia-Shigella* bakteri cinsleri bulunmuştur. Bağırsak mikrobiyotasında *Bacillus wiedmannii*'nin dinamik bir değişikliğe neden olarak bakteri çeşitliliğini de azaltmıştır. Bulgularımız, bağırsak mikrobiyotasının *Bacillus wiedmannii* öldürücü aktivitesine hayati katkısını ortaya koyarak, böceklerde *Bacillus wiedmannii* patogenez mekanizmalarına yeni bakış açıları sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Polyphylla fullo*, *Bacillus wiedmannii,* mikrobiyota

THE EFFECT OF *BACILLUS WIEDMANNII* ON THE MICROBIOTA OF *POLYPHYLLA FULLO* LARVAE

ABSTRACT

Gut physiology and bacterial communities play crucial roles in the susceptibility of insects to infections and insecticides. *Polyphylla fullo* (L.) is one of the most destructive insect pests in Türkiye, attacking the root systems of young orchards, vineyards, ornamental plants, turf, potatoes, and various other crops. *Bacillus wiedmannii*, isolated from dead *Polyphylla fullo* larvae, is a *Bacillus* strain closely related to *B. thuringiensis*—a facultative anaerobe that forms spores and produces insecticidal Cry proteins. The effects of this bacterium on the insect gut microbiota have not yet been elucidated.

Through 16S rRNA gene sequencing, the dynamic composition and diversity of gut bacteria were evaluated in both uninfected and infected larvae. At the phylum level, Firmicutes, Proteobacteria, Bacteroidetes, and Actinobacteria were found to be dominant in both the infected group and the uninfected control group. In both groups, the dominant bacteria in the midgut belonged primarily to the following families: Enterobacteriaceae, Erysipelotrichaceae, Porphyromonadaceae, Ruminococcaceae, Lachnospiraceae, and Bacillaceae. The bacterial genera *Turicibacter, Pragia, Dysgonomonas, Candidatus_Soleaferrea, Proteiniphilum, Desulfovibrio, Bacillus*, and *Aeromonas* were identified in the infected larvae. Greater diversity was observed in the uninfected larva group, where the genera *Turicibacter, Pragia, Dysgonomonas, Candidatus_Soleaferrea, Proteiniphilum, Desulfovibrio, Bacteroides, Peptoclostridium, and Escherichia-Shigella* were detected. *Bacillus wiedmannii induced* dynamic changes in the gut microbiota and reduced bacterial diversity. Our findings reveal the vital contribution of the gut microbiota to the lethal activity of *Bacillus wiedmannii*, offering new insights into the mechanisms of *Bacillus wiedmannii* pathogenesis in insects.
Keywords: *Polyphylla fullo*, *Bacillus wiedmannii,* microbiota

POLYPHYLLA FULLO BÖCEK LARVALARINDAN İZOLE EDİLEN *BACİLLUS WİEDMANNİİ'NİN* TÜM GENOM ANALİZİ

Araştırma Görevlisi Özlem BAKIR BOĞA
Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü
ORCID: 0000-0002-1964-3271

Profesör Doktor Esabi Başaran KURBANOĞLU
Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü
ORCID: 0000-0002-7434-6309

ÖZET
Polyphylla fullo (L.), Türkiye'de genç meyve bahçeleri, bağlar, süs bitkileri, çimler, patatesler ve diğer birçok mahsulün kök sistemine saldıran en zararlı böceklerinden biridir. *Polyphylla fullo ölü larvalarından izole edilen Bacillus wiedmannii'nin* tüm genom analizi yapılmıştır. *Illumina HiSeq yüksek verimli sekanslama kullanılarak genom özellikleri* araştırılmıştır. Çalışma kapsamında çift yön 10.495.019 olmak üzere toplam 20.990.038 ham okuma Phred+33 kodlamasıyla analiz edilmiştir. Ham okumaların kalite değerlendirmesi FastQC v0.12.1 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Genomun yapısal ve fonksiyonel anotasyonu Prokka v1.14.6 ile bakteri modunda gerçekleştirilmiştir. Analizde kingdom Bacteria, addgenes, addmrna, rfam, compliant ve mincontiglen 200 seçenekleri kullanılmıştır. Protein kodlayan diziler Prodigal v2.6.3 ile tahmin edilmiş, Rfam tabanlı diğer kodlamayan RNA özellikleri Infernal ile taranmıştır. Prokka komutunda norrna ve notrna seçenekleri bulunduğundan rRNA ve tRNA genleri Prokka tarafından ayrıca taranmamıştır. Anotasyon sonuçları GFF3, GenBank, protein FASTA ve nükleotid FASTA biçimlerinde oluşturulmuştur.Genomunun toplam boyutu 6.377.341 bp olup ortalama G + C içeriği %34,87'dir. Toplam 112 kontig sayısı bulunmuştur ve en uzun kontig 850.219 bp uzunluğundadır. N50 306.891 bp, N90 48.523 bp uzunluğundadır. Ayrıca, beş adet *cry/insektisidal* aktivitesi ile ilişkili beş adet gen adayı tanımlanmıştır. İnsektisidal delta-endotoksin benzeri proteinlerin ön taramasında Prokka tarafından tahmin edilen protein dizileri, DIAMOND v2.1.9 blastp modu ve more-sensitive seçeneği kullanılarak *Bacillus thuringiensis* delta-endotoksin referans protein veritabanına karşı aranmıştır. Benzerlik gösteren adayların protein domainleri HMMER v3.4 hmmscan ve Pfam-A veritabanı kullanılarak incelenmiştir. Bir proteinin Cry/delta-endotoksin olarak yorumlanmasında yalnızca DIAMOND benzerliği yeterli kabul edilmemiş, uyumlu domain kanıtı da aranmıştır. Tüm analizler Linux x86-64 işletim sistemi üzerinde Conda tabanlı analiz ortamında yürütülmüştür.
Anahtar Kelimeler: *Polyphylla fullo*, *Bacillus wiedmannii,* tüm genom analizi

WHOLE GENOME ANALYSIS OF *BACILLUS WIEDMANNII* ISOLATED FROM *POLYPHYLLA FULLO* BEETLE LARVAE

ABSTRACT
Polyphylla fullo (L.) is one of the most destructive insect pests in Türkiye, attacking the root systems of young orchards, vineyards, ornamental plants, turfgrass, potatoes, and various other crops. Whole-genome analysis was performed on a strain of *Bacillus wiedmannii* isolated from dead *Polyphylla fullo* larvae. Genomic characteristics were investigated using Illumina HiSeq high-throughput sequencing. A total of 20,990,038 raw reads (10,495,038 paired-end reads) were analyzed using Phred+33 encoding. Quality assessment of the raw reads was conducted using FastQC v0.12.1.

Structural and functional annotation of the genome was performed using Prokka v1.14.6 in bacterial mode. The analysis utilized the following options: kingdom Bacteria, addgenes, addmrna, rfam, compliant, and mincontiglen 200. Protein-coding sequences were predicted using Prodigal v2.6.3, while other non-coding RNA features based on Rfam were screened using Infernal. As the norrna and notrna options were included in the Prokka command, rRNA and tRNA genes were not separately screened by Prokka. Annotation results were generated in GFF3, GenBank, protein FASTA, and nucleotide FASTA formats. The total genome size is 6,377,341 bp, with an average G+C content of 34.87%. A total of 112 contigs were identified, with the longest contig measuring 850,219 bp. The N50 and N90 values were 306,891 bp and 48,523 bp, respectively. Additionally, five gene candidates associated with cry/insecticidal activity were identified. During the preliminary screening for insecticidal delta-endotoxin-like proteins, protein sequences predicted by Prokka were searched against a *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin reference protein database using DIAMOND v2.1.9 in blastp mode with the "more-sensitive" option. Protein domains of candidate sequences showing similarity were analyzed using HMMER v3.4 (hmmscan) and the Pfam-A database. DIAMOND similarity alone was not considered sufficient to classify a protein as a Cry/delta-endotoxin; evidence of matching domains was also required. All analyses were conducted within a Conda-based environment on the Linux x86-64 operating system.

Keywords: *Polyphylla fullo*, *Bacillus wiedmannii,* whole-genome analysis.

OKULLARDA FARKLILIKLARIN YÖNETİMİ: LİSANSÜSTÜ TEZLER ÜZERİNE BİR İNCELEME

Dr. Öğr. Üyesi Mevsim ZENGİN
Mersin Üniversitesi
ORCID: 0000-0002-0273-576X

Özet
Bireylerin demografik, kültürel ve kişisel özellikler bakımından farklılaşması, kurumların insan kaynağına yönelik yaklaşımlarını da değiştirmiştir. Yaş, cinsiyet ve etnik köken gibi demografik özelliklerin yanı sıra işgörenlerin değerleri, deneyimleri ve çalışma biçimlerindeki farklılıklar da örgütsel yaşamın önemli unsuru haline gelmiştir. Bu durum, farklılıkların örgütsel amaç doğrultusunda yönetilmesini önemli bir konu olarak ortaya çıkarmaktadır. Yapılan bu çalışmada, okullarda farklılıkların yönetimi üzerine yapılan lisansüstü tezler analiz edilmiştir. Nitel araştırma yöntemlerinden doküman analizi kullanılarak yürütülen ve 2007-2025 yılları arasında yayımlanan erişime açık 31 lisansüstü tezi kapsayan bu araştırmanın sonuçlarına göre, öğretmen ve okul yöneticilerinin okullarda farklılıkların yönetimine ilişkin algıları genel olarak olumlu ve yüksek düzeydedir. Örgütsel bağlılık ve örgütsel yabancılaşma değişkenlerinin farklılıkların yönetimiyle ilgili en sık ilişkilendirilen değişken olduğu görülmektedir. Araştırmada ayrıca okullarda farklılıkların etkili biçimde yönetebilmesinin iş doyumu, örgütsel bağlılık, örgütsel destek, liderlik kapasitesi, güven ve psikolojik sermaye gibi konularla pozitif; örgütsel sessizlik, yabancılaşma, sinizm ve değişime direnç gibi konularla negatif yönde ilişki gösterdiği görülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Farklılıkların yönetimi, tez inceleme, doküman analizi.

MANAGING DIVERSITY IN SCHOOLS: A REVIEW OF POSTGRADUATE THESES

Abstract
The differentiation of individuals in terms of demographic, cultural, and personal characteristics has also changed institutions' approaches to their human resources. In addition to demographic characteristics such as age, gender, and ethnicity, differences in employees' values, experiences, and ways of working have also become important elements of organizational life. This situation has brought the management of diversity in line with organizational objectives to the forefront as an important issue. In this study, postgraduate theses focusing on the management of diversity in schools were analyzed. Conducted using document analysis, one of the qualitative research methods, the study included 31 publicly accessible postgraduate theses published between 2007 and 2025. The findings indicate that teachers' and school administrators' perceptions of diversity management in schools are generally positive and at a high level. Organizational commitment and organizational alienation were found to be the variables most frequently associated with diversity management. The study also revealed that effective diversity management in schools is positively associated with issues such as job satisfaction, organizational commitment, organizational support, leadership capacity, trust, and psychological capital, and negatively associated with issues such as organizational silence, alienation, cynicism, and resistance to change.
Keywords: Diversity management, thesis review, document analysis

GİRİŞ

Örgütlerin dinamiklerini etkin biçimde yönetmede, bireyler arasındaki farklılıkları yönetmek önem taşımaktadır. Bu yönetim stratejisi, farklılıkları yakından tanıma, takdir etme, değer verme ve teşvik etme yoluyla verimliliği arttıracağı düşüncesine dayanmaktadır (Fischer, 2007, s.4). Farklılıkların yönetiminde amaç; yaş, cinsiyet, ırk, etnik köken, yaşam tarzı, dini inanç, tutum ve değerler gibi (Adamu, 2023; Bartz vd., 1990; Becker, 2016; Bhadury vd. 2000; Cox & Smolinski, 1994; Mavin ve Girling, 2010; Parisse, 2025; Souza, 1995; Von Bergen vd. 2002; Yadav & Lenka, 2020) unsurlardan kaynaklanan sınırlanma ya da kısıtlama olmaksızın çalışanların yetkinlik ve performanslarını ortaya koyabilmelerini sağlamaktır. Alan yazında çalışanların performansını arttırarak verimliliği sağlayan etkili yönetim öğesi olma durumu temel bir ifade olarak yer almaktadır (Foxman & Easterling 1999; Mavin ve Girling, 2010). Farklılık yönetimi, eşit koşullarda ayrım yapmadan muamele etmeyi öngören ve dezavantajlı durumları ortadan kaldırmayı amaçlayan normları kapsamaktadır (Becker, 2016). Bu bağlamda iş gücü çeşitliliğinin ortaya çıkardığı zorlukların üstesinden gelebilmek (Cox & Smolinski, 1994); etkili iş gücü yönetimi için iş yerinde eşitliği sağlayabilmek (Dennisen vd., 2020); kurumdaki her üyenin potansiyelini ortaya koymasını sağlamak (Mavin ve Girling, 2010) ve eşit yaşam koşulları oluşturmayı hedefleyerek kişilerin "olduğu gibi olmasını" önemseyip koruyabilmek (Becker, 2016) için çeşitli çaba ve yaklaşımları içermektedir.

Memduhoğlu'na (2011, s.37-38) göre örgütlerde çalışanlar arasında cinsiyet, ırk, deneyim, etnik köken gibi demografik farklılıklar; felsefi ve dini inanç, eğitim düzeyi, değer yargıları, kültürel alt yapı gibi sosyo-kültürel farklılıklar ve fiziksel ve zihinsel yetenekler, davranış biçimleri, kişilik, bilgi, beceri ve tutum düzeyleri gibi bireysel farklılıklar bulunmaktadır. Farklı olanlara duyulan empati olarak tanımlanan (Agocs ve Burr, 1996) farklılıkların etkin yönetimi, çatışma ve stresi azaltarak örgütsel bağlılığı, iş doyumu ve verimliliği artırmakta (Agocs ve Burr, 1996); problem çözme kalitesi ve inovasyon gibi fırsatlar sunmaktadır (Cox & Smolinski, 1994). İyi yönetilmediğinde ise verimliliğin düşmesine, iletişim eksikliğine, çatışma ve strese neden olmaktadır (Cox & Smolinski, 1994). Dolayısıyla doğru yaklaşımla örgütler ve çalışanlar için "kazan-kazan" bir durum oluşabildiği söylenebilir (Von Bergen vd., 2002, s.248)

Farklılığın refahın ön koşulu ve aynı zamanda sonucu olduğunu belirten Becker (2016, s.295) ise farklılık yönetimini mikro, mezo ve makro politik düzeyde tasarlamış; insan ve kurum gelişimini birbirine karşı değil birbiriyle tamamlayan amaçlı bir eylem olarak tanımlamıştır. Farklılığın mikro düzeyde görevi bireyciliği esas alarak öz farkındalığı kazandırmak, bireylerin kişisel gelişim ve potansiyellerini geliştirecek şeffaf ortam hazırlamak ve hiyerarşik olarak üstte bulunanlar tarafından ayrımcılığa uğramamasını sağlamaktır. Mezo düzeydeki görevi örgütsel hedeflere ulaşmak için denge oluşturarak kurumsal gelişimi sağlamaktır. Toplumların güçlü ve zengin olabilmesi için farklılıkların korunması ve çeşitliliğin desteklenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda makro düzeyde görevi ise bireylerin kendini gerçekleştirmesini sağlayarak toplumun ihtiyaçlarını karşılamaktır.

Alan yazında farklılığın inovasyon, yaratıcılık, performans, iş birliği ve yenilikçi iş davranışı üzerinde olumlu etkisini ele alan çalışmalar mevcuttur (Alshemmari ve Al Monawer, 2024; Chauhan ve Verma, 2025; Elamin vd., 2024; Kanama vd., 2024; Mehari vd., 2024; Suparyanto vd., 2025; Wallrich vd. 2024; Wang vd., 2019; Østergaard ve Timmermans, 2023). Bunun yanı sıra farklılığın işten ayrılma ve çatışma üzerindeki olumsuz etkilerini ele alan çalışmalar da yer bulunmaktadır (Chapman vd., 2022; Leonard ve Levine, 2010; Liu vd., 2023). Farklılıkların gerek bireysel gerekse de örgütsel bağlamda olumlu ve olumsuz etkilerinin, risklerinin bilinmesi önemlidir. Çalışanlar sahip oldukları değer yargılarını, inanç biçimlerini, düşüncelerini, yeteneklerini ve kişilik özelliklerini okul ortamına aktarırlar.

Farklılık kimi zaman gruplaşma, anlaşmazlık, kaos ve çatışmayı beraberinde getirebilir. Bu sebeple farklılıkların yoğun olduğu okulları yönetmek riskli ve zor olabilir. Ancak farklılıklar zenginlik olarak görüldüğünde bireysel ve örgütsel gelişim yaşanır. Felsefi ve dini inanç ile cinsiyet gibi farklılıklar okul ortamında empati ve hoşgörü kültürünün gelişmesine katkı sağlayabilir (Memduhoğlu, 2011). Örgütsel birliğin sağlanması için kapsayıcı ve destekleyici bir ortama ihtiyaç duyulmaktadır. Farklılığa verilen değer, iş görenlerin potansiyel ve performanslarında üst düzey verimlilik elde edilmesini sağlayacaktır. Farklılık güç olarak değerlendirildiğinde ise önyargı ve çatışmaların azalmasına, dolayısıyla sosyal bütünleşmeye yardımcı olacağı belirtilmiştir (van Vuuren vd., 2012).

Bu araştırmanın amacı, Türkiye'de 2007-2025 yılları arasında Yükseköğretim Kurulu (YÖK) Ulusal Tez Merkezi'nde yer alan, okullarda farklılıkların yönetimi konusunda hazırlanmış lisansüstü tezleri inceleyerek; bu alandaki araştırma eğilimlerini, ulaşılan sonuçları ve farklılıkların yönetimine ilişkin mevcut durumu ortaya koymaktır. Araştırma kapsamında aşağıdaki sorulara yanıt aranmıştır.

1. Farklılıkların yönetimi ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin demografik değişkenlere göre farklılaşma durumu nasıldır?
2. Farklılıkların yönetimi ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin ilişkilendirilen konulara göre dağılımı nasıldır?
3. Farklılıkların yönetimi ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerden elde edilen bulgular nelerdir?

YÖNTEM

Bu çalışmada ilgili veriler, Yükseköğretim Kurulu (YÖK) Ulusal Tez Merkezi'nde yer alan ve erişime açık lisansüstü tezlerden elde edilmiştir. Araştırma kapsamında, 2007-2025 yılları arasında okullarda farklılıkların yönetimi konusunda hazırlanmış lisansüstü tezler incelenmiştir. Ulusal Tez Merkezi'nde yapılan tarama sonucunda farklılıkların yönetimi konu alanında toplam 159 tez çalışması tespit edilmiştir. Araştırmaya; okullarda farklılıkların yönetimini ele alan, erişime açık ve araştırmanın amacıyla doğrudan ilişkili olan tezler dâhil edilmiştir. Öğrenciler, akademisyenler veya farklı sektörlerdeki çalışanlar üzerinde gerçekleştirilen, farklı ülkeleri konu alan ve araştırmanın odağıyla doğrudan ilişkili olmayan çalışmalar kapsam dışında bırakılmıştır. Nitel, nicel veya karma yöntemle gerçekleştirilen çalışmalar yöntemsel bir ayrım yapılmaksızın araştırmaya dâhil edilmiştir. Verilerin analizinde içerik analizinden yararlanılmıştır. Araştırmanın etik ilkeleri doğrultusunda yalnızca erişime açık tezlerden yararlanılmıştır. Kodlama sürecinin güvenirliğini sağlamak amacıyla oluşturulan kodlar ikinci bir kodlayıcı tarafından bağımsız olarak incelenmiş ve kodlayıcılar arasındaki uyum değerlendirilmiştir.

Tablo 1. İncelenen Lisansüstü Tezlerin Demografik Değişkenlere Göre Farklılaşma Durumu

Demografik değişkenler	**Anlamlı fark bulunan tez sayısı (f)**	**Anlamlı fark bulunmayan tez sayısı (f)**
Cinsiyet	10	16
Yaş	5	10
Mesleki Kıdem	4	18
Medeni durum	1	9
Farklılıkların yönetimiyle ilgili hizmet içi eğitim alma durumu	1	1
Branş	6	7
Okul türü	7	5
Okuldaki hizmet süresi	4	4
Okuldaki öğretmen sayısı	2	4
Öğrenim durumu	4	14
Okul yaşı		1
Okul büyüklüğü	1	
Mezun olunan fakülte	1	
Hizmet süresi	1	
Okulun bulunduğu ilçe		1
Görev yaptığı coğrafi bölge	1	1
Meslek grubu-Görev türü	5	
Yönetici ile aynı sendikada olma durumu		1
Yönetici ile çalışma süresi	1	
Toplam yöneticilik süresi		1
Yerleşim yeri		2
Okulun Bölge/Kültürüne Aidiyet Hissi Değişkeni	1	
Sendikaya üye olma durumu	1	2

Tabloda 1'de yer alan bulgulara göre, farklılıkların yönetimi konusunu ele alan lisansüstü tezlerde toplam 153 demografik değişkenin analizi gerçekleştirilmiş; bu analizlerin 56'sında (%36,6) istatistiksel olarak anlamlı fark bulunurken, 97'sinde (%63,4) anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir. Tezlerde en sık incelenen cinsiyet (f=26), mesleki kıdem (f=22), öğrenim durumu (f=18) ve yaş (f=15) gibi demografik değişkenlerin büyük çoğunluğunda farklılaşma anlamlı değildir. Buna karşın, okul türü (f=12) ve branş (f=13) değişkenlerinde anlamlı farklılığın olduğu tezlerin çoğunlukta olduğu görülmektedir. Ayrıca okul büyüklüğü, mezun olunan fakülte, hizmet süresi, yönetici ile çalışma süresi, sendikaya üye olma, okulun bölge/kültürüne aidiyet hissi gibi değişkenlerin tamamında anlamlı farklılık saptanmış ancak bu değişkenleri sınırlı sayıdaki tezlerin ele aldığı görülmüştür.

Tablo 2. İncelenen Lisansüstü Tezlerde Farklılıkların Yönetimi İle İlişkilendirilen Konular

İlişkilendirilen Konular	**İncelenen tezler**
Değişime direnç	T2,
Örgütsel güven	T3,
Örgütsel bağlılık	T11, T26, T30, T32
Örgütsel yabancılaşma	T12, T23
Psikolojik sermayeye uyma	T13
Empatik eğilim	T14
Örgütsel sessizlik	T15
Örgütsel sinizm	T17
Bilgi Paylaşımı	T18
Liderlik kapasitesi	T20
Örgütsel değişim	T22
Örgütsel vatandaşlık davranışı	T26
Eğitimde yetenek yönetimi	T27
Örgütsel mutluluk	T28
İş doyumu	T30
Örgütsel destek	T30
Kültürel zekâ	T31
Psikolojik sermaye	T32

Tabloda 2'de yer alan verilere göre, lisansüstü tezlerde farklılıkların yönetimi ile ilişkilendirilen toplam 18 farklı konu incelenmiştir. Bu konular arasında en sık ele alınan kavram, 4 farklı lisansüstü tezde (T11, T26, T30, T32) ele alınan örgütsel bağlılık olmuştur. Bunu 2 lisansüstü tezde (T12, T23) incelenen örgütsel yabancılaşma takip etmektedir. Geriye kalan 16 konu (örneğin değişime direnç, örgütsel güven, örgütsel sinizm, iş doyumu, kültürel zekâ, psikolojik sermaye vb.) ise birer lisansüstü tezde ele alınmıştır. Bazı lisansüstü tezlerin (T26, T30, T32) farklılıkların yönetimi ile birlikte birden fazla konu ile eş zamanlı olarak incelediği görülmektedir.

Tablo 3.Farklılıkların Yönetimi İle İlgili Yapılan Lisansüstü Tezlerden Elde Edilen Bulgular

Kaynak	**Sonuç**
Arslan (2018)	Farklılıkların yönetimi yaklaşımlarından tümleştirme ve öğrenme, renk körlüğü ile eşitlik yaklaşımları örgütsel mutluluğu ve bunun alt boyutu olan olumlu duyguları anlamlı biçimde yordarken; homojenliğin desteklenmesi ve erişim yaklaşımları hem örgütsel mutluluğu hem de olumlu duyguları yordamamaktadır
Aslan (2015)	Yönetici ve öğretmenler, eğitimde farklılıkların yönetimi konusunda kendilerini üst düzeyde yeterli görmektedirler.
Ateş (2019)	Farklılıkların yönetimi ile iş doyumu, algılanan örgütsel destek, örgütsel bağlılık arasında yüksek düzeyde pozitif yönlü anlamlı ilişki bulunmaktadır.
Bakaç (2018)	Öğretmenlerin, farklılıkların yönetiminin tüm alt boyutlarına ilişkin görüşleri büyük ölçüde olumlu düzeydedir.
Baysal (2022)	Öğretmenlerin farklılıkların yönetimi yaklaşımlarına ilişkin algılarında en yüksek düzey eşitlikçi yaklaşım ile meşruluk ve öğrenme yaklaşımında, en düşük düzey ise direnç faktörü yaklaşımında tespit edilmiştir.
Canbaz (2019)	Öğretmenlerin, okul yöneticilerinin farklılıkları yönetebilme becerilerine ilişkin algıları yüksek düzeydedir; ayrıca bu beceriler ile öğretmenlerin örgütsel bağlılıkları arasında pozitif yönlü, orta düzeyde ve anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.
Çako (2012)	Yöneticilerin, farklılıkları yönetme düzeyi olumlu olup, değişime direnç ile negatif ilişki göstermektedir.
Çay (2019)	Öğretmenlerin, okul yöneticilerinin farklılıkları yönetme becerilerine ilişkin algıları yüksek düzeydedir. Bu beceriler, öğretmenlerin psikolojik sözleşmeye uyma düzeyleri ile orta derecede ilişki göstermekte ve bu düzeyi anlamlı biçimde yordamaktadır.
Çelik (2019)	Farklılıkların yönetimi ile örgütsel yabancılaşma arasında anlamlı bir ilişki bulunmakta ve farklılıkların yönetimi, örgütsel yabancılaşmanın anlamlı bir yordayıcısı olarak öne çıkmaktadır.
Çetin (2019)	Farklılıkların yönetimi ile empatik eğilim arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.
Çınar (2013)	Yöneticilerin farklılıkları yönetme davranışına yönelik algıları genel olarak yüksek düzeyde olup, örgütsel güveni etkilemektedir.
Ekinci (2014)	Yönetici ve öğretmenlerin farklılıkların yönetimine ilişkin görüşleri genel olarak olumludur.
El Salih (2021)	Öğretmenlerin büyük çoğunluğunun okuldaki farklılıkların yönetimi konusundaki algıları olumludur.
Genç (2017)	Farklılıkların yönetimine ilişkin öğretmen ve okul yöneticilerinin görüşleri olumludur.
Gök (2020)	Farklılıkların yönetimi ile örgütsel sessizlik arasında negatif yönlü ve yüksek düzeyde anlamlı bir ilişki bulunmakta olup farklılıkların yönetimi stratejileri, öğretmenlerin örgütsel sessizlik düzeylerini anlamlı biçimde yordamaktadır.
Karakaş (2021)	Farklılıkların yönetiminin liderlik kapasitesi üzerindeki etkisi olumlu olup okul vizyonunun belirlenmesine her bireyin katkı sunması ile işgörenlerin yönetime daha fazla dâhil edilmesi, okulun liderlik kapasitesini artırmada önem taşımaktadır.

Kurtulmuş (2014)	Öğretmenlerin farklılıkların yönetimine ilişkin algıları iyi; örgütsel bağlılık ve vatandaşlık davranışları düzeyleri ise yüksek düzeydedir.
Küçük (2018)	Öğretmenlerin, farklılıkların yönetiminin tüm alt boyutlarına ilişkin görüşleri büyük ölçüde olumlu düzeydedir.
Mdookh (2022)	Okullarda farklılıkların yönetimi örgütsel bağlılığı ve psikolojik sermayeyi olumlu etkilemekte; psikolojik sermaye ise bu ilişkide aracı rol oynamaktadır.
Memduhoğlu (2007)	Yönetici ve öğretmenlerin, farklılıkların yönetimine ilişkin algıları olumlu düzeydedir.
Meteroğlu (2015)	Öğretmenlerin farklılıklarının yönetimine ilişkin algıları iyi düzeydedir.
Öksüz (2022)	Farklılıkların yönetimine ilişkin öğretmen görüşleri yüksek düzeyindedir.
Özcan (2025)	Öğretmenlerin farklılıkların yönetimine ilişkin algılarının genel olarak orta düzeyde, örgütsel yabancılaşma düzeylerinin ise düşük olduğu; farklılıkların yönetimi ile örgütsel yabancılaşma arasında negatif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunduğu saptanmıştır.
Özkan (2020)	Farklılıkların yönetimi ile bilgi paylaşımı davranışı arasındaki ilişki orta düzeyde ve pozitif yönlüdür.
Rengi (2021)	Kültürel zekâ, farklılıkların yönetimine olumlu katkı sunmaktadır.
Şahin (2015)	Farklılıkların yönetimine ilişkin öğretmen algıları yüksek düzeydedir.
Tayfur (2016)	Öğretmenlerin farklılıkları fark etme, kabul etme ve yararlanma boyutlarındaki algıları sadece okul türüne göre farklılaşırken; farklılıkları yönetme boyutundaki algıları cinsiyet, öğrenim düzeyi ve okul türü değişkenlerine göre anlamlı bir şekilde farklılaşmaktadır.
Temel (2020)	Öğretmenlerin, okul müdürlerinin farklılıkları yönetme becerilerine ilişkin algıları yüksek düzeydedir. Söz konusu becerilerin ilkokul ve ortaokul öğretmenlerinin örgütsel sinizm düzeylerini anlamlı biçimde yordadığı, lise düzeyinde ise yordamadığı belirlenmiştir.
Tunçer (2020)	Öğretmenlerin büyük çoğunluğu, okullarında farklılıklar açısından destekleyici bir yönetim anlayışının hâkim olduğu görüşündedir.
Ünlü (2023)	Öğretmenlerin farklılıkların yönetimine ilişkin algıları yüksek düzeyde olup bu algılar ile değişime açıklık arasında istatistiksel olarak pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.
Yerlikaya (2017)	Öğretmenlerin yöneticilerine ilişkin yetenek yönetimi algıları bazen, farklılıkları fark etme algıları ise sıklıkla düzeyindedir. Öğretmenler, yöneticilerin farklılıkları yönetme düzeyini yetenek yönetimine kıyasla daha yüksek değerlendirmiştir.

Tabloda 3'de yer alan 31 lisansüstü tezden elde edilen bulgulara göre, öğretmen ve okul yöneticilerinin farklılıkların yönetimine ilişkin görüşlerinin genel olarak yüksek, olumlu ve iyi düzeyde olduğu görülmektedir (Bakaç, 2018; Canbaz, 2019; Çako, 2012; Çay, 2019; Çınar, 2013; Ekinci, 2014; El Salih, 2021; Genç, 2017; Küçük, 2018; Memduhoğlu, 2007; Meteroğlu, 2015; Öksüz, 2022; Şahin, 2015; Temel, 2020; Tunçer, 2020; Ünlü, 2023).

İncelenen lisansüstü tezlerde farklılıkların yönetimi algısı; örgütsel bağlılık (Ateş, 2019; Canbaz, 2019; Kurtulmuş, 2014; Mdookh, 2022), örgütsel güven (Çınar, 2013), iş doyumu, örgütsel destek (Ateş, 2019), liderlik kapasitesi (Karakaş, 2021), psikolojik sözleşmeye uyma (Çay, 2019), bilgi paylaşımı (Özkan, 2020), değişime açıklık (Ünlü, 2023) ve empatik eğilim (Çetin, 2019) konuları ile pozitif yönlü ilişki göstermektedir. Buna karşın farklılıkların yönetiminin; değişime direnç (Çako, 2012), örgütsel yabancılaşma (Çelik, 2019; Özcan, 2025) ve örgütsel sessizlik (Gök, 2020) gibi konularda negatif yönlü ilişki gösterdiği tespit edilmiştir. Son olarak örgütsel sinizmin ise ilkokul ve ortaokul düzeyinde anlamlı biçimde yordadığı, lise düzeyinde ise yordamadığı belirlenmiştir (Temel, 2020).

SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Farklılıkların yönetimi, işgücü çeşitliliğini çatışma unsuru olarak değil, örgütsel verimliliği arttıran kritik bir unsur olarak ele almaktadır. Okulların dinamik yapısı dikkate alındığında bu konuda yapılan lisansüstü çalışmaların alan yazındaki eğilimleri ve mevcut durumunu ortaya koymak açısından önemlidir. Farklılıkların yönetimi ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerde en sık incelenen demografik değişkenlerin cinsiyet, mesleki kıdem, öğrenim durumu ve yaş olduğu; bu değişkenlerin büyük çoğunluğunda anlamlı farklılaşma bulunmadığı görülmektedir. Anlamlı farklılaşmanın çoğunlukla okul türü ve branş değişkenlerinde olduğu görülmektedir. Araştırmada örgütsel bağlılık ve örgütsel yabancılaşma konularının farklılıkların yönetimi ile en sık ilişkilendiren konu olduğu da görülmektedir. Lisansüstü tezlerde öğretmen ve okul yöneticilerinin farklılıkların yönetimine ilişkin algılarının genel olarak yüksek ve olumlu olduğu da görülmektedir.

Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda okulların kendi sosyo-kültürel iklimini göz önünde bulundurarak kapsayıcı yönetim stratejilerini geliştirmesi gerekmektedir. Okul müdürleri karar alma sürecine branş ayrımı yapmaksızın tüm öğretmenleri dahil etmeli, görev ve kaynak dağılımda adil davranmalı, zümreler arası iş birliğini arttıracak ve örgütsel aidiyetlerini güçlendirecek faaliyetlere yer vermeli; kapsayıcı tutum sergilemelidir. Ayrıca okul müdürlerine kriz yönetimi, kapsayıcı liderlik ve iletişim gibi konularda uygulamalı hizmet içi eğitimler vererek pozitif algının yaygınlaşması sağlanmalıdır. Gelecekte araştırmalarda, farklılıkların yönetiminde aracı ve düzenleyici değişkenlerin yer aldığı yapısal eşitlik modellerinin sayısının arttırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Adamu, A. Y. (2023). Student ethnic diversity management in Ethiopian universities: Practices, challenges, and way forward. *Higher Education, 86*(6), 1325–1340.

Agócs, C., & Burr, C. (1996). Employment equity, affirmative action and managing diversity: Assessing the differences. *International Journal of Manpower, 17*(4/5), 30–45.

Alkar, S. (2014). *Ortaöğretim öğrencilerinin sınıf ortamında farklılıkların yönetimine ilişkin algılarının incelenmesi (Şanlıurfa İli örneği)* (Tez No. 439945) [Yüksek lisans tezi, ZİRVE ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Alshemmari, J. M. H. J., & Al Monawer, F. H. (2024). Analyzing the relationship between workplace diversity and innovation and its influence on organizational performance. *Journal of System and Management Sciences, 14*(1), 471–489. https://doi.org/10.33168/JSMS.2024.0127

Arslan, Y. (2018). *Öğretmenlerin farklılıkların yönetimi yaklaşımlarına ilişkin algıları ile örgütsel mutluluk algıları arasındaki ilişki* (Tez No. 511159) [Doktora tezi, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Aslan, B. (2015). *Yönetici ve öğretmenlerin farklılıkların yönetimine ilişkin algılarının incelenmesi (Batman il örneği)* (Tez No. 439887) [Yüksek lisans tezi, ZİRVE ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Ateş, A. (2019). *Farklılıkların yönetimi ile iş doyumu ve örgütsel bağlılık ilişkisinde algılanan örgütsel desteğin aracılık rolü* (Tez No. 606575) [Doktora tezi, SELÇUK ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Bakaç, N. (2018). *Farklılıkların yönetimine ilişkin okul yöneticilerinin ve öğretmenlerin görüşleri* (Tez No. 530053) [Yüksek lisans tezi, SİİRT ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Bartz, D. E., Hillman, L. W., Lehrer, S., & Mauhugh, G. M. (1990). A model for managing workforce diversity. *Management Education and Development, 21*(5), 321–326.

Baysal, S. (2022). *Öğretmenlerin algılarına göre okullarda farklılıkların yönetimi yaklaşımları* (Tez No. 715648) [Yüksek lisans tezi, SİİRT ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Becker, M. (2016). Was ist diversity management? In K. Fereidooni & A. P. Zeoli (Eds.), *Managing diversity: Die diversitätsbewusste Ausrichtung des Bildungs- und Kulturwesens, der Wirtschaft und Verwaltung* (pp. 291–318). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-14047-2

Belloda, B. (2016). *Farklılıkların yönetimi ve örgütsel bağlılık arasındaki ilişki: Kosova – Prizren ili ilk ve ortaöğretim devlet okullarında yapılan bir araştırma* (Tez No. 438483) [Yüksek lisans tezi, TRAKYA ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Bhadury, J., Mighty, E. J., & Damar, H. (2000). Maximizing workforce diversity in project teams: A network flow approach. *Omega: International Journal of Management Science, 28*, 143–153.

Canbaz, O. (2019). *Ortaöğretim kurumu yöneticilerinin farklılıkları yönetebilme becerileri ile öğretmenlerin örgütsel bağlılıkları arasındaki ilişki* (Tez No. 538066) [Yüksek lisans tezi, BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Chapman, G., Nasirov, S., & Özbilgin, M. (2023). Workforce diversity, diversity charters and collective turnover: Long-term commitment pays. *British Journal of Management, 34*(3), 1340–1359. https://doi.org/10.1111/1467-8551.12644

Chauhan, A., & Verma, S. (2025). Investigate the impact of workplace diversity on innovation and collaboration. *IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)*, 55–57. https://doi.org/10.9790/487X-conf5557

Cox, T., Jr., & Smolinski, C. (1994). *Managing diversity and glass ceiling initiatives as national economic imperatives*. The University of Michigan.

Çako, G. (2012). *İlköğretim okullarında öğretmen algılarına göre yöneticilerin farklılıkları yönetimi becerileri ile değişime dirençleri arasındaki ilişki* (Tez No. 342292) [Yüksek lisans tezi, TRAKYA ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Çay, A. Y. (2019). *Okul yöneticilerinin farklılıkları yönetme becerileri ile öğretmenlerin psikolojik sözleşmeye uyma düzeyleri arasındaki ilişki* (Tez No. 568429) [Yüksek lisans tezi, UŞAK ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Çelik, A. (2019). *Örgütsel yabancılaşmanın yordayıcısı olarak farklılıkların yönetimi* (Tez No. 541375) [Yüksek lisans tezi, İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Çetin, N. (2009). *İlköğretim okullarında yöneticilerin öğretmenler arasındaki farklılıkları yönetme yeterlilikleri (Bursa ili örneği)* (Tez No. 253691) [Yüksek lisans tezi, SAKARYA ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Çetin, S. (2019). *Farklılıklar yönetimine ilişkin yönetici görüşleri ile yöneticilerin empatik eğilimlerinin karşılaştırılması* (Tez No. 612952) [Yüksek lisans tezi, DİCLE ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Çınar, K. (2013). *Ortaöğretim öğretmenlerinin örgütsel güven düzeylerine yöneticilerinin farklılıklarla yönetim davranışlarının etkisi* (Tez No. 358772) [Yüksek lisans tezi, CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Dennissen, M. H. J., Benschop, Y. W. M., & van den Brink, M. C. L. (2020). Rethinking diversity management: An intersectional analysis of diversity networks. *Organization Studies, 41*(2), 219–240. https://doi.org/10.1177/0170840618800103

Ekinci, C. Ş. (2014). *Yönetici ve öğretmenlerin ilk ve ortaokullarda farklılıkların yönetimi konusundaki görüşlerinin değerlendirilmesi: Gaziantep ili Şehirkamil ilçesi örneği* (Tez No. 394653) [Yüksek lisans tezi, ZİRVE ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Elamin, A. M., Aldabbas, H., & Ahmed, A. Z. E. (2024). The impact of diversity management on innovative work behavior: The mediating role of employee engagement in an emerging economy. *Frontiers in Sociology, 9*, 1441109. https://doi.org/10.3389/fsoc.2024.1441109

Elsalih, B. (2021). *Okul yöneticilerinin farklılıklar yönetimine yönelik görüşlerinin çeşitli değişkenlere göre değerlendirilmesi* (Tez No. 867723) [Yüksek lisans tezi, HARRAN ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Fischer, M. (2007). *Diversity management and the business case* (HWWI Research Paper No. 3-11). Hamburgisches WeltWirtschaftsInstitut (HWWI).

Foxman, E., & Easterling, D. (1999). The representation of diversity in marketing principles texts: An exploratory analysis. *Journal of Education for Business, 74*(5), 285–288. https://doi.org/10.1080/08832329909601699

Geçdoğan Yılmaz, R. (2013). *Kamuda görev yapan yöneticilerin hizmetkâr liderlik yeterlikleri ile farklılıkları yönetme becerileri* (Tez No. 342500) [Yüksek lisans tezi, HARRAN ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Genç, N. Ö. (2017). *İlkokullarda görev yapan yöneticilerin öğretmenler arasındaki farklılıkları yönetme durumlarının incelenmesi* (Tez No. 461513) [Yüksek lisans tezi, GAZİ ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Gök, M. İ. (2020). *Öğretmenlerin okullardaki farklılıkların yönetimine ilişkin algıları ile örgütsel sessizlik düzeyleri arasındaki ilişki* (Tez No. 624217) [Yüksek lisans tezi, SİİRT ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Günçavdı Alabay, G. (2022). *Okul yöneticilerinin çok kültürlü kişilik özellikleri, farklılık yaklaşımları ve çatışma yönetim stratejileri arasındaki ilişki* (Tez No. 734518) [Doktora tezi, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Kanama, D., Ito, S., Muranaka, S., & Watanabe, T. (2024). Investigating the effect of diversity on innovation performance: An empirical research on the relationship between career, education, and age diversity of start-up founders and business growth. *Journal of Human Resource and Sustainability Studies, 12*, 764–779. https://doi.org/10.4236/jhrss.2024.124040

Karakaş, O. (2021). *Okullarda farklılıkların yönetiminin liderlik kapasitesiyle ilişkisi* (Tez No. 658848) [Yüksek lisans tezi, NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Kılıçlar Şahin, E. (2015). *İlköğretim kurumlarında farklılıkların yönetimine ilişkin öğretmen görüşlerinin incelenmesi* (Tez No. 378259) [Yüksek lisans tezi, GAZİ ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Kurtulmuş, M. (2014). *Farklılıkların yönetiminin öğretmenlerin örgütsel bağlılıklarına ve vatandaşlık davranışlarına etkisi* (Tez No. 378705) [Doktora tezi, DİCLE ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Küçük, M. (2018). *İmam hatip ortaokullarında farklılıkların yönetimine dair öğretmen görüşlerinin incelenmesi* (Tez No. 520094) [Yüksek lisans tezi, İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Leonard, J. S., & Levine, D. I. (2006). The effect of diversity on turnover: A large case study. *ILR Review, 59*(4), 547–572. https://doi.org/10.1177/001979390605900402

Liu, J., Zhu, Y., & Wang, H. (2023). Managing the negative impact of workforce diversity: The important roles of inclusive HRM and employee learning-oriented behaviors. *Frontiers in Psychology, 14*, 1117690. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1117690

Mavin, S., & Girling, G. (2000). What is managing diversity and why does it matter? *Human Resource Development International, 3*(4), 419–433. https://doi.org/10.1080/713767867

Mehari, A. T., Ayenew Birbirsa, Z., & Nemera Dinber, G. (2024). The effect of workforce diversity on organizational performance with the mediation role of workplace ethics: Empirical evidence from food and beverage industry. *PLOS ONE, 19*(7), e0297765. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297765

Memduhoğlu, H. B. (2007). *Yönetici ve öğretmen görüşlerine göre Türkiye'deki kamu liselerinde farklılıkların yönetimi* (Tez No. 235719) [Doktora tezi, ANKARA ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Memduhoğlu, H. B. (2011). Liselerde farklılıkların yönetimi: Bireysel tutumlar, örgütsel değerler ve yönetsel politikalar. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 7*(2), 37–53.

Meteroğlu, B. (2015). *Ortaokullarda görev yapan öğretmenlerin okullarda farklılıkların yönetimine ilişkin algıları* (Diyarbakır il örneği) (Tez No. 439991) [Yüksek lisans tezi, ZİRVE ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Mdookh, W. (2022). *Öğretmenlerin farklılıkların yönetimi yaklaşımlarına ilişkin algıları ile örgütsel bağlılıkları arasındaki ilişkide psikolojik sermayenin aracılık rolü* (Tez No. 757120) [Doktora tezi, ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Østergaard, C. R., & Timmermans, B. (2025). Workplace diversity and innovation performance: Current state of affairs and future directions. In M. Andersson, C. Karlsson, & S. Wixe (Eds.), *The Oxford handbook of spatial diversity and business economics* (pp. 140–178). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198866190.013.0007

Öksüz, E. (2022). *Okul yöneticilerinin farklılıkların yönetimine ilişkin öğretmen algılarının incelenmesi* (Tez No. 738351) [Yüksek lisans tezi, KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Özkan, F. (2020). *Farklılıkların yönetimi ile bilgi paylaşımı arasındaki ilişki: Ünye'deki Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı okullarda yapılan bir araştırma* (Tez No. 635852) [Yüksek lisans tezi, GİRESUN ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Özcan, M. (2025). Farklılıkların yönetiminin örgütsel yabancılaşma üzerindeki etkisinin öğretmen görüşlerine göre incelenmesi (Tez No. 993523) [Yüksek lisans tezi, YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Parisse, C. A. (2025). Work–life balance and diversity management: A new approach to old problems. *Social Sciences, 14*(4), 214. https://doi.org/10.3390/socsci14040214

Rengi, Ö. (2021). *Eğitim örgütlerinde farklılıkların yönetimi ve kültürel zekâ ile ilişkisinin incelenmesi* (Tez No. 662536) [Doktora tezi, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Sevinik, S. (2019). *Eğitim yönetimi kademesinde farklılıkların yönetimi ve karşılaşılan zorluklar* (Tez No. 579708) [Yüksek lisans tezi, İSTANBUL OKAN ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Souza, C. L. de. (1995). Review of the book *Differences that work: Organizational excellence through diversity*, by M. C. Gentile (Ed.). *Revista de Administração de Empresas, 35*(3), 96. https://doi.org/10.1590/S0034-75901995000300013

Suparyanto, T., Santosa, T. A., Fauzi, R. U. A., Nugraha, A. R., Dewanto, & Tarmizi, R. (2025). Diversity and inclusion in the workplace: Assessing their effects on employee performance and innovation. *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS), 4*(1), 38–42.

Tayfur, M. F. (2016). *İlkokul ve ortaokul yöneticilerinin öğretmenler arasındaki farklılıkları yönetme yeterlilikleri* (Tez No. 435404) [Yüksek lisans tezi, MARMARA ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Tekcan, T. (2019). *Algılanan farklılık yaklaşımları ile örgütsel adalet algı düzeyleri arasındaki ilişki* (Tez No. 566568) [Yüksek lisans tezi, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Temel, D. (2020). *Okul müdürlerinin farklılıkları yönetme becerileri ile öğretmenlerin örgütsel sinizm düzeyleri arasındaki ilişki* (Tez No. 633104) [Yüksek lisans tezi, UŞAK ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Tunçer, R. N. (2020). *Bağımsız anaokullarında farklılıklar ve farklılıkların yönetimi* (Tez No. 628745) [Yüksek lisans tezi, PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Ünlü, M. (2023). *Öğretmenlerin algılarına göre okullarda farklılıkların yönetiminin örgütsel değişim açıklığına etkisi* (Tez No. 838821) [Yüksek lisans tezi, BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

van Vuuren, H. J., van der Westhuizen, P. C., & van der Walt, J. L. (2012). The management of diversity in schools—A balancing act. *International Journal of Educational Development, 32*(2), 155–162. https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2010.11.005

Von Bergen, C. W., Soper, B., & Foster, T. (2002). Unintended negative effects of diversity management. *Public Personnel Management, 31*(2), 239–251.

Wallrich, L., Opara, V., Wesołowska, M., et al. (2024). The relationship between team diversity and team performance: Reconciling promise and reality through a comprehensive meta-analysis registered report. *Journal of Business and Psychology, 39*, 1303–1354. https://doi.org/10.1007/s10869-024-09977-0

Wang, J., Cheng, G. H. L., Chen, T., & Leung, K. (2019). Team creativity/innovation in culturally diverse teams: A meta-analysis. *Journal of Organizational Behavior, 40*(6), 693–708

Yadav, S., & Lenka, U. (2020). Diversity management: A systematic review. *Equality, Diversity and Inclusion: An International Journal*. https://doi.org/10.1108/EDI-07-2019-0197

Yerlikaya, S. (2017). *Okul yöneticilerinin yetenek yönetimi ile öğretmenler arasındaki farklılıkları yönetme yeterlikleri* (Tez No. 451170) [Doktora tezi, ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA SORGULAMA KÜLTÜRÜ: BİLGİ KÜLTÜRÜNÜN DÖNÜŞÜMÜNE İLİŞKİN KAVRAMSAL BİR YAKLAŞIM

Dr. Öğr. Üyesi Abuzer YEŞİL
Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Yeni Medya ve İletişim Bölümü
ORCID: 0000-0001-6163-3432

ÖZET
Üretken yapay zekâ teknolojilerinin günlük hayatta hızlı bir şekilde yaygınlaşması, insanların bilgiye erişim, bilgiyi analiz etme ve bilgi üretme pratiklerinde önemli dönüşümleri neden olmaktadır. Dijitalleşme sürecinin ilk zamanlarında bilgiye erişim büyük oranda arama motorları vasıtasıyla gerçekleşirken, üretken yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşmasıyla beraber bilgiye ulaşma süreci doğru kaynağı bulmaktan ziyade doğru soruları oluşturabilme ve yapay zekâ sistemleriyle etkili iletişim kurabilme yeteneğine yaslanmaktadır. Bu dönüşüm, sadece teknolojik bir yenilik değil, bilgi kültürünün yeniden biçimlenmesini açıklayan iletişimsel ve sosyokültürel bir değişim olarak değerlendirilebilir. Buna karşılık hâlihazırdaki yeni medya ve iletişim literatürü, üretken yapay zekânın etkilerini genellikle kullanım niyeti, performans, eğitim ve etik bağlamında incelemekte; bilgi kültüründeki yapısal dönüşümü izah eden kavramsal yaklaşımlar sınırlı kalmaktadır.
Bu araştırma, sözü edilen boşluktan hareketle üretken yapay zekâ ile birlikte ortaya çıkan yeni bilgi edinme pratiklerini izah etmek amacıyla "sorgulama kültürü" kavramını analitik bir öneri olarak tartışmaya açmaktadır. Çalışmada bilgi kültürünün tarihsel gelişimi ezber kültürü, kaynak kültürü, arama kültürü ve sorgulama kültürü şeklinde dört evrede ele alınmakta; üretken yapay zekâ ile birlikte bilgiye erişimin belge odaklı bir yapıdan diyalog odaklı bir yapıya dönüştüğü iddia edilmektedir. Araştırma, nitel araştırma yaklaşımı doğrultusunda farklı yaş, eğitim ve meslek gruplarından üretken yapay zekâ kullanıcılarıyla gerçekleştirilecek derinlemesine görüşmelere dayanmaktadır. Görüşmeler vasıtasıyla kullanıcı bireylerin bilgiye erişim, doğrulama, öğrenme ve hatırlama pratiklerindeki dönüşüm analiz edilmektedir. Araştırmanın, üretken yapay zekânın sadece bilgiye erişimi kolaylaştıran bir teknoloji değil, bilgi kültürünü yeniden biçimlendiren bir iletişim mecrası olduğunu ortaya koyması ve teklif edilen sorgulama kültürü kavramsallaştırmasıyla yeni medya çalışmalarına özgün bir analitik perspektif sunması beklenmektedir.
Anahtar Kelimeler: Üretken yapay zekâ, sorgulama kültürü, bilgi kültürü, yeni medya, dijital hafıza

THE CULTURE OF INQUIRY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A CONCEPTUAL APPROACH TO THE TRANSFORMATION OF KNOWLEDGE CULTURE

ABSTRACT
The rapid proliferation of generative artificial intelligence technologies in daily life is driving significant transformations in how individuals access, analyze, and produce information. During the early stages of digitalization, accessing information was predominantly facilitated by search engines; however, with the widespread adoption of generative AI applications, the process of acquiring information has shifted from locating the correct source to the ability to formulate the right questions and interact effectively with AI systems.

This transition should be regarded not merely as a technological innovation, but as a communicative and sociocultural shift that reshapes knowledge culture. In contrast, contemporary new media and communication literature predominantly examines the impacts of generative AI within the contexts of intention to use, performance, education, and ethics; conceptual frameworks addressing the structural transformation in knowledge culture remain relatively scarce. Addressing this gap, this research introduces the concept of the "culture of inquiry" as an analytical proposition to elucidate the novel information acquisition practices emerging alongside generative AI. The study categorizes the historical evolution of knowledge culture into four distinct phases: the culture of memorization, the culture of sources, the culture of search, and the culture of inquiry. It posits that generative AI has transitioned information access from a document-centric paradigm to a dialogue-centric one. Employing a qualitative research design, the study is based on in-depth interviews to be conducted with generative AI users across diverse age, education, and occupational demographics. Through these interviews, the transformation in users' practices regarding the access, verification, learning, and retention of information is analyzed. The research is expected to demonstrate that generative AI is not merely a technology facilitating information access, but a communicative medium that fundamentally reshapes knowledge culture. Furthermore, the proposed conceptualization of the "culture of inquiry" aims to contribute a novel analytical perspective to new media studies.
Keywords: Generative AI, culture of inquiry, knowledge culture, new media, digital memory.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

POSITIONING SOCIAL TRANSCRIPTS AND MICRO-CREDENTIALS WITHIN UNIVERSITY LEARNING ECOSYSTEMS

Assoc. Prof. Pınar AYYILDIZ
Yüksek İhtisas University
ORCID: 0000-0002-2644-7981

ABSTRACT

As universities recognize learning beyond conventional courses and degree structures, social transcripts and micro-credentials are becoming two related yet conceptually distinct instruments of learner recognition. This discussion paper scrutinizes their intersections and boundaries asking what mission university Continuing Education Centers and Teaching and Learning Centers should assume within this dynamic process.

Both mechanisms act beyond the conventional academic transcript highlighting learner agency, supporting lifelong learning and rendering relatively less visible experiences and competencies more visible. That said, they should not be treated interchangeably. Social transcripts primarily document students' broader participation and development through social, cultural, civic, professional, leadership, volunteering and co/extra/curricular experiences. Micro-credentials represent smaller, deliberately designated units of learning associated with explicit outcomes, assessment, evidence of achievement and quality assurance. Thusly, whilst a social transcript answers: "What has the learner meaningfully engaged in?", a micro-credential asks: "What demonstrable learning has been achieved according to what criteria?"

The study proposes a complementary organizational framework too. Teaching and Learning Centers should assume academic stewardship via developing learning outcomes, assessment principles, recognition criteria, pedagogical standards and evidence-based quality mechanisms. Continuing Education Centers can function as flexible implementation interfaces connecting academic expertise with outer learners, professions, communities and changing skills needs. Their intersection should constitute an organizational learning-recognition ecosystem in which participation, learning, competence and evidence are differentiated and connected. This entails transparent governance, digitally verifiable records, stakeholder engagement and mechanisms safeguarding credibility and portability, which necessitate sustained collaboration/cooperation across academic, administrative, professional and community members.

The research ultimately argues universities should move beyond issuing certificates or recording activities toward designing coherent pathways through which diverse learning experiences turn into visible, assessable, portable, stackable and meaningful.

Keywords: Social transcript, micro-credentials, university

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

RESTORASYON MÜDAHALELERİNİN TARİHÎ MİNARELERİN OKUNABİLİRLİĞİNE ETKİSİ: GELENDOST AFŞAR CAMİİ ÖRNEĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KURUL
Süleyman Demirel Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Tarihi ve Sanatları Bölümü
ORCID: 0009-0000-6549-1777

Halil ERSOY
Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İslam Tarihi ve Sanatları Bölümü
ORCID: 0000-0000-0000-0000

ÖZET
Tarihî yapılarda yapılan restorasyonlar, yapının fiziksel bütünlüğünün korunmasına katkı sağlarken, farklı dönemlere ait özgün unsurlarla sonraki müdahalelerin birbirinden ayırt edilmesini de güçleştirebilir. Bu durum, özellikle yapım tekniği, malzeme ve biçim özellikleri üzerinden değerlendirilen minarelerde daha belirgin hâle gelir. Bu çalışma, Isparta'nın Gelendost ilçesine bağlı Afşar Köyü'nde bulunan Afşar Camii minaresini, 2014–2015 yıllarında gerçekleştirilen restorasyon sonrasında özgün yapı dokusunun ayırt edilmesi ve özgünlük açısından ele almaktadır. İncelemede minarenin kesme taş kaidesi, kaide ile gövde arasındaki geçiş bölümü, silindirik tuğla gövdesi, şerefe altındaki mukarnas düzeni ve üst bölümleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yerinde yapılan gözlemler ve fotoğrafik belgeleme, malzeme, yüzey ve yapım tekniğindeki farklılıkların özgün yapı dokusu ile sonraki müdahalelerin ayırt edilmesindeki önemini ortaya koymaktadır. Afşar minaresine ilişkin bulgular, restorasyon geçmişi bilinen bazı Anadolu minareleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu karşılaştırma, benzer biçim ve yapım tekniklerinin farklı dönemlerde de kullanılmaya devam etmesi nedeniyle, biçimsel özelliklerin tek başına kesin bir tarihlendirme için yeterli olmadığını göstermektedir. İnceleme, taş kaide ve tuğla gövdeden oluşan ana kuruluşun minarenin tarihî karakterini anlamada önemli veriler sunduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık şerefe ve üst bölümlerin bugünkü görünümü, restorasyon müdahaleleri dikkate alınmadan doğrudan tarihsel bir veri olarak değerlendirilemez. Bu nedenle restorasyon görmüş tarihî minarelerin incelenmesinde biçim, malzeme, yapım tekniği ve müdahale izlerinin birlikte ele alınması daha güvenilir değerlendirmeler yapılmasına imkân sağlar.
Anahtar Kelimeler: Afşar Camii, minare, restorasyon, özgünlük, özgün yapı dokusu, Gelendost.

THE IMPACT OF RESTORATION INTERVENTIONS ON THE LEGIBILITY OF HISTORIC MINARETS: THE CASE OF THE GELENDOST AFŞAR MOSQUE

ABSTRACT
Restoration work on historic buildings can preserve their physical integrity, but it may also make it more difficult to distinguish original elements from later interventions. This issue is particularly important in the study of minarets, which are often evaluated through their materials, construction techniques, and formal characteristics. This study examines the minaret of the Afşar Mosque in Afşar Village, Gelendost, Isparta, with particular attention to the identification of its original fabric following the restoration carried out in 2014–2015. The analysis focuses on the cut-stone base, the transition between the base and the shaft, the cylindrical brick shaft, the muqarnas arrangement beneath the balcony, and the upper sections of the structure.

Field observations and photographic documentation are used to assess how differences in material, surface treatment, and construction technique help distinguish original fabric from later interventions. The Afşar minaret is also compared with selected Anatolian minarets whose restoration histories are known. The comparison shows that similar forms and construction techniques could remain in use across different periods, making formal features alone insufficient for precise dating. While the stone base and brick shaft provide important evidence for understanding the historic character of the minaret, the present appearance of the balcony and upper sections cannot be treated as direct historical evidence without considering later restoration work. A reliable assessment therefore requires form, material, construction technique, and traces of intervention to be examined together.
Keywords: Afşar Mosque, minaret, restoration, authenticity, original fabric, Gelendost

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

DEMOKRATİKLEŞEN GRAFİK TASARIMDA MASAÜSTÜ YAYINCILIKTAN YAPAY ZEKAYA HATA ÖRÜNTÜLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Aydan ERARSLAN TURHAN
Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Grafik Sanatlar Bölümü
ORCID: 0000-0002-5985-9931

ÖZET
Grafik tasarımın masaüstü yayıncılık araçlarıyla demokratikleşmesi, alana profesyonel eğitim almamış kullanıcıların girişini kolaylaştırırken beraberinde tipografik ve kompozisyonel hatalar getirmiştir. Daha önce dizgi ve sayfa düzeni gibi uzmanlık gerektiren işler, kişisel bilgisayarı olan herkesin erişimine açılmış; bu erişim kolaylığı alana yeni bir enerji katarken, görsel hiyerarşi ve tipografi ilkelerine dair sezgisel bilgiden yoksun kullanıcıların ürettiği tanıdık hata örüntülerini de beraberinde getirmiştir. Bu bildiri, söz konusu tartışmayı günümüzün yapay zekâ destekli tasarım araçları (üretken görsel modeller, otomatik düzenleme ve tasarım asistanları vb.) bağlamında kavramsal olarak yeniden ele almaktadır.
Çalışmanın amacı, masaüstü yayıncılık döneminde saptanan hata örüntüleri ile yapay zekâ destekli araçların teşvik ettiği düşünülen yeni hata biçimleri arasındaki olası benzerlik ve farklılıkları tartışmaya açmaktır. Bu iki dönem arasındaki temel fark, karar verme sürecinin konumundadır: masaüstü yayıncılıkta kullanıcı hâlâ yazı tipini seçip boşluğu kendi eliyle düzenlerken, yapay zekâ araçlarında bu kararların büyük bölümü kullanıcının görmediği bir modele devredilmektedir. Çalışma, iki dönem arasında süreklilik gösterebilecek hatalarla (tipografik hiyerarşi eksikliği, orantısız boşluk kullanımı vb.) birlikte yapay zekâya özgü olabilecek yeni hata türlerini de (tutarsız stil birleşimleri, anlam-görsel uyumsuzluğu, üslup taklidi kaynaklı özgünlük kaybı) birkaç örnek görsel üzerinden tartışmaktadır. Nitel bir örneklem analizinden ziyade, bu örnekler tartışmayı somutlaştırmak amacıyla seçilmiş sınırlı sayıda göstergedir.
Çalışma, grafik tasarım eğitiminde eleştirel görsel okuryazarlığın, araçların demokratikleştirdiği her yeni dönemde yeniden tanımlanması gerektiğini öne sürmekte; öğrencilere yalnızca aracı kullanmayı değil, ürettiği çıktıyı sorgulamayı öğretecek bir yaklaşımın önemine dikkat çekmektedir.
Anahtar Kelimeler: Grafik tasarım, yapay zekâ, masaüstü yayıncılık, tasarım hataları, görsel okuryazarlık

DEMOCRATIZING GRAPHIC DESIGN: ERROR PATTERNS FROM DESKTOP PUBLISHING TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE

ABSTRACT
The democratization of graphic design through desktop publishing tools eased entry into the field for users without professional training, but it also introduced characteristic typographic and compositional errors. Tasks once requiring specialized expertise, typesetting and page layout, became accessible to anyone with a personal computer; while this accessibility brought new energy to the field, it also produced a familiar pattern of errors among users who lacked an intuitive grasp of visual hierarchy and typographic principles. This paper conceptually revisits that discussion within the context of today's AI-assisted design tools (generative visual models, automated editing and design assistants, etc.).
The study aims to open for discussion the possible similarities and differences between the error patterns identified during the desktop publishing era and the new error forms thought to be encouraged by AI-assisted tools.

The key difference between these two periods lies in where decision-making resides: in desktop publishing, the user still selected typefaces and arranged whitespace by hand, whereas with AI tools, much of this decision-making is delegated to a model the user never sees. The study discusses, through a small number of illustrative examples, both errors that may show continuity across the two periods (lack of typographic hierarchy, disproportionate use of whitespace, etc.) and error types that may be specific to AI (inconsistent stylistic combinations, form-meaning mismatch, loss of originality resulting from stylistic imitation). Rather than a qualitative sample analysis, these examples are a limited set of indicators selected to ground the discussion in concrete terms.

The study argues that critical visual literacy in graphic design education needs to be redefined with each new wave of democratization brought about by emerging tools, and draws attention to the importance of an educational approach that teaches students not only how to use a tool, but how to question the output it produces.

Keywords: Graphic design, artificial intelligence, desktop publishing, design errors, visual literacy.

JAPONYA'DA YAŞ ALMANIN DAYANILMAZ CAZİBESİ: PLAN 75 FİLMİ VE REKLAMA ÇIKAN ÖTANAZİ HAKKI

Doç. Dr. Remziye KÖSE ÖZELÇİ
İstanbul Kültür Üniversitesi Sanat ve Tasarım Fak. RTS Bölümü
ORCID: 0000-0001-5965-6176

ÖZET

"Her insanın doğuştan gelen yaşama hakkı vardır. Bu hak yasalarla korunacaktır. Hiç kimsenin yaşamı keyfi olarak elinden alınamaz." Öte yandan yaşama hakkına karşılık son yıllarda bazı ülkelerde kabul gören ve uygulanan ölme hakkı yani ötanazi de tartışmalı da olsa yer almaktadır. Ötanazi, iyileşme umudu olmayan hastaların bedensel veya ruhsal, sürekli veya dayanılmaz olan acılarının göreceli olarak kolay, ağrısız ve acısız biçimde dindirilerek, yaşamının sonlandırılması veya ölümlerine izin verilmesidir.

"Japonya'da Yaş Almanın Dayanılmaz Cazibesi: Plan 75 Filmi ve Reklama Çıkan Ötanazi Hakkı" başlıklı çalışmada temel olarak şu sorunun yanıtı aranacaktır: Ölme isteği zorunlu mudur yoksa özgür iradeyle alınan bir karar mıdır? Ya da bedensel ve ruhsal olarak acı çekmediğimiz, yaşamı çok sevdiğimiz halde neden ölmeye rıza gösteririz?

"İnsanların doğup doğmayacağını seçme hakkı yok, ama ölme zamanını insanlar kendileri seçebilseydi, nasıl ölmek istediğimi kendim seçebilseydim; Plan 75, 75 yaş ve üzeri herkes için ücretsiz olarak mevcuttur."

Yönetmenliğini Chie Hayakawa'nın yaptığı 2022 yapımı Plan 75 (Puran 75) filmi yukarıda yer verilen ve Japon Hükümeti tarafından 75 yaş ve üzeri vatandaşları için özel olarak hazırlanmış kamu spotundan bir iletinin sunulduğu görüntüyle başlar. Özellikle yaşlı nüfusun olabileceği varsayılan birçok yerde yayınlanan kamu spotuyla ve tanıtım standlarıyla hedeflenen ise, 75 yaş ve üzeri bireyleri ötanazi programına katılmaya teşvik etmektir.

Vatandaşlarının yaşam haklarını ve en temel gereksinimlerini (sağlık, barınma, beslenme, iş…) sağlamakla yükümlü olan devlet organlarının, özellikle yaşlılara yönelik politikalarının birey üzerindeki etkisi "Plan 75" filminin ana ve yan karakterleri üzerinden analiz edilecektir. aynı zamanda ötanazi sonucu ölen vatandaşların bedeni de, başta kozmetik olmak üzere ilaç endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu ise bir başka tartışmayı beraberinde getirir. Diri ya da ölü olarak haklarımızın kontrolü ve kullanımı kime aittir?

Anahtar kelimeler: İnsan hakları, yaşam hakkı, ötanazi, yaşlılık, sinema

THE UNBEARABLE ALLURE OF AGING IN JAPAN: PLAN 75 AND THE ADVERTISED RIGHT TO EUTHANASIA

ABSTRACT

Every human being has the inherent right to life. This right shall be protected by law. No one shall be arbitrarily deprived of their life. On the other hand, alongside the right to life, the right to die—that is, euthanasia—which has been recognized and practiced in some countries in recent years, has also become part of the debate, despite its controversial nature. Euthanasia may be defined as the termination of the life of patients who have no prospect of recovery, or as allowing them to die, by relieving their physical or psychological suffering that is persistent or unbearable in a relatively easy, painless, and distress-free manner.

The study entitled "The Unbearable Allure of Aging in Japan: Plan 75 and the Advertised Right to Euthanasia" will primarily seek to answer the following question: Is the desire to die a necessity, or is it a decision made through free will?

Alternatively, why do we consent to death even when we are not suffering physically or psychologically and still have a strong attachment to life?

“People have no right to choose whether or not they are born, but what if they could choose the time of their own death? What if I could decide for myself how I wanted to die? Plan 75 is available free of charge to everyone aged 75 and over.”

Directed by Chie Hayakawa, the 2022 film Plan 75 (Puran 75) opens with the above-mentioned message presented as part of a public service announcement specially prepared by the Japanese government for citizens aged 75 and over. Broadcast particularly in places assumed to be frequented by elderly people and accompanied by promotional stands, the campaign aims to encourage individuals aged 75 and over to participate in the euthanasia program.

The impact on individuals of state policies—particularly those targeting the elderly—will be analyzed through the main and supporting characters of Plan 75. State authorities are under an obligation to protect their citizens’ right to life and to ensure access to their most basic needs, including healthcare, housing, nutrition, and employment. Against this background, the film raises questions about the consequences of policies that, rather than safeguarding the lives and well-being of older citizens, may encourage them to choose death.

At the same time, the bodies of citizens who die as a result of euthanasia are used in the pharmaceutical industry, particularly in the cosmetics sector. This raises yet another controversial question: Who has the authority to control and exercise our rights over our bodies, whether we are alive or dead?

Keywords: Human rights, right to life, euthanasia, old age, cinema.

KÜRESEL DENİZ TAŞIMACILIĞI VE ENERJİ PİYASALARI İLE TÜRKİYE ULAŞTIRMA SEKTÖRÜ ARASINDAKİ DİNAMİK OYNAKLIK BAĞIMLILIĞI

Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖNDES
Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü
ORCID: 0000-0002-0618-7705

ÖZET
Küresel deniz taşımacılığı ve enerji piyasaları, uluslararası ticaret ve taşımacılık maliyetleri üzerinde merkezi bir rol oynarken, bu piyasalardan kaynaklanan şoklar taşımacılık şirketlerinin finansal performansına da yansıyabilmektedir. Ancak, özellikle piyasa belirsizliğinin arttığı ve olumsuz şokların yaşandığı dönemlerde, bu ilişkilerin zaman içinde sabit kalması beklenmemektedir. Bu doğrultuda çalışma; Baltık Kuru Yük İndeksi (BDI), Brent ham petrol fiyatları ve BIST Ulaştırma Endeksi (XULAS) verilerini kullanarak küresel deniz taşımacılığı koşulları, enerji piyasaları ve Türkiye ulaştırma sektörü arasındaki dinamik oynaklık bağımlılığını incelemektedir. 2015–2026 dönemine ait günlük veriler kullanılarak, zamanla değişen bağımlılığı ve piyasa şoklarına verilen asimetrik tepkileri belirlemek amacıyla Asimetrik Dinamik Koşullu Korelasyon GARCH (ADCC-GARCH) modeli uygulanmıştır. Sonuçlar, yeni şokların kısa vadede koşullu korelasyonları anlamlı biçimde etkilediğini ve piyasa bağımlılığındaki değişimlerin güçlü bir kalıcılık sergilediğini göstermektedir. Ortalama koşullu korelasyonlar genel olarak zayıf olsa da, bunların gücü ve bazı dönemlerde yönü zaman içinde önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. BDI–XULAS hafif negatif bir ortalama korelasyon sergilerken, Brent–XULAS ve BDI–Brent zayıf pozitif ortalama korelasyonlar göstermektedir. Ayrıca, %10 düzeyinde anlamlı olan pozitif asimetri parametresi, negatif şokların piyasalar arasındaki bağımlılık yapısını diğer piyasa hareketlerinden farklı biçimde etkileyebileceğine işaret etmektedir. Standart DCC-GARCH modeli de büyük ölçüde benzer sonuçlar vererek temel bulguların sağlamlığını desteklemektedir. Genel olarak elde edilen bulgular, zayıf ortalama korelasyonların piyasalar arasındaki ilişkilerde zaman içinde ortaya çıkan önemli değişimleri gizleyebileceğini göstermektedir. Bu bulgular; portföy riskini, sektörel riski ve dışsal piyasa şoklarının Türkiye ulaştırma sektörüyle olan dinamik ilişkisini değerlendiren yatırımcılar, taşımacılık firmaları ve politika yapıcılar için önemli çıkarımlar sunmaktadır.
Anahtar kelimeler: Baltık Kuru Yük İndeksi, BIST Ulaşım İndeksi, Brent Ham Petrolü,Volatilite, ADCC-GARCH
Jel Kodları: C32, G11, G15

THE DYNAMIC VOLATILITY DEPENDENCE BETWEEN GLOBAL MARITIME TRANSPORT AND ENERGY MARKETS AND THE TURKISH TRANSPORTATION SECTOR

ABSTRACT
While global maritime transport and energy markets play a central role in international trade and transportation costs, shocks originating from these markets can also impact the financial performance of transport companies. However, these relationships are not expected to remain constant over time, particularly during periods of heightened market uncertainty and adverse shocks. Accordingly, this study examines the dynamic volatility interdependence among global maritime transport conditions, energy markets, and the Turkish transport sector using data from the Baltic Dry Index (BDI), Brent crude oil prices, and the BIST Transportation Index (XULAS).

Utilizing daily data from the 2015–2026 period, the Asymmetric Dynamic Conditional Correlation GARCH (ADCC-GARCH) model was applied to identify time-varying interdependence and asymmetric responses to market shocks. The results indicate that new shocks significantly affect conditional correlations in the short term and that changes in market interdependence exhibit strong persistence. Although average conditional correlations are generally weak, their strength and in some periods, their direction varies significantly over time. While the BDI–XULAS pair exhibits a slightly negative average correlation, the Brent–XULAS and BDI–Brent pairs show weak positive average correlations. Furthermore, the positive asymmetry parameter significant at the 10% level suggests that negative shocks can influence the interdependence structure between markets differently than other market movements. The standard DCC-GARCH model also yields largely similar results, reinforcing the robustness of the core findings. Overall, the results indicate that low average correlations can mask significant time-varying changes in the relationships between markets. These findings offer important implications for investors, transportation companies, and policymakers assessing portfolio risk, sectoral risk, and the dynamic relationship between external market shocks and the Turkish transportation sector.
Keywords: Baltic Dry Index, BIST Transportation Index, Brent Crude Oil, Volatility, ADCC-GARCH
Jel Codes: C32, G11, G15

GİRİŞ

Deniz taşımacılığı ve enerji piyasaları, küresel ekonomik sistemin birbirine yakından bağlı iki bileşenini oluşturmaktadır. Deniz taşımacılığı, uluslararası ticareti yapılan malların önemli bir bölümünü taşırken, enerji fiyatları doğrudan ulaşım maliyetlerini, üretim kararlarını, ticaret akışlarını ve şirket kârlılığını etkiler. Dolayısıyla, navlun ve enerji piyasalarındaki dalgalanmalar, özellikle işletme maliyetleri ve gelirleri ulaşım faaliyetleriyle yakından bağlantılı olan sektörler üzerinden finansal piyasalara bilgi ve belirsizlik aktarabilir. Ancak deniz taşımacılığı ve enerji piyasaları ile ulaştırma sektörünün finansal performansı arasındaki bu ilişkilerin zaman içinde sabit kalması olası değildir. Küresel durgunluklar, tedarik zinciri aksamaları, enerji fiyat şokları, jeopolitik gerilimler ve artan finansal belirsizlik dönemleri, piyasalar arası bağlantıların hem büyüklüğünü hem de yönünü değiştirebilir. Bu açıdan bakıldığında, yalnızca ortalama veya statik korelasyonları incelemek, piyasa bağımlılığındaki ekonomik açıdan önemli değişiklikleri gizleyebilir.

Baltık Kuru Yük Endeksi (BDI), bu etkileşimleri incelemek adına bilhassa yararlı bir gösterge sunmaktadır. Başlıca kuru dökme yüklerinin taşınmasıyla ilişkili bir navlun endeksi olan BDI; küresel deniz taşımacılığı talebi ve gemi arzındaki değişen koşulları yansıtmaktadır. Endeksin döngüsel yapısı ve yüksek oynaklığı, onu yalnızca denizcilik ekonomisi açısından değil, aynı zamanda finansal piyasa analizleri ve ekonomik öngörüler açısından da önemli kılmaktadır. Örneğin Papailias v.d. (2017:264), BDI'daki belirgin döngüsel özellikleri ortaya koyarak endeksin öngörü ve riskten korunma (hedging) kararları açısından önemini vurgularken; Katris ve Kavussanos (2021:1551), kuru dökme yük navlun piyasasının kayda değer oynaklığına ve konjonktürel özelliklerine dikkat çekmektedir. Finansal piyasa etkileşimleri açısından daha da önemlisi, Lin v.d. (2019:274), BDI ile ilişkili yayılma etkilerinin zamana göre değişkenlik gösterdiğini ve ekonomik ya da finansal stres dönemlerinde daha belirgin hale gelebildiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, denizcilik navlun piyasalarında barınan bilgilerin, bizzat denizcilik sektörünün ötesine uzanan sonuçlar doğurabileceğine işaret etmektedir.

Enerji piyasaları, küresel koşulların ulaşımla ilgili finansal varlıkları etkileyebileceği bir diğer temel kanalı oluşturmaktadır. Ham petrol, ulaştırma ve lojistik faaliyetleri için önemli bir girdi niteliğindedir; bu da petrol fiyatlarındaki dalgalanmaların işletme maliyetlerini, kâr marjlarını, beklentileri ve nihayetinde ulaşım şirketlerinin değerlemesini etkileyebileceği anlamına gelir. Aynı zamanda petrol fiyatları da küresel talep koşulları, arz kesintileri, jeopolitik gelişmeler ve finansal piyasa beklentilerinden etkilenmektedir. Dolayısıyla, deniz taşımacılığı navlun piyasaları ile ham petrol piyasaları arasındaki ilişki potansiyel olarak çok yönlüdür ve piyasa koşullarına bağlılık gösterir. Mevcut bulgular, bu piyasalar arasında karmaşık etkileşimlerin varlığını desteklemektedir. Örneğin Ruan v.d. (2016:282), BDI ile ham petrol fiyatları arasında kalıcı ve çok fraktallı (multifraktal) çapraz korelasyonlar tespit etmiş ve bu ilişkinin basit ve sabit bir korelasyonla yeterince açıklanamayacağını öne sürmüşlerdir. Daha yakın tarihli bir çalışmada ise Nguyen v.d. (2026:15), BDI ile petrol fiyatları arasında hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkiler olduğuna dair kanıtlar sunarak, deniz taşımacılığı ile enerji sektörü arasındaki bağlantının piyasa koşullarına göre değişebileceği tezini güçlendirmişlerdir.

Bu küresel bağlantılar, özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan bir hisse senedi piyasası perspektifinden değerlendirildiğinde büyük önem taşımaktadır. Ulaştırma şirketleri; yurt içi finansal koşulların yanı sıra yakıt maliyetleri, navlun piyasaları, ticaret faaliyetleri ve küresel risk algısına ilişkin uluslararası gelişmelerden eş zamanlı olarak etkilenmektedir. Bu nedenle BIST Ulaştırma Endeksi (XULAS), küresel denizcilik ve enerji piyasası verilerinin Türk ulaştırma sektörüne nasıl yansıdığını incelemek adına uygun, piyasa temelli bir gösterge sunmaktadır. Mevcut bulgular, uluslararası petrol fiyatları ile Borsa İstanbul sektör endekslerinin birbiriyle bağlantılı olduğuna işaret etmektedir. Çağlı v.d. (2014:59), günlük verileri ve sektörel bir çerçeveyi kullanarak, ham petrol fiyatları ile ulaştırma dahil olmak üzere çeşitli Borsa İstanbul sektör endeksleri arasındaki etkileşimleri ortaya koymuştur. Bununla birlikte, bir ilişkinin varlığı, söz konusu ilişkinin gücünün veya yönünün istikrarlı olduğu anlamına gelmemektedir. Özellikle, zayıf bir örneklem korelasyonu, belirli dönemlerde ortaya çıkan daha güçlü bağımlılıkları gizleyebilir.

Deniz taşımacılığı, enerji ve ulaştırma sektörü hisse senetleri yalnızca ikili ilişkiler çerçevesinde değil, bir bütün olarak ele alındığında bu konu daha da önem kazanmaktadır. BDI küresel kuru dökme yük deniz taşımacılığı koşullarını, Brent ham petrolü küresel enerji piyasası dinamiklerini, XULAS ise Türk ulaştırma sektörünün piyasa değerlemesini yansıtmaktadır. Dolayısıyla bu serilerin her biri, daha geniş kapsamlı bir ekonomik aktarım mekanizmasının kendine özgü bir bileşenini temsil eder. Küresel ticaret koşullarındaki değişimler taşımacılık piyasalarını ve enerji talebini etkileyebilir; enerji fiyatı şokları ulaştırma maliyetleri ile beklentileri değiştirebilir ve her iki kanalın etkileri nihayetinde ulaştırma sektörü hisse senedi getirilerine yansıyabilir. Nitekim BDI üzerine yapılan önceki araştırmalar, endeksin finansal piyasalara yayılma etkilerinin genel örneklemde nispeten sınırlı kalabildiğini, buna karşın piyasa stresinin yaşandığı dönemlerde önemli ölçüde arttığını göstermektedir (Abakah v.d, 2024:19). Bu tür bulgular, ortalama bağımlılık ile zamana göre değişen bağımlılık arasındaki ayrımı ekonomik açıdan anlamlı kılmaktadır.

Ekonometrik olarak, yukarıda bahsedilen ilişkiler koşullu varyansları ve korelasyonları eş zamanlı olarak modelleyebilen bir çerçeve gerektirmektedir. Engle'ın (2002) Dinamik Koşullu Korelasyon (DCC) modeli, bireysel koşullu oynaklık süreçlerinin zaman içinde gelişen korelasyonlarla birleştirildiği, az sayıda parametreyle tahmin edilebilen GARCH çerçevesi sunmaktadır. Bununla birlikte, finans piyasası tepkilerinin simetrik olması gerekmemektedir. Olumsuz piyasa yenilikleri, benzer büyüklükteki olumlu yeniliklerden farklı olarak piyasalar arası bağımlılığı değiştirebilir.

Cappiello vd. (2006), koşullu korelasyonlarda asimetrik tepkilere izin vererek dinamik korelasyon çerçevesini genişletmekte ve asimetrik DCC çerçevesini, olumsuz yeniliklerin farklı bir bağımlılık yapısı oluşturup oluşturmadığını test etmek için özellikle uygun hale getirmektedir. Bu ayrım, mevcut bağlamda önemlidir çünkü piyasa bozulma dönemleri yalnızca bireysel piyasa oynaklığını artırmakla kalmayabilir; aynı zamanda denizcilik, enerji ve ulaşım-hisse senedi piyasalarının birlikte hareket etme biçimini de değiştirebilmektedir.

Çalışma, Baltık Kuru Yük Endeksi, Brent ham petrol fiyatları ve BIST Ulaştırma Endeksi'ne ilişkin günlük gözlemler kullanarak küresel deniz taşımacılığı ve enerji piyasaları ile Türk ulaştırma sektörü arasındaki dinamik oynaklık bağımlılığını araştırmaktadır. Ampirik analiz, Ocak 2015 ile Mart 2026 arasındaki döneme odaklanarak, belirgin şekilde farklı küresel piyasa ortamlarını kapsamaktadır. Çalışma, sabit piyasalar arası ilişkiler dayatmak yerine, zamanla değişen koşullu korelasyonları tahmin etmek ve olumsuz yeniliklerin bağımlılıkta asimetrik değişikliklere yol açıp açmadığını incelemek için Asimetrik Dinamik Koşullu Korelasyon (ADCC-GARCH) çerçevesini kullanmaktadır. Ayrıca, sağlamlık ölçütü olarak standart bir DCC spesifikasyonu da dikkate alınmıştır. Bu yaklaşım, kalıcı dinamik bağımlılığı, olumsuz piyasa yeniliklerine verilen özel asimetrik tepkilerden ayırt etmeyi mümkün kılmaktadır.

Araştırma, literatüre üç açıdan katkıda bulunmaktadır. Birincisi, küresel kuru yük taşımacılığı koşullarını, enerji piyasası hareketlerini ve Türk taşımacılık sektörünü çok değişkenli bir oynaklık çerçevesinde birlikte incelemektedir. İkincisi, ortalama ilişkiler yerine zamana bağlı koşullu bağımlılığa odaklanarak, piyasa eş hareketlerinin gücündeki ve yönündeki değişikliklerin yakalanmasına olanak sağlamaktadır. Üçüncüsü, asimetrik spesifikasyon, olumsuz yeniliklerin farklı bağımlılık dinamikleri yaratıp yaratmadığını incelemektedir. Bu katkılar, uluslararası şok iletimini, sektörel riski ve portföy çeşitlendirmesini anlamak için çıkarımlar sağlamaktadır.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır: Bir sonraki bölümde kavramsal altyapı oluşturulmakta ve ilgili ampirik literatür gözden geçirilmektedir. Bunu takip eden bölümde veriler tanımlanmakta ve ekonometrik yöntem sunulmaktadır. Ardından, tahmin edilen dinamik koşullu korelasyonlar ve sağlamlık analizini de içeren ampirik bulgulara yer verilmektedir. Son bölümde ise temel sonuçlar özetlenmekte ve bunların ekonomik ve finansal yansımaları ele alınmaktadır.

TEORİK ÇERÇEVE VE LİTERATÜR TARAMASI

Deniz yolu yük taşımacılığı koşulları, enerji fiyatları ve ulaştırma sektörü hisse senedi getirileri arasındaki teorik ilişki, temel olarak ulaştırmada türetilmiş talep teorisine dayandırılabilir. Nihai mal ve hizmetlerin aksine, ulaştırma hizmetlerine genellikle bizatihi kendileri için talep gösterilmez; bunun yerine ulaştırma talebi, üretim, ara girdiler ve nihai tüketim arasındaki mekânsal ayrılıktan kaynaklanır. Dolayısıyla yük taşımacılığı, talebi ekonomik faaliyetin düzeyinden ve yapısından türetilen üretken bir girdidir. Friedlaender ve Spady (1980:438), yük taşımacılığı talebini firmaların maliyet minimizasyonu davranışından türetip ulaştırmayı üretim sürecinde bir girdi olarak ele alarak bu argümanı formüle etmişlerdir. Söz konusu çerçeve ayrıca ulaştırmanın ekonomik maliyetinin yalnızca nakliye ücretlerinden değil, aynı zamanda envanter ve sevkiyatla ilgili maliyetlerden de oluştuğunu vurgulamaktadır. Buna bağlı olarak üretim, ticaret, girdi gereksinimleri ve ulaştırma maliyetlerindeki değişimler, yük taşımacılığı hizmetlerine olan talebi birlikte değiştirebilir.

Türetilmiş talep çerçevesi, Baltık Kuru Yük Endeksi (BDI) için doğrudan bir teorik temel oluşturur. Uluslararası ticarete konu olan hammadde ve ara malların üreticilerden kullanıcılara fiziksel olarak taşınması gerektiğinden, kuru yük taşımacılığına ihtiyaç duyulur.

Dolayısıyla, sanayi üretimindeki ve emtia talebindeki bir artış, taşımacılık hizmetlerine olan talebi yükseltir. Gemi kapasitesi anında ayarlanamadığından, taşımacılık talebindeki değişimler navlun fiyatlarında önemli hareketlenmelere yol açabilir. Sonuç olarak BDI, kuru yük taşımacılığına yönelik türetilmiş talep ile mevcut gemi kapasitesi arzı arasındaki etkileşimden doğan, gözlemlenebilir bir piyasa çıktısı olarak yorumlanabilir. Bu yorum, küresel ekonomik koşullar değiştiğinde kuru yük navlun, emtia ve enerji piyasaları arasındaki bağımlılığın belirgin şekilde değiştiğini gösteren ampirik bulgularla da tutarlıdır (Chen v.d., 2023).

BDI hareketlerinin ekonomik açıdan yorumlanmasında, söz konusu değişimin kaynağı önem taşımaktadır. BDI'daki bir değişim, her zaman izole bir denizcilik piyasası şokunu ifade etmez. Navlun oranlarındaki bir artış, daha güçlü küresel üretim ve emtia talebinden kaynaklanabilir; bu durumda söz konusu artış, genişleyen reel ekonomik faaliyete dair bilgiler içerir. Aynı artış, gemi kapasitesine getirilen kısıtlamalardan veya deniz taşımacılığındaki aksamalardan da kaynaklanabilir. İlk durumda, yükselen navlun oranları üretim, ticaret ve taşımacılık faaliyetlerine ilişkin iyileşen beklentilerle bir arada görülebilir; ikinci durumda ise daha yüksek navlun oranları öncelikle ilave nakliye maliyetlerini temsil eder. Sonuç olarak, BDI hareketlerinin barındırdığı ekonomik bilgi, söz konusu şokun kaynağına bağlıdır. Bu durum, deniz taşımacılığı navlun koşulları ile finansal piyasa değişkenleri arasındaki ilişkinin zaman içinde sabit kalmak zorunda olmayışına teorik bir gerekçe oluşturur.

Enerji, aynı maliyet minimizasyonu çerçevesi içinde diğer bir üretim girdisini oluşturmaktadır. Ulaştırma faaliyetleri özellikle yoğun enerji kullanımı gerektirdiğinden, petrol bazlı yakıtlar bu faaliyetlerin işletme maliyetlerinde önemli bir yer tutar. Dolayısıyla, ham petrol fiyatlarındaki bir artış marjinal işletme maliyetlerini yükseltebilir, beklenen kâr marjları ile nakit akışlarını azaltabilir ve nihayetinde ulaştırma şirketlerinin değerlemesini etkileyebilir. Uluslararası bulgular, petrol fiyatlarının ulaştırma sektörü hisse senedi getirileri üzerinde açıklayıcı bir güce sahip olduğunu ve petrol fiyatlarına duyarlılığın asimetrik olabileceğini doğrulamaktadır (Nandha & Brooks, 2009). 38 ülkeyi kapsayan ulaştırma sektörü getirilerine ilişkin analizler, özellikle gelişmiş Avrupa ülkeleri ve G7 ekonomilerinde petrol fiyatlarının önemli bir rol oynadığını ve petrol fiyatlarına yönelik asimetrik bir duyarlılığın söz konusu olduğunu ortaya koymaktadır.

Türetilmiş talep mekanizması, petrol fiyatları ile ulaştırma sektörü hisse senedi getirileri arasındaki ilişkinin her zaman negatif olmak zorunda olmadığını da ortaya koymaktadır. Brent petrol fiyatlarındaki artış küresel ekonomik aktivitenin güçlenmesinden kaynaklanıyorsa, yükselen enerji fiyatları üretim, ticaret ve ulaştırma talebindeki artışla aynı zamana denk gelebilir. Bu nedenle, daha yüksek ulaştırma gelirleri, artan yakıt maliyetlerini kısmen dengeleyebilir. Buna karşılık, olumsuz bir petrol arz şoku, ulaştırma talebinde karşılık gelen bir artış yaratmadan işletme maliyetlerini artırabilir. Dolayısıyla, ulaştırma sektörü hisse senetleri aynı anda hem maliyet kanalına hem de talep kanalına maruz kalır ve bunların göreceli önemi petrol fiyat şokunun kaynağına bağlıdır (Aggarwal vd., 2012).

Deniz taşımacılığı ve enerji piyasaları arasındaki ilişki de ortak talep dinamikleri çerçevesinde açıklanabilir. Küresel üretimin artması, hem deniz taşımacılığı gerektiren ham madde talebini hem de enerji talebini artırarak BDI ve Brent arasında ortak bir talep kanalı oluşturur. Bununla birlikte, petrol arzındaki şoklar ve deniz taşımacılığı sektörüne özgü kısıtlamalar iki piyasayı bağımsız olarak etkileyebilir. Nitekim Padhan vd. (2024), ekonomik aktivitenin ve BDI'nin petrol fiyatlarının önemli itici güçleri olduğunu ve daha da önemlisi, bu etkilerin zamanla değiştiğini ve piyasa koşullarının en düşük seviyelerinde daha güçlü hâle geldiğini göstermektedir.

Deniz taşımacılığı talebindeki ve enerji fiyatlarındaki değişimler; beklenen gelirler, işletme maliyetleri, kârlılık ve risk üzerindeki etkileri aracılığıyla nihayetinde ulaştırma sektörü hisse senedi fiyatlarına yansıyabilir. Bu ilişkide BDI küresel deniz yolu navlun koşullarını, Brent petrol fiyatları enerji piyasası koşullarını, XULAS ise söz konusu koşulların Türk ulaştırma sektörüne olası yansımasını temsil etmektedir.

Deniz taşımacılığı ve emtia piyasaları üzerine yapılan ampirik araştırmalar, piyasa koşullarına bağlı ilişkilerin varlığını desteklemektedir. Bandyopadhyay ve Rajib (2023), parametrik olmayan kantil nedensellik testlerini kullanarak BDI ile başlıca emtialar arasındaki bilgi ve oynaklık aktarımının düşüş, normal ve yükseliş piyasa koşullarında farklılık gösterdiğini bulmuşlardır. Benzer şekilde, Lin vd. (2019), VAR-BEKK-GARCH-X çerçevesini kullanarak tüm örneklem dönemi için BDI kaynaklı yayılım etkilerinin anlamlı olmadığını, ancak 2008–2009 küresel finans krizi sırasında anlamlı hâle geldiğini ve 2014–2016 Çin ekonomisindeki yavaşlama döneminde güçlendiğini bildirmişlerdir. Oynaklık bağlantılarına odaklanan Özdemir Höl vd. (2022) ise TVP-VAR çerçevesinde BDI, Brent petrolü ve MSCI Dünya Endeksi'ni net oynaklık yayıcıları, altın ve ABD Doları Endeksi'ni ise ağırlıklı olarak oynaklık alıcıları olarak belirlemiştir. Bu bulgular, deniz yolu navlun piyasasının emtia ve finans piyasalarıyla olan bağlantısının piyasa koşullarına göre değişebildiğini göstermektedir.

Literatürdeki diğer bir çalışma grubu, ulaştırma sektörü hisselerinin petrol piyasasındaki gelişmelerden etkilenme düzeyini incelemektedir. Mohanty ve Nandha (2011), ABD'deki ulaştırma firmalarının petrol fiyatlarına duyarlılığının şirketler arasında ve zaman içinde farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Aggarwal v.d. (2012) ise petrol fiyatı artışlarının ulaştırma firmalarının getirilerini olumsuz etkilediğini, petrol fiyatı düşüşlerinin ise risk üzerinde daha güçlü etkiler yarattığını belirlemiştir. Bu bulgular, enerji fiyatlarına duyarlılığın firma özellikleri ve şokların yönüne göre farklılaşabildiğini göstermektedir.

Daha güncel bulgular, bu ilişkiyi ulaştırmanın farklı alt sektörleri açısından da ele almaktadır. Horobet ve diğerleri (2022), küresel havayolu endüstrisi için panel ARDL çerçevesini kullanarak petrol fiyatı riskinin havayolu hisse senedi fiyatları üzerinde önemli ve kalıcı bir olumsuz etkisi olduğunu tespit etmiş ve bu duyarlılığın döviz kuru riskiyle etkileşim içinde olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, Melas ve Michail (2024), 45 halka açık kuru dökme yük taşımacılığı şirketini inceleyerek emtia fiyatlarındaki değişimlerin deniz taşımacılığı hisse senedi getirilerini anlamlı biçimde etkilediğini; özellikle mineral fiyatlarının güçlü bir etkiye sahip olduğunu ve Brent petrol fiyatının da hisse getirileri üzerinde önemli bir belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, enerji ve emtia piyasalarındaki gelişmeleri doğrudan ulaştırma firmalarının finansal performansıyla ilişkilendirmektedir.

Türkiye'ye ilişkin bulgular da büyük ölçüde uluslararası literatürle tutarlılık göstermektedir. Kiracı (2020), geleneksel ve asimetrik nedensellik testlerini kullanarak BIST Ulaştırma Endeksi, petrol fiyatları ve ABD Doları Endeksi arasında anlamlı ilişkiler tespit etmiştir. Açıkgöz ve Sezgin Alp (2023), ham petrol fiyatlarındaki artışın kısa vadede Türk ulaştırma sektörü getirilerini düşürdüğünü, ancak uzun vadede pozitif bir ilişki sergilediğini tespit etmiştir. Bu sonuç, petrol fiyatlarının Türk ulaştırma sektörü üzerindeki etkisinin kısa ve uzun dönemde farklılaşabileceğini göstermektedir.

Deniz yolu navlun piyasası ile Türk hisse senedi piyasası arasındaki ilişkiye dair bulgular ise nispeten sınırlıdır. Şahin ve Karamaşa (2022), pandemi döneminde BDI'dan BIST 100'e doğru bir nedensellik ilişkisi bulunmadığını, ancak BIST 100'den BDI'ya doğru bir nedensellik ilişkisi bulunduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte, söz konusu analiz ulaştırma sektörü hisselerinden ziyade genel piyasa endeksini kapsamaktadır.

Literatür bu açıdan halen parçalı bir yapıdadır. Denizcilik çalışmaları BDI'yı ağırlıklı olarak petrol, emtia veya genel finansal piyasalarla ilişkilendirirken, ulaştırma-finans araştırmaları enerji şoklarının ulaştırma sektörü hisseleri üzerindeki etkilerine odaklanmıştır.

Türkiye üzerine yapılan çalışmalar da petrol–XULAS ve BDI–genel hisse senedi piyasası ilişkilerini ayrı ayrı ele almıştır. Dolayısıyla, BDI, Brent ve Türk ulaştırma sektörü getirileri arasındaki ortak koşullu bağımlılığa ilişkin bulgular sınırlı kalmaktadır.
Bu çalışma, BDI, Brent ve XULAS'ı aynı çok değişkenli sistem içinde modelleyerek söz konusu literatürleri birleştirmektedir. İkili ilişkiler yerine, üç piyasa arasındaki koşullu bağımlılığın zaman içindeki seyri ve olumsuz şokların ilave bir asimetrik tepki yaratıp yaratmadığı araştırılmaktadır. Bu amaçla ADCC-GARCH modeli kullanılırken, standart DCC modeli sağlamlık kontrolü olarak tahmin edilmektedir.

VERİ SETİ VE YÖNTEM

Ampirik analizde; Baltık Kuru Yük Endeksi (BDI), Brent ham petrol fiyatları (BRENT) ve BIST Ulaştırma Endeksi'ne (XULAS) ilişkin günlük gözlemler kullanılmaktadır. Bu değişkenler sırasıyla küresel kuru yük taşımacılığı koşullarını, küresel enerji piyasası koşullarını ve Türk ulaştırma sektörünü temsil etmektedir. Orijinal serilerin veri bulunabilirliği ve işlem takvimleri farklılık gösterdiğinden, veri seti, her üç değişken için de eş zamanlı gözlemlerin mevcut olduğu tarihler esas alınarak oluşturulmuştur. Bu doğrultuda, ortak örneklem 2 Ocak 2015 ile 12 Mart 2026 arasındaki dönemi kapsamaktadır.
BDI, küresel kuru yük taşımacılığı piyasasındaki koşulları temsil etmek üzere kullanılırken; Brent ham petrol, küresel enerji piyasası koşulları için bir referans noktası işlevi görmektedir. XULAS, Borsa İstanbul'da işlem gören ulaştırma şirketlerinin borsa performansını yansıtmakta ve böylece finansal piyasalar perspektifinden Türk ulaştırma sektörünü temsil etmektedir. Bu üç değişkenin aynı ampirik sistemde bir araya getirilmesi; küresel deniz yolu taşımacılığı, enerji piyasaları ve Türk ulaştırma sektörü hisseleri arasındaki koşullu bağımlılığın gelişiminin incelenmesine olanak tanımaktadır.
Analiz oynaklık ve koşullu bağımlılığa odaklandığı için, orijinal seriler sürekli bileşik günlük yüzdesel getirilere dönüştürülür. Her değişkenin getirisi şu şekilde hesaplanır:

$$r_{i,t} = 100[\ln(P_{i,t}) - \ln(P_{i,t-1})] \quad (1)$$

Burada $P_{i,t}$, i değişkeninin t anındaki düzeyini; $r_{i,t}$ ise söz konusu değişkenin günlük yüzde getirisini ifade etmektedir. Getiriler, üç serinin ortak gözlem tarihlerine göre senkronize edilmesinin ardından hesaplanmaktadır. Bu işlem, her bir değişken için 2.694 adet ortak günlük getiri gözlemi sağlamaktadır.
Bir sonraki aşamada, getiri serilerinin koşulsuz varyansında meydana gelebilecek yapısal değişimler incelenmiştir. Bu amaçla Carrion-i-Silvestre ve Sansó (2026) tarafından geliştirilen Değiştirilmiş Yinelemeli Karelerin Kümülatif Toplamı (Modified Iterative Cumulative Sum of Squares–MICSS) yöntemi kullanılmıştır. MICSS, Inclán ve Tiao (1994) tarafından geliştirilen ICSS yaklaşımının, özellikle kalın kuyruklu dağılımlara sahip seriler için genişletilmiş bir versiyonudur. Yöntem, serinin kuyruk indeksini dikkate alarak koşulsuz varyanstaki çoklu değişim noktalarının belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu özelliğiyle MICSS, normal dağılımdan sapmaların ve uç gözlemlerin yaygın olduğu finansal getiri serilerinde varyans değişimlerinin belirlenmesi açısından daha esnek bir yaklaşım sunmaktadır (Carrion-i Silvestre ve Sanso, 2026:12).

$$C_k = \sum_{t=1}^{k} \varepsilon_t^2 \quad \text{k=1,2,…, T} \quad (2)$$

ve ortalanmış kümülatif dizi

$$D_k = \frac{C_k}{C_T} - \frac{k}{T} \tag{3}$$

Varyansın durağan olduğu durumlarda D_k değeri sıfır civarında dalgalanırken, yeterince büyük sapmalar bir varyans değişimine işaret eder. Bu çalışmada, potansiyel varyans kırılma noktalarını belirlemek amacıyla, karelerin kümülatif toplamı mantığını yinelemeli olarak uygulayan MICSS prosedürü kullanılarak koşulsuz varyanstaki çoklu değişimler incelenmektedir. Bu tür değişimlerin tespit edilmesi önem taşımaktadır; zira koşulsuz volatilitedeki ani veya kalıcı değişimler, daha sonraki zaman serisi çıkarımlarını etkileyebilir.
Varyansta meydana gelebilecek değişimlerin geleneksel birim kök testlerinin sonuçlarını etkileyebilmesi nedeniyle, serilerin durağanlık özellikleri Cavaliere ve Taylor (2008) tarafından önerilen wild bootstrap yaklaşımı çerçevesinde incelenmiştir. Bu yaklaşım, zaman içinde değişen volatilite altında standart birim kök testlerinin boyut ve güç özelliklerinin bozulabilmesi sorununu dikkate almaktadır. Wild bootstrap yöntemi, değişen varyans yapısını yeniden örnekleme sürecine yansıtarak birim kök test istatistiğine ilişkin ampirik kritik değerlerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan test regresyonu, Genişletilmiş Dickey–Fuller (ADF) biçiminde aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\Delta y_t = \alpha + \rho y_{t-1} + \sum_{j=1}^{p} \gamma_j \Delta y_{t-j} + u_t \tag{4}$$

Boş hipotez birim kök varlığına işaret ederken, hipotezin reddedilmesi durağanlığı destekler. Yalnızca geleneksel asimptotik kritik değerlere dayanmak yerine, çıkarım işlemi "wild-bootstrap" tekrarlarından elde edilen test istatistiğinin ampirik dağılımı kullanılarak gerçekleştirilir. Bu durum, özellikle volatilite değişimleriyle karakterize edilen getiri serileri için yararlıdır (Cavaliere ve Taylor, 2008: 50).
Durağanlık incelendikten sonra, analiz, getiri serilerinin koşullu heteroskedastisite sergileyip sergilemediğini test eder. Bu amaçla, Engle (1982) tarafından tanıtılan ARCH-LM testi kullanılır. Engle'ın ARCH çerçevesi, koşullu varyansın geçmiş karesel hata terimlerine bağlı olmasına izin verir ve bu tür bir bağımlılığı tespit etmek için bir LM prosedürü sağlar. Testin temelini oluşturan yardımcı regresyon şöyledir:

$$\hat{\varepsilon}_t^2 = \alpha_0 + \sum_{j=1}^{q} \alpha_j \hat{\varepsilon}_{t-j}^2 + \vartheta_t \tag{5}$$

Temel hipotezinin reddedilememesi ARCH etkilerinin bulunmadığını gösterirken, reddedilmesi koşullu varyansın geçmişteki karesi alınmış hata terimlerine sistematik bir biçimde bağlı olduğu anlamına gelir. Bu durum, koşullu varyansın ARCH/GARCH tipi spesifikasyonlar kullanılarak modellenmesi için ampirik gerekçeyi oluşturur (Engle, 1982: 992). Çalışmada her bir getiri serisinin oynaklık dinamikleri Engle'nin (1982) ARCH modeli ve Bollerslev (1986) GARCH modeli ile ele alınmıştır.

$$h_t = \omega + \sum_{i=1}^{q} \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 \tag{6}$$

$$h_t = \omega + \sum_{i=1}^{q} \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^{p} \beta_j h_{t-j} \tag{7}$$

ARCH parametreleri α_i, oynaklığın geçmiş şoklara verdiği tepkiyi yansıtırken; GARCH parametreleri β_j, önceki koşullu varyansın kalıcılığını tanımlar. Her üç piyasa için de aynı marjinal spesifikasyonu dayatmak yerine, BDI, Brent ve XULAS serileri için alternatif oynaklık dereceleri ve şok dağılımları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Uygun görülen durumlarda gauss, student- t, genelleştirilmiş hata ve çarpık student-t dağılımları dikkate alınmıştır. Model seçimi, Akaike ve Bayes bilgi kriterleri ile kalıntı tanısal testleri temel alınarak yapılmıştır. Sonrasında, seçilen spesifikasyonların kalan koşullu değişen varyansı yeterli düzeyde giderip gidermediğini belirlemek amacıyla standartlaştırılmış kalıntılara ARCH-LM testi uygulanmıştır. Bireysel oynaklık süreçleri filtrelendikten sonra, analiz üç piyasa arasındaki bağımlılık yapısına yönelir. Metodolojik temel, Engle (2002) tarafından geliştirilen Dinamik Koşullu Korelasyon (DCC) modelidir. DCC, tek değişkenli GARCH modellerini, sade bir zamanla değişen korelasyon süreciyle birleştirerek, sınırsız çok değişkenli bir kovaryans sistemi tahmin etmeden değişen piyasalar arası korelasyonları tahmin etmeyi mümkün kılar. Koşullu kovaryans matrisi şu şekilde ayrıştırılır:

$$H_t = D_t R_t D_t \tag{8}$$

Burada D_t, tek değişkenli volatilite modellerinden elde edilen koşullu standart sapmaları içeren bir köşegen matris; R_t ise zamana göre değişen koşullu korelasyon matrisidir. Buna göre standartlaştırılmış yenilik vektörü aşağıdaki gibi kabul edilebilir:

$$z_t = D_t^{-1}\varepsilon_t \tag{9}$$

Standart DCC(1,1) modelinde, korelasyon yönlendirme matrisi aşağıdaki şekilde gelişir:

$$Q_t = (1 - \alpha - b)\bar{Q} + \alpha z_{t-1} z'_{t-1} + bQ_{t-1} \tag{10}$$

Burada $\bar{Q}$, standardize edilmiş hata terimlerinin koşulsuz kovaryans matrisini ifade eder. α parametresi, koşullu korelasyonların yeni bilgiye verdiği kısa vadeli tepkiyi yansıtırken; b parametresi, geçmiş korelasyon dinamiklerinin kalıcılığını ölçer. Koşullu korelasyon matrisi, Q_t'nin yeniden ölçeklendirilmesiyle elde edilir:

$$R_t = diag(Q_t)^{-\frac{1}{2}} Q_t diag(Q_t)^{-\frac{1}{2}} \tag{11}$$

DCC modeli, korelasyonların zaman içinde değişmesine izin verse de; pozitif ve negatif hata terimleri simetrik olarak ele alır. Olumsuz hata terimlerinin koşullu korelasyonlarda ek bir tepki oluşturup oluşturmadığını araştırmak için, çalışma Cappiello, Engle ve Sheppard (2006) tarafından önerilen asimetrik uzantıyı kullanmaktadır. Onların asimetrik genelleştirilmiş DCC çerçevesi, koşullu korelasyon dinamiklerinde asimetriye açıkça izin vermektedir. Ampirik analizde kullanılan skaler ADCC gösterimi şu şekildedir:

$$\begin{gathered} Q_t = \bar{Q} - \alpha\bar{Q} - b\bar{Q} - g\bar{N} + \alpha z_{t-1} z'_{t-1} + bQ_{t-1} + g n_{t-1} n'_{t-1} \\ n_t = I(z_t < 0) \odot z_t \\ \bar{N} = E(n_t n'_t) \end{gathered} \tag{12}$$

Asimetri parametresi g, negatif şokların koşullu korelasyon dinamikleri üzerinde ilave bir etki yaratıp yaratmadığını göstermektedir. Buna göre α kısa dönemli şok etkisini, b korelasyonların kalıcılığını, g ise asimetrik etkiyi temsil etmektedir.

Tahmin edilen koşullu korelasyon matrisi aracılığıyla BDI–XULAS, Brent–XULAS ve BDI–Brent arasındaki dinamik koşullu korelasyonlar elde edilmektedir. Böylece küresel deniz taşımacılığı ve enerji piyasaları ile Türkiye ulaştırma sektörü arasındaki ilişkilerin zaman içindeki değişimi incelenebilmektedir. Elde edilen korelasyonlar değişkenler arasındaki koşullu bağımlılığı göstermekte olup nedensellik ilişkisi ifade etmemektedir.
Günlük getiri serilerinde kalın kuyruk özelliğinin görülebilmesi nedeniyle, tahmin sürecinde alternatif dağılımlar da dikkate alınmıştır. Her bir marjinal volatilite modelinin hata dağılımı, bilgi kriterleri ve tanısal test sonuçlarına göre belirlenirken, çok değişkenli koşullu korelasyon modeli çok değişkenli Student-t dağılımı kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu dağılım, özellikle uç gözlemlerin ve kalın kuyruk yapısının modellenmesinde çok değişkenli normal dağılıma göre daha esnek bir yapı sunmaktadır.
Son olarak, Engle (2002) tarafından geliştirilen standart DCC-GARCH modeli, aynı veri seti, seçilen marjinal volatilite modelleri ve çok değişkenli Student-t dağılımı kullanılarak sağlamlık kontrolü amacıyla tahmin edilmiştir. Standart DCC modelinde asimetri parametresi $g$yer almadığından, DCC ve ADCC modellerinin karşılaştırılması, negatif şokların koşullu korelasyonlar üzerinde ilave bir asimetrik etki oluşturup oluşturmadığının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Modeller; parametre tahminleri, log-olabilirlik değerleri, bilgi kriterleri ve dinamik koşullu korelasyonlar açısından karşılaştırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Ampirik analiz BDI, Brent ham petrol ve XULAS getiri serilerinin dağılım özelliklerinin incelenmesiyle başlamaktadır. Tablo 1'de tanımlayıcı istatistikler ile Jarque–Bera normallik testi sonuçları sunulmaktadır. Bulgular, üç getiri serisinin de normal dağılımdan belirgin biçimde saptığını ve özellikle kuyruk özellikleri bakımından önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 1. Tanımlayıcı İstatistik

Değişken	Ortalama	Medyan	Std.Sapma	Minimum	Maksimum	Jarque-Bera (Olasılık)
BDI	0.0349	-0.0476	3.2206	-19.2272	20.3367	1482.89(0.000)
Brent	0.0228	0.1029	3.1372	-64.3699	41.2023	8519.36(0.000)
XULAS	0.1336	0.0561	2.3503	-12.9755	14.3036	965.38(0.000)

Tablo 1, üç getiri serisinin tanımlayıcı istatistikler bakımından belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. En yüksek standart sapma BDI serisinde gözlenirken, bunu sırasıyla Brent ve XULAS izlemektedir. Bu durum, örneklem döneminde kuru dökme yük navlun piyasasındaki getiri değişkenliğinin diğer iki piyasaya kıyasla daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Minimum ve maksimum değerler de serilerde önemli kısa dönemli dalgalanmaların bulunduğunu göstermekte; özellikle negatif yöndeki en yüksek uç değer Brent serisinde gözlenmektedir. Bu farklılıklara rağmen Jarque–Bera testi, her üç seri için de benzer bir sonuç ortaya koymaktadır. BDI, Brent ve XULAS için normal dağılım sıfır hipotezi güçlü biçimde reddedilmektedir. Dolayısıyla, her üç getiri serisinin de normal dağılımdan anlamlı ölçüde saptığı görülmektedir. Bu bulgu, sonraki aşamada volatilite modellerinin tahmininde normal dağılıma alternatif dağılımların da dikkate alınmasını desteklemektedir.
Analizin bir sonraki aşamasında, getiri serilerinin koşulsuz varyanslarında meydana gelebilecek değişimler incelenmiştir. Tablo 2'de sunulan MICSS sonuçlarına göre, BDI için 16 Nisan 2018 tarihinde bir, XULAS için ise 8 Eylül 2017 ve 26 Ekim 2023 tarihlerinde iki varyans kırılması tespit edilmiştir.

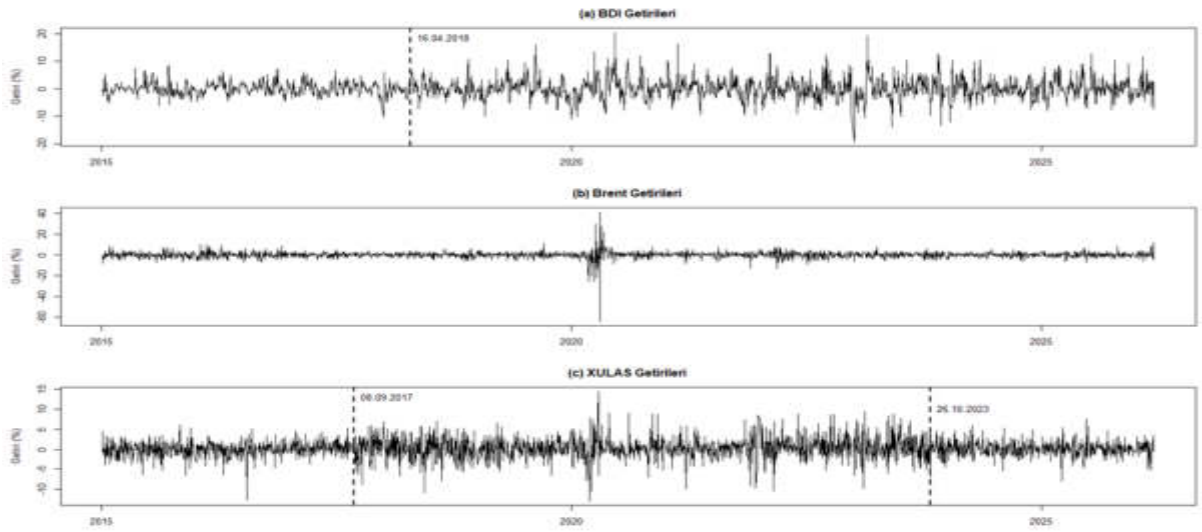
Brent serisinde ise herhangi bir varyans kırılmasına rastlanmamıştır. Bu bulgular, örneklem dönemi boyunca BDI ve XULAS'ın varyans yapısında değişimler meydana geldiğini göstermektedir.

Tablo 2. MICSS Koşulsuz Varyans Kırılma Sonuçları

Değişken	**α Tahmini**	**Kırılma Sayısı**	**Kırılma Tarihi**
BDI	3.463353	1	16 Nisans 2018
Brent	2.472553	0	—
XULAS	3.741239	2	8 Eylül 2017; 26 Ekim 2023

Not: Kırılma tarihleri, getiri serilerinin koşulsuz varyansında tespit edilen değişimleri göstermektedir.

MICSS sonuçları, BDI'da bir, XULAS'ta ise iki varyans kırılması bulunduğunu gösterirken, Brent için herhangi bir kırılma tespit edilmemiştir. Bu bulgular, örneklem dönemi boyunca BDI ve XULAS'ın koşulsuz varyans yapısında değişimler meydana geldiğini göstermektedir. Şekil 1'de getiri serileri ile MICSS yöntemiyle belirlenen varyans kırılma tarihleri birlikte gösterilmektedir.



Şekil 1. Getiri Serileri ve MICSS Varyans Kırılmaları

Şekil 1, getiri serisinin ve MICSS prosedürü ile belirlenen varyans kırılma tarihlerinin görsel bir sunumunu sağlamaktadır. Varyans değişimlerine dair bulgular ışığında, getiri serisinin durağanlık özellikleri Cavaliere ve Taylor (2008) çerçevesine dayalı wild-bootstrap birim kök testi kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Wild Bootstrap Birim Kök Testi Sonuçları

Değişken	**ADF t ist.**	**Gecikme**	**%1 Kritik Değer**	**%5 Kritik Değer**	**%10 Kritik Değer**	**p-değeri**
BDI	-20.4231	2	-3.2520	-2.6939	-2.4202	0.000
Brent	-12.6558	12	-3.5974	-2.9778	-2.5753	0.000
XULAS	-51.6135	0	-3.2501	-2.7008	-2.4422	0.000

Not: Cavaliere–Taylor (2008) göre uygulanan wild-bootstrap ADF tipi test; B = 2000 bootstrap tekrarı.

Tablo 3'te sunulan wild-bootstrap birim kök testi sonuçları, her üç getiri serisi için de durağanlığa dair güçlü kanıtlar sağlamaktadır. BDI, Brent ve XULAS serilerine ait test istatistikleri, ilgili bootstrap kritik değerlerinin oldukça altındadır; bu durum, %1 anlamlılık düzeyinde temel hipotezin reddedilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, tüm getiri serileri durağandır ve sonraki aşamada volatilite modellemesinde doğrudan kullanılabilir.
Durağanlık analizinin ardından, getiri serilerinde koşullu değişen varyansın (heteroskedastisitenin) varlığı ARCH-LM testi kullanılarak incelenmiş ve sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Getiri Serileri için ARCH-LM Testi Sonuçları

Değişkenler	**LM χ^2**	**s.d.**	**p-değeri**	**Karar**
BDI	361.08	12	0.000	ARCH etkisi vardır
Brent	556.70	12	0.000	ARCH etkisi vardır
XULAS	187.65	12	0.000	ARCH etkisi vardır

Not: Sıfır hipotezi, 12. gecikmeye kadar ARCH etkisi bulunmadığı yönündedir.

Tablo 4'te sunulan ARCH-LM test sonuçları, her üç getiri serisinde de istatistiksel olarak anlamlı ARCH etkilerinin bulunduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, ARCH etkilerinin bulunmadığına dair temel hipotez; BDI, Brent ve XULAS serileri için reddedilmektedir. Bu bulgular, koşullu değişen varyansın varlığını doğrulamakta ve söz konusu serilerin volatilite dinamiklerinin ARCH/GARCH tipi modeller kullanılarak modellenmesi için ampirik bir gerekçe sunmaktadır.
Belirgin ARCH etkilerine dair kanıtlara dayanarak, her bir getiri serisi için uygun tek değişkenli volatilite modelleri seçilmiş; tahmin ve tanısal analiz sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Tek Değişkenli ARCH/GARCH Model Tahmin Sonuçları

Değişkenler	**BDI ARCH(5)-Çarpık Student t dağılımı**	**Brent GARCH(1,1)-Çarpık Student t dağılımı**	**XULAS GARCH(1,1)-Student t dağılımı**
μ	0.3703^{**} (0.1882)	0.0402^{***} (0.0124)	0.1162^{***} (0.0387)
ω	2.8333^{***} (0.3860)	0.2902^{***} (0.0680)	0.1628^{*} (0.0915)
α_1	0.8250^{***} (0.0822)	0.1119^{***} (0.0160)	0.0770^{***} (0.0247)
α_2	0.0262^{**} (0.0112)	—	—
α_3	0.0014^{***} (0.00045)	—	—
α_4	0.1041^{***} (0.0293)	—	—
α_5	0.0423^{**} (0.0199)	—	—
β_1	—	0.8435^{***} (0.0197)	0.8964^{***} (0.0377)
Çarpıklık	1.3391 (0.0827)	0.9120 (0.0260)	—

Dağılım Parametresi	6.4855 (0.8921)	5.7046 (0.6453)	5.3844 (0.5591)
ARCH-LM(12), p-değeri	0.1393	0.2634	0.4817

Not: Sağlam (robust) standart hatalar parantez içinde verilmiştir. ***, ** ve * işaretleri sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde istatistiksel anlamlılığı ifade eder. Dağılım parametreleri (Çarpıklık ve Şekil) için anlamlılık yıldızları gösterilmemiştir. ARCH-LM(12), 12 gecikmeli kalıntı ARCH-LM testinin p-değerini sunar.

Tablo 5, seçilen tek değişkenli volatilite modellerinin tahmin sonuçlarını sunmaktadır. BDI için çarpık Student-t dağılımına sahip bir ARCH(5) modeli seçilirken, Brent ve XULAS için GARCH(1,1) spesifikasyonları kullanılmıştır. BDI özelinde, anlamlı ARCH katsayıları, geçmiş şokların mevcut volatiliteyi çeşitli gecikmeler boyunca etkilediğini göstermektedir. Brent ve XULAS için ise anlamlı ARCH ve GARCH katsayıları, hem şok duyarlılığını hem de güçlü volatilite kalıcılığını ortaya koymaktadır. Son olarak, her üç model için de ARCH-LM(12) p değerlerinin 0,05'in üzerinde olması, seçilen spesifikasyonların kalan ARCH etkilerini yeterli düzeyde yakaladığını göstermektedir.
Seçilen volatilite modellerinin alternatif hata dağılımlarına duyarlılığını değerlendirmek amacıyla, Tablo 6 bu modellerin farklı dağılım varsayımları altındaki performanslarını karşılaştırmaktadır.

Tablo 6. Tek Değişkenli ARCH/GARCH Modelleri İçin Dağılım Karşılaştırması

Değişkenler	**Dağılım**	**AIC**	**BIC**	**ARCH-LM p-değeri**
BDI	Normal	4.925	4.941	0.083
BDI	Student-t	4.867	4.885	0.132
BDI	GED	29.622	29.639	0.000
BDI	Çarpık Student-t	4.849	4.868	0.140
Brent	Normal	4.534	4.543	0.368
Brent	Student-t	4.468	4.478	0.248
Brent	GED	4.475	4.486	0.299
Brent	Çarpık Student-t	4.463	4.477	0.264
XULAS	Normal	4.443	4.452	0.525
XULAS	Student-t	4.375	4.387	0.482
XULAS	GED	4.382	4.392	0.513

Not: Daha düşük AIC ve BIC değerleri daha iyi model uyumuna işaret etmektedir. BDI için GED (Genelleştirilmiş Hata Dağılımı) modelinde elde edilen yüksek AIC ve BIC değerleri, olası bir yakınsama veya tahmin sorununa işaret ettiğinden bu sonuç dikkatle değerlendirilmelidir.

Tablo 6, seçilen ARCH/GARCH modelleri için alternatif dağılım varsayımlarını karşılaştırmaktadır. AIC ve BIC değerlerine göre, BDI ve Brent serileri için en iyi uyumu çarpık Student-t dağılımı sağlarken, XULAS için en iyi performansı Student-t dağılımı göstermektedir. Bu sonuçlar, sonraki aşamada gerçekleştirilen çok değişkenli volatilite analizinde tercih edilen dağılımların uygunluğunu desteklemektedir.

Uygun tek değişkenli volatilite modelleri ve dağılım varsayımları oluşturulduktan sonra, analiz ADCC-GARCH modelinin tahmin edilmesiyle devam etmekte ve koşullu korelasyon parametreleri Tablo 7'de sunulmaktadır.

Tablo 7. ADCC-GARCH Koşullu Korelasyon Tahminleri

Değişkenler	**Katsayı**	**p-değeri**	**Karar**
α	0.010	0.0282	Kısa dönemli şok etkisi pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır.
β	0.927	0.000	Koşullu korelasyonların kalıcılığı yüksek ve istatistiksel olarak anlamlıdır.
g	0.011	0.075	Asimetrik etki istatistiksel olarak anlamlıdır.
Çok Değişkenli Student-t Dağılım Parametresi	7.293877	0.000	Dağılım parametresi istatistiksel olarak anlamlıdır

Not: Log-olabilirlik =-18.509; AIC = 13.761; BIC = 13.820

Tablo 7, ADCC-GARCH koşullu korelasyon tahminlerini sunmaktadır. Kısa vadeli şok parametresi
α pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır; bu durum, yeni şokların koşullu korelasyonlar üzerinde önemli bir kısa vadeli etkisinin olduğunu göstermektedir. Kalıcılık parametresi β yüksek ve istatistiksel olarak anlamlıdır, bu da koşullu korelasyon dinamiklerinde güçlü bir kalıcılığa işaret etmektedir. Ayrıca, asimetri parametresi g pozitif ve %10 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır; bu bulgu, koşullu korelasyonların negatif şoklara karşı asimetrik bir tepki verdiğine dair kanıt sunmaktadır. Genel olarak sonuçlar, koşullu korelasyonların yeni şoklara duyarlı ve yüksek düzeyde kalıcı olduğunu, ayrıca asimetrik dinamikler sergilediğini göstermektedir. Piyasalar arasındaki zamana bağlı değişen bağımlılık yapısını daha ayrıntılı incelemek amacıyla, Tablo 8'de ADCC-GARCH modelinden elde edilen dinamik koşullu korelasyonlara ilişkin özet istatistikler sunulmaktadır.

Tablo 8. Dinamik Koşullu Korelasyonların Özeti

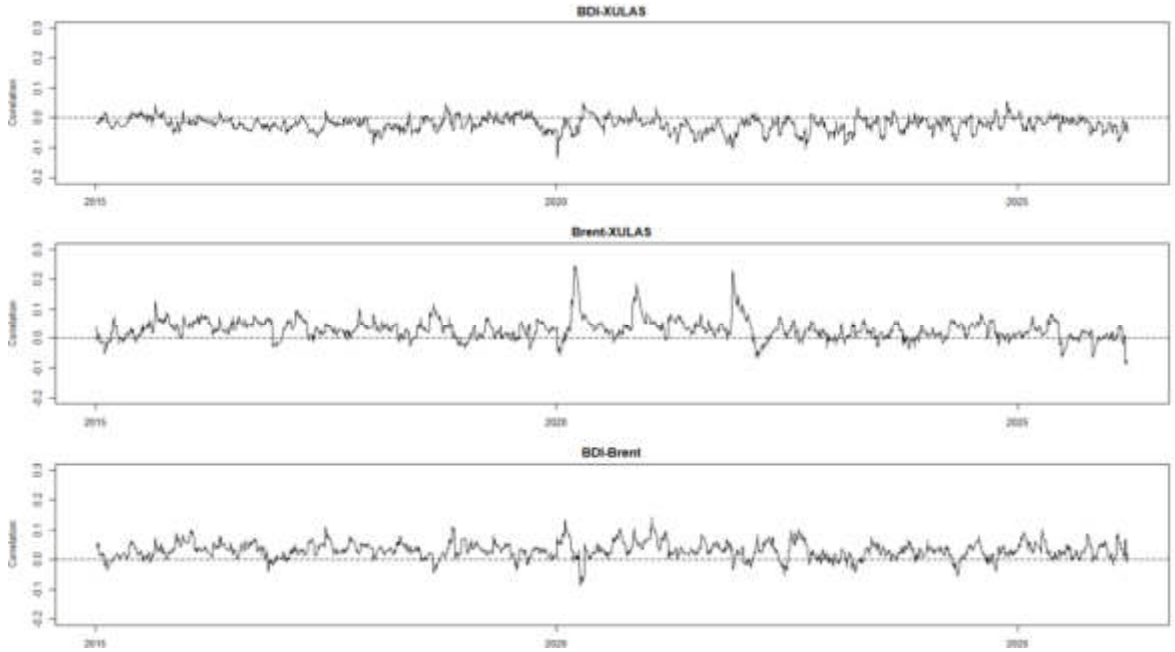
Koşullu Korelasyon	**Minimum**	**Ortalama**	**Medyan**	**Maksimum**
BDI–XULAS	-0.134	-0.021	-0.018	0.055
Brent–XULAS	-0.086	0.029	0.026	0.245
BDI–Brent	-0.087	0.030	0.029	0.141

Not: Değerler, ADCC-GARCH modelinden elde edilen tahmini zamana bağlı koşullu korelasyonlardır.

Sonuçlar, tüm piyasa çiftleri genelinde ortalama koşullu korelasyonların düşük olduğunu ortaya koymaktadır. BDI–XULAS korelasyonu hafif negatif bir ortalamaya sahiptir; bu durum, küresel kuru dökme yükü navlun koşulları ile Türk taşımacılık sektörü arasında çok zayıf, negatif ve koşullu bir ortalama ilişki olduğuna işaret etmektedir.

Buna karşılık, Brent–XULAS ve BDI–Brent arasındaki ortalama koşullu korelasyonlar pozitif olmakla birlikte nispeten zayıftır. Yine de, minimum ve maksimum değerler arasındaki aralıklar, bu ilişkilerin gücünün ve bazı durumlarda yönünün zaman içinde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Söz konusu zamansal değişim, bu üç piyasa arasındaki bağımlılık yapısının dinamik niteliğini vurgulamaktadır.

Şekil 2, söz konusu koşullu korelasyonların zamana göre değişen doğasını daha ayrıntılı bir şekilde ortaya koymaktadır. BDI–XULAS ilişkisi büyük ölçüde zayıf ve hafif negatif seyrini korurken, Brent–XULAS korelasyonu belirli dönemlerde daha belirgin artışlar sergilemektedir. BDI–Brent korelasyonu da zaman içinde dalgalanmalar göstermekte ve zaman zaman işaret değiştirmektedir. Genel olarak bu örüntüler, üç piyasa arasındaki bağımlılık yapısının sabit değil, zamana göre değişken olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 2. ADCC-GARCH Modelinden Dinamik Koşullu Korelasyonlar

ADCC-GARCH sonuçlarının sağlamlığını değerlendirmek amacıyla, model daha sonra standart DCC-GARCH spesifikasyonu ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9. ADCC-GARCH ve DCC-GARCH Sağlamlık Karşılaştırması

Kriter	ADCC-GARCH	DCC-GARCH
α	0.010 (p = 0.028)	0.010 (p = 0.018)
β	0.927 (p=0.000)	0.926 (p =0.001)
g	0.011 (p = 0.075)	—
Log-likelihood	-18508.69	-18508.71
AIC	13.761	13.760
BIC	13.820	13.817

Not: Her iki model de aynı senkronize veri setini, seçilmiş marjinal volatilite spesifikasyonlarını ve çok değişkenli Student-t dağılımını kullanmaktadır.

Tablo 9, ADCC-GARCH tahminlerini standart DCC-GARCH modelinden elde edilenlerle karşılaştırmaktadır. Kısa vadeli şok ve kalıcılık parametreleri her iki modelleme biçiminde de büyük ölçüde benzerlik göstermekte olup, bu durum tahmin edilen koşullu korelasyon dinamiklerinin alternatif model kurgusuna karşı sağlam (robust) olduğunu ortaya koymaktadır. Farklar çok küçük olsa da, DCC-GARCH modeli marjinal düzeyde daha düşük AIC ve BIC değerleri vermektedir. Önemli bir husus olarak, ADCC-GARCH modeli, standart DCC kurgusuyla yakalanamayan pozitif bir asimetrik etkiyi de %10 anlamlılık düzeyinde tespit etmektedir. Genel olarak, iki model arasındaki yakın benzerlik temel bulguların sağlamlığını desteklerken, ADCC kurgusu koşullu korelasyonların asimetrik tepkisine ilişkin ilave bilgiler sunmaktadır.

Elde edilen ampirik bulgular; deniz taşımacılığı, enerji ve finans piyasaları arasındaki dinamik ve duruma bağlı etkileşimleri vurgulayan mevcut literatürle büyük ölçüde uyumludur. Özellikle bu çalışmada tespit edilen zamana göre değişen koşullu korelasyonlar, deniz taşımacılığı ile ilgili piyasalar arasındaki ilişkinin piyasa koşullarına ve zamana bağlı olarak değişebileceğine dikkat çeken Padhan v.d (2024) bulgularıyla örtüşmektedir. Sonuçlar ayrıca, denizcilik navlun piyasalarını içeren bağlantıların farklı piyasa durumlarında tekdüze olmadığını gösteren doğrusal olmayan bulgular sunan Bandyopadhyay ve Rajib'in (2023) çalışmasını da tamamlayıcı niteliktedir. Dahası, BDI, Brent ve XULAS arasında gözlemlenen dinamik bağımlılık; BDI, Brent ham petrolü ve temel finansal piyasa göstergeleri arasında önemli bir oynaklık bağlantısı olduğunu belgeleyen Özdemir Höl v.d. (2022) bulgularıyla uyumludur. Değişken bağımlılığa dair kanıtlar, denizcilik piyasalarını içeren etkileşimlerin piyasa çalkantısının arttığı dönemlerde yoğunlaşabileceğini gösteren Lin v.d. (2019) çalışmalarıyla da tutarlıdır. Ancak bu çalışmalardan farklı olarak, mevcut analiz; küresel dökme yük navlun koşullarını, Brent ham petrol fiyatlarını ve Türk taşımacılık hisse senedi sektörünü bir ADCC-GARCH çerçevesi içinde birlikte ele almaktadır. Genel olarak düşük düzeyde seyreden ortalama korelasyonlara rağmen, piyasalar arasındaki ilişkinin gücü zaman içinde değişmektedir. Başka bir ifadeyle, BDI, Brent petrol fiyatları ve Türkiye ulaştırma sektörü bazı dönemlerde birbirinden büyük ölçüde bağımsız hareket ederken, bazı dönemlerde aralarındaki ilişki güçlenebilmektedir. Ayrıca bulgular, özellikle olumsuz şoklar ortaya çıktığında bu piyasalar arasındaki ilişkinin normal dönemlerden farklı şekilde değişebildiğine işaret etmektedir.

SONUÇ

Bu çalışma; Baltık Kuru Yük Endeksi (BDI), Brent ham petrol fiyatları ve BIST Ulaştırma Endeksi'ni (XULAS) birlikte ele alarak, küresel deniz taşımacılığı koşulları, enerji piyasaları ve Türk ulaştırma sektörü arasındaki dinamik volatilite bağımlılığını incelemektedir. Analiz, söz konusu piyasalar arasındaki ilişkilerin zaman içinde sabit kaldığını varsaymak yerine, koşullu korelasyonların dinamik bir şekilde değişmesine ve piyasa şoklarına asimetrik tepkiler vermesine olanak tanıyan bir ADCC-GARCH çerçevesini benimsemektedir. Bu bağlamda çalışma, küresel yük taşımacılığı ve enerji piyasalarından kaynaklanan gelişmelerin Türk ulaştırma sektörünün finansal performansıyla nasıl bir ilişki içinde olduğuna dair bütüncül bir bakış açısı sunmaktadır.

Ampirik bulgular, bu ilişkinin çeşitli önemli özelliklerini ortaya koymaktadır. İlk olarak, her üç getiri serisi de belirgin bir koşullu değişen varyans sergilemekte; bu da yüksek ve düşük oynaklık dönemlerinin zaman içinde kümelenme eğiliminde olduğunu doğrulamaktadır. Tek değişkenli oynaklık tahminleri, özellikle Brent ve XULAS için kalıcı oynaklık dinamiklerine işaret etmektedir. Daha da önemlisi, çok değişkenli analiz sonuçları; BDI, Brent ve XULAS arasındaki ilişkilerin sabit korelasyonlarla yeterince açıklanamayacağını göstermektedir.

ADCC-GARCH tahminleri, yeni şokların koşullu korelasyonlar üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir kısa vadeli etkiye sahip olduğunu ortaya koyarken; yüksek kalıcılık parametresi, piyasa bağımlılığındaki değişimlerin hemen ortadan kalkmadığına işaret etmektedir. Dolayısıyla, bağımlılık yapısı bir kez değiştiğinde, bunun etkileri bir süre daha devam edebilir.

Dinamik koşullu korelasyonlar, üç piyasa arasındaki ortalama ilişkilerin genel olarak zayıf olduğunu ancak zaman içinde önemli ölçüde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. BDI–XULAS hafif negatif bir ortalama korelasyon sergilerken, Brent–XULAS ve BDI–Brent çiftleri zayıf pozitif korelasyonlar göstermektedir. Bununla birlikte, söz konusu ilişkilerin gücü ve zaman zaman yönü dönemler itibarıyla değişmekte; bu da zayıf ortalama korelasyonların, piyasalar arasındaki bağlantıların sürekli olarak zayıf olduğu anlamına gelmediğini göstermektedir.

Dikkat çeken bir diğer bulgu, negatif şokların koşullu korelasyonları farklı şekilde etkileyebileceğine işaret eden ve %10 düzeyinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olan asimetrik etkidir. DCC-GARCH sağlamlık analizi, temel bulguların sağlamlığını destekler nitelikte benzer kısa vadeli şok ve kalıcılık parametreleri ortaya koyarken; ADCC modeli buna ek olarak asimetrik bağımlılığı da yakalamaktadır.

Bu sonuçlar, piyasa katılımcıları için çeşitli çıkarımlar içermektedir. Ulaştırma sektörü hisselerine sahip yatırımcılar için bulgular, nakliye ve enerji ile ilgili riskleri içeren çeşitlendirme fırsatlarının yalnızca koşulsuz veya tarihsel ortalama korelasyonlar kullanılarak değerlendirilmemesi gerektiğini göstermektedir. Tüm örneklem boyunca zayıf korelasyon gösteren bir piyasa çifti, belirli dönemlerde önemli ölçüde daha güçlü bir bağımlılık sergileyebilir. Sonuç olarak, sabit korelasyon varsayımlarına dayalı portföy tahsisi ve riskten korunma stratejileri, piyasa koşulları değiştiğinde riskteki değişiklikleri hafife alabilir. Dinamik korelasyonları izleyen daha esnek bir yaklaşım, portföy risk değerlendirmesi için daha bilgilendirici bir temel sağlayabilir. Asimetrik kanıtlar ayrıca, bağımlılık modellerinin olumsuz şoklardan sonra farklı şekilde değişebileceği için, olumsuz piyasa koşullarına özellikle dikkat edilmesi gerektiğini de göstermektedir.

Bulgular, taşımacılık ve lojistik sektöründe faaliyet gösteren firmalar için de önemlidir. Enerji fiyatları, taşımacılık maliyetlerinin önemli bir bileşenini oluştururken, küresel deniz taşımacılığı koşulları uluslararası ticaret, taşımacılık talebi ve nakliye piyasası koşulları hakkında bilgi içermektedir. Sonuçlar, BDI veya Brent petrol fiyatlarındaki hareketlerin Türk taşımacılık hisselerinde doğrudan değişikliklere neden olduğu anlamına gelmez; koşullu korelasyon nedensellik olarak yorumlanmamalıdır. Bununla birlikte, zamanla değişen ilişkiler, firmaların küresel navlun ve enerji göstergelerini birbirinden bağımsız bilgi kaynakları olarak ele almak yerine birlikte izlemekten fayda sağlayabileceğini göstermektedir. Sabit ilişkilere dayalı risk yönetimi sistemleri, piyasa bağımlılığının derecesi hızla değiştiğinde daha az bilgilendirici olabilir. Bu nedenle, navlun koşullarında, enerji fiyatlarında ve finans piyasası değerlemelerinde eş zamanlı değişiklikleri içeren senaryo analizleri, geleneksel risk yönetimi uygulamalarını tamamlayabilir.

Politika açısından bakıldığında, bulgular küresel yük ve enerji piyasaları ile Türk taşımacılık sektörü arasındaki değişen bağlantıların izlenmesinin önemini vurgulamaktadır. Politika yapıcılar, petrol fiyatlarını, yük koşullarını ve yerel taşımacılık göstergelerini ayrı ayrı değerlendirmek yerine, bunların dinamik bağımlılığını dışsal kırılganlık ve sektörel risk değerlendirmelerine dahil edebilirler. Bununla birlikte, artan koşullu korelasyonlar, nedensellikten ziyade bağımlılığı gösterdikleri için otomatik olarak politika müdahalesini tetiklememelidir. Bunun yerine, dinamik korelasyonlar, özellikle küresel petrol fiyatlarına, deniz taşımacılığı koşullarına ve Türk taşımacılık sektörüne eş zamanlı şokları dikkate alan stres testi çerçevelerinde tamamlayıcı bir erken uyarı aracı olarak hizmet edebilir.

Bulgular, çeşitli sınırlamalar ışığında değerlendirilmelidir. İlk olarak, analiz BDI, Brent ve XULAS üzerine odaklanmakta; dolayısıyla döviz kurları, faiz oranları, küresel belirsizlik ve ticaret koşulları gibi Türk taşımacılık sektörünü etkileyebilecek diğer faktörleri hesaba katmamaktadır. İkinci olarak, BDI deniz taşımacılığının yalnızca dökme yük segmentini temsil etmekte; konteyner veya tanker piyasalarını kapsamamaktadır. Son olarak, XULAS tüm Türk taşımacılık sektörünün reel ekonomik performansından ziyade, borsada işlem gören taşımacılık şirketlerinin piyasa performansını yansıtmaktadır.

Bir diğer sınırlama, zamana göre değişen ve asimetrik bağımlılığı yakalayan ancak nedensellik ilişkisi kurmayan veya şokların kaynağını belirlemeyen ADCC-GARCH çerçevesiyle ilgilidir. Ayrıca bu yöntem, farklı piyasa rejimleri veya aşırı olaylarla ilişkili karmaşık doğrusal olmayan yapıları tam olarak yansıtmayabilir. Son olarak, elde edilen bulgular örneklem dönemine ve veri frekansına özgüdür; dolayısıyla küresel deniz taşımacılığı, enerji piyasaları ve Türk taşımacılık sektöründeki değişimlere bağlı olarak farklılık gösterebilir.

Bu sınırlamalar aynı zamanda gelecekteki araştırmalar için çeşitli yönelimler sunmaktadır. İleriki çalışmalarda, BDI'nın yanı sıra konteyner ve tanker navlun endeksleri de modele dahil edilebilir; ayrıca döviz kurları, küresel belirsizlik ve ticaret koşullarının piyasa bağımlılığını şekillendirmedeki rolü incelenebilir. Yöntemsel açıdan, söz konusu ilişkilerin piyasa koşullarına göre farklılık gösterip göstermediği kantil veya rejim tabanlı modellerle araştırılabilir; öte yandan bağlantısallık, dalgacık (wavelet) veya yapısal yaklaşımlar kullanılarak küresel navlun ve enerji piyasaları ile Türk taşımacılık sektörü arasındaki şokların yönü, zaman ufku ve yayılma kanalları analiz edilebilir.

Genel olarak bulgular; küresel deniz taşımacılığı, enerji piyasaları ve Türk taşımacılık sektörü arasındaki ilişkilerin durağan değil, dinamik olduğunu göstermektedir. Ortalama korelasyonlar zayıf olsa da, bu ilişkilerin gücü ve yönü zaman içinde değişmekte ve olumsuz şoklara karşı asimetrik tepkiler verildiğine dair kanıtlar bulunmaktadır. Bu nedenle, söz konusu değişken bağlantıların dikkate alınması; yatırımcılar, taşımacılık firmaları ve politika yapıcılar açısından dış piyasa risklerinin yönetilmesi ve izlenmesi bakımından önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Abakah, E. J. A., Abdullah, M., Dankwah, B., & Lee, C.-C. (2024). Asymmetric dynamics between the Baltic Dry Index and financial markets during major global economic events. *The North American Journal of Economics and Finance, 72*, 102126. https://doi.org/10.1016/j.najef.2024.102126

Açıkgöz, T., & Sezgin Alp, Ö. (2023). The impact of oil prices on the transportation industry stock returns: The case of the Turkish equity market. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi,* 8(3), 425–439. https://doi.org/10.30784/epfad.1297913

Aggarwal, R., Akhigbe, A., & Mohanty, S. K. (2012). Oil price shocks and transportation firm asset prices. *Energy Economics,* 34(5), 1370–1379. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.05.001

Bandyopadhyay, A., & Rajib, P. (2023). The asymmetric relationship between Baltic Dry Index and commodity spot prices: Evidence from nonparametric causality-in-quantiles test. *Mineral Economics,* 36(2), 217–237. https://doi.org/10.1007/s13563-021-00287-y

Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics, 31*(3), 307–327. https://doi.org/10.1016/0304-4076(86)90063-1

Cappiello, L., Engle, R. F., & Sheppard, K. (2006). Asymmetric dynamics in the correlations of global equity and bond returns. *Journal of Financial Econometrics,* 4(4), 537–572. https://doi.org/10.1093/jjfinec/nbl005

Carrion-i-Silvestre, J. L., & Sansó, A. (2026). Testing for constant unconditional variance in heavy-tailed time series. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*. 1-27. https://doi.org/10.1080/03610918.2026.2615207

Cavaliere, G., & Taylor, A. M. R. (2008). Bootstrap unit root tests for time series with nonstationary volatility. *Econometric Theory,* 24(1), 43–71. https://doi.org/10.1017/S0266466608080043

Chen, Y., Xu, J., & Miao, J. (2023). Dynamic volatility contagion across the Baltic Dry Index, iron ore price and crude oil price under the COVID-19: A copula-VAR-BEKK-GARCH-X approach. *Resources Policy,* 81, 103296. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103296

Çağlı, E. Ç., Taşkın, F. D., & Mandacı, P. E. (2014). The interactions between oil prices and Borsa Istanbul sector indices. *International Journal of Economic Policy in Emerging Economies, 7*(1), 55–65. https://doi.org/10.1504/IJEPEE.2014.059895

Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica*, 50(4), 987–1007. https://doi.org/10.2307/1912773

Engle, R. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models. *Journal of Business & Economic Statistics, 20*(3), 339–350. https://doi.org/10.1198/073500102288618487

Friedlaender, A. F., & Spady, R. H. (1980). A derived demand function for freight transportation. *The Review of Economics and Statistics,* 62(3), 432–441. https://doi.org/10.2307/1927111

Horobet, A., Zlatea, M. L. E., Belascu, L., & Dumitrescu, D. G. (2022). Oil price volatility and airlines' stock returns: Evidence from the global aviation industry. *Journal of Business Economics and Management,* 23(2), 284–304. https://doi.org/10.3846/jbem.2022.16094

Inclán, C., & Tiao, G. C. (1994). Use of cumulative sums of squares for retrospective detection of changes of variance. *Journal of the American Statistical Association,* 89(427), 913–923. https://doi.org/10.1080/01621459.1994.10476824

Katris, C., & Kavussanos, M. G. (2021). Time series forecasting methods for the Baltic Dry Index. *Journal of Forecasting, 40*(8), 1540–1565. https://doi.org/10.1002/for.2780

Kiracı, K. (2020). BİST Ulaştırma Endeksi ile dolar endeksi ve petrol fiyatları arasındaki ilişkinin ampirik olarak analizi. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi,* 12(22), 180–189. https://doi.org/10.14784/marufacd.688344

Lin, A. J., Chang, H. Y., & Hsiao, J. L. (2019). Does the Baltic Dry Index drive volatility spillovers in the commodities, currency, or stock markets? *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 127*, 265–283. https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.05.013

Melas, K. D., & Michail, N. A. (2024). Can commodity prices predict stock market returns? The case of dry bulk shipping companies. *Journal of Shipping and Trade,* 9(20), 1-14. https://doi.org/10.1186/s41072-024-00178-9

Mohanty, S. K., & Nandha, M. (2011). Oil shocks and equity returns: An empirical analysis of the US transportation sector. *Review of Pacific Basin Financial Markets and Policies,* 14(1), 101–128. https://doi.org/10.1142/S0219091511002159

Nandha, M. S., & Brooks, R. D. (2009). Oil prices and transport sector returns: An international analysis. *Review of Quantitative Finance and Accounting, 33*(4), 393–409. https://doi.org/10.1007/s11156-009-0120-4

Nguyen, T.-T., Vo, T. T. H., Bui, N., & Lee, J.-Y. (2026). Nexus between Baltic Dry Index and oil price: New evidence from linear and nonlinear ARDL approaches. *Economies, 14*(3), 86. https://doi.org/10.3390/economies14030086

Özdemir Höl, A., Akyıldırım, E., Kılıcaslan, Ş., & Çınar, K. (2022). Baltık Kuru Yük Endeksi, petrol, altın, dolar, MSCI Dünya Endeksi arasındaki volatilite yayılımı. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi,* 7(2), 386–406. https://doi.org/10.30784/epfad.1089836

Padhan, H., Kocoglu, M., Tiwari, A. K., & Haouas, I. (2024). Economic activities, dry bulk freight, and economic policy uncertainties as drivers of oil prices: A tail-behaviour time-varying causality perspective. *Energy Economics,* 138, 107845. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107845

Papailias, F., Thomakos, D. D., & Liu, J. (2017). The Baltic Dry Index: Cyclicalities, forecasting and hedging strategies. *Empirical Economics, 52*(1), 255–282. https://doi.org/10.1007/s00181-016-1081-9

Ruan, Q., Wang, Y., Lu, X., & Qin, J. (2016). Cross-correlations between Baltic Dry Index and crude oil prices. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 453*, 278–289. https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.02.018

Şahin, C., & Karamaşa, Ç. (2022). Baltık Kuru Yük Endeksi ile finansal piyasalar arasında nedensellik ilişkisi: Pandemi dönemi Türkiye örneği. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi,* 57(4), 3434–3450. https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.22.12.1947.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

MARKA BİLGİSİ SUNUM FORMATININ SATIN ALMA NİYETİNE ETKİSİ: ANLATIYA DÂHİL OLMANIN ARACILIK ROLÜ

Ceren Nur ÖZBEN
Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İşletme Bölümü
ORCID: 0009-0004-8988-9113

Melike ALKAN
Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İşletme Bölümü
ORCID: 0009-0000-6213-1733

Doç. Dr. Mehmet Zahid ECEVİT
Bursa Teknik Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, İşletme Bölümü
ORCID: 0000-0003-2388-3355

ÖZET
Bu çalışma, marka bilgisinin tüketicilere hikâye ve liste formatında sunulmasının anlatıya dâhil olma düzeyi ve satın alma niyeti üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemektedir. Araştırma, Anlatısal Aktarım Teorisi çerçevesinde tasarlanmış ve iki gruplu deneysel desen kullanılmıştır. Çevrimiçi anket yöntemiyle elde edilen veriler, 163 katılımcıdan toplanmış ve SmartPLS yazılımı aracılığıyla kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesi (PLS-SEM) ile analiz edilmiştir. Bulgular, hikâye formatının liste formatına kıyasla tüketicilerin anlatıya dâhil olma düzeyini anlamlı biçimde artırdığını göstermektedir. Ayrıca anlatıya dâhil olmanın satın alma niyetini pozitif yönde etkilediği ortaya konulmuştur. Marka bilgisi sunum formatının satın alma niyeti üzerindeki etkisinin doğrudan değil, anlatıya dâhil olma aracılığıyla gerçekleştiği ve bu ilişkinin tam aracılık (full mediation) ile açıklanabileceği belirlenmiştir. Buna karşılık, ürün ilgileniminin düzenleyici rolü istatistiksel olarak desteklenmemiştir. Bu sonuç, katılımcıların ürün ilgilenimlerinden bağımsız olarak hikâye anlatımından etkilendiklerini göstermektedir. Araştırma sonuçları, pazarlama iletişiminde hikâye anlatımının tüketicilerle duygusal bağ kurmada ve satın alma niyetini artırmada güçlü bir araç olduğunu göstermektedir. Liste formatında sunulan ürün bilgileri, tüketicilerin zihinsel ve duygusal katılımını sınırlarken, hikâye formatı tüketiciyi anlatının içine çekerek markaya yönelik daha olumlu tutumlar geliştirmektedir. Bu bulgular, markaların hikâye tabanlı iletişim stratejilerini geniş tüketici kitlesine hitap eden etkili bir yöntem olarak benimsemeleri gerektiğini ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: Marka hikâyeleştirme, anlatıya dâhil olma, satın alma niyeti, ürün ilgilenimi, anlatısal aktarım teorisi

THE EFFECT OF BRAND INFORMATION PRESENTATION FORMAT ON PURCHASE INTENTION: THE MEDIATING ROLE OF NARRATIVE TRANSPORTATION

ABSTRACT
This study experimentally investigates the effects of presenting brand information in narrative versus list format on consumers' levels of narrative transportation and purchase intention. Grounded in Narrative Transportation Theory, a two-group experimental design was employed. Data were collected through an online survey from 163 participants and analyzed using partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) with SmartPLS software.

The findings reveal that narrative format significantly enhances consumers' narrative transportation compared to list format. Moreover, narrative transportation was found to positively influence purchase intention. The effect of brand information presentation format on purchase intention operates indirectly through narrative transportation, confirming a full mediation relationship. In contrast, the moderating role of product involvement was not statistically supported. This result indicates that participants were influenced by storytelling regardless of their level of product involvement. The results highlight that narrative storytelling serves as a powerful tool in marketing communication, fostering emotional engagement and strengthening consumers' purchase intentions. While list-based product information limits cognitive and emotional immersion, narrative format draws consumers into the storyline, encouraging more favorable attitudes toward the brand. These findings suggest that brands should adopt storytelling strategies as an effective means of communication, capable of appealing to a broad consumer base regardless of prior product involvement. By embedding product attributes within a narrative structure, marketers can create deeper psychological and emotional connections with consumers, ultimately enhancing purchase intention and brand loyalty. This study contributes to the literature by empirically validating the mediating role of narrative transportation and offering practical insights for brand communication strategies.
Keywords: Brand storytelling, narrative transportation, purchase intention, product involvement, message format

GİRİŞ

Günümüz rekabet ortamında markalar, tüketicilerle duygusal bağ kurmak ve mesajlarını etkili biçimde iletmek amacıyla hikâye anlatıcılığını stratejik bir pazarlama aracı olarak giderek daha fazla benimsemektedirler (Lundqvist vd., 2013; Limanlı ve Öksüz, 2024). Geleneksel reklam anlayışında ön planda olan bilgi temelli mesaj yapılarının yerini, tüketiciye duygusal olarak içine çeken anlatısal iletişim biçimlerinin almaya başladığı görülmektedir. Reklam anlayışındaki bu dönüşüm, marka bilgisinin tüketicilere sunuluş biçiminin satın alma kararları üzerindeki etkisinin incelenmesini gerekli kılmıştır (Green ve Brock, 2000).

Literatürde marka hikâyeciliğinin tüketici tepkileri üzerindeki etkileri çeşitli çalışmalarla ele alınmış olmakla birlikte, sunum formatının anlatıya dâhil olma ve satın alma niyeti üzerindeki etkisini deneysel yöntemle test eden çalışmalar sınırlı kalmaktadır. Özellikle Türkiye bağlamında bu ilişkileri inceleyen deneysel çalışmaların yetersizliği konunun araştırılmasını gerekli kılmaktadır (Yiğitol ve Başaran Alagöz, 2019; Yıldırım ve Kalyoncuoğlu Baba, 2020).

Bu doğrultuda araştırmanın temel amacı, marka bilgisi sunum formatının tüketicilerin anlatıya dâhil olma düzeyleri ve satın alma niyetleri üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemektir. Araştırma, anlatısal aktarım teorisi çerçevesinde kurgulanmış ve iki gruplu deneysel bir desen benimsenmiştir. Elde edilen bulgular hem pazarlama iletişimi literatürüne teorik katkı sağlayacak hem de marka iletişimi stratejileri geliştiren uygulayıcılara pratik öneriler sunacaktır.

LİTERATÜR TARAMASI

Marka Bilgisi Sunum Formatı ve Anlatıya Dâhil Olma

Marka iletişiminde mesajın nasıl yapılandırıldığı ve sunulduğu, tüketicilerin mesajı algılama, yorumlama ve zihinsel olarak işleme biçimlerini şekillendiren önemli etkenlerdendir. Mesajın sunuluş biçimi, tüketicilerin markayla güçlü bir bağ kurabilmesi açısından da önemli bir etken olup markaya yönelik tutum ve satın alma niyeti üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Escalas, 2004a; Crespo vd., 2023).

Literatürde marka bilgisinin tüketiciye iki farklı format aracılığıyla sunulduğu bilinmektedir. Bunlardan ilki argümanlara ve mantıksal değerlendirmeye dayanan analitik formattır. İkincisi ise tüketiciyi anlatı dünyasına çekerek duygusal olarak etkileyen ve bu yolla ikna eden anlatısal formattır (Green ve Brock, 2000). Bu iki format arasındaki fark sadece yapısal değil, aynı zamanda psikolojiktir. Gerrig'in (1993) ortaya koyduğu anlatısal aktarım kavramını pazarlama literatürüne kazandıran Green ve Brock (2000)'a göre anlatısal aktarım; dikkat, imgelem ve duygunun bütünleşik biçimde işlev gördüğü kendine özgü bir zihinsel süreçtir. Bu süreçte tüketiciler kendilerini anlatının bir parçası olarak gördüklerinde gerçek dünyayla olan psikolojik bağları geçici olarak kesilir. Anlatıda ileri sürülen ifadelerin gerçek dünyada bir karşılığı olmasa bile tüketicinin bu bilgilere yönelik eleştirel farkındalığı azalır.

Hikâye formatının anlatıya dâhil olma üzerindeki etkisi literatürde çeşitli ampirik çalışmalarla desteklenmektedir (Busselle ve Bilandzic, 2009; Lundqvist vd., 2013; Yiğitol ve Başaran Alagöz, 2019; Yıldırım ve Kalyoncuoğlu Baba, 2020). Busselle ve Bilandzic (2009), anlatıya katılım düzeyi arttıkça anlatının tüketiciler üzerindeki etkisinin güçlendiğini, tüketicilerin anlatıyı bilişsel ve duygusal açıdan daha yoğun deneyimlediklerini belirtmektedir. Bu görüşü destekleyen Lundqvist ve arkadaşları (2013) iki farklı gruba uyguladıkları test sonucunda hikâye formatına maruz kalan tüketicilerin markaya yönelik tutumlarının daha olumlu olduğunu ve ürün için daha fazla bedel ödeme eğiliminde olduklarını ortaya koymuşlardır. Türkiye bağlamında yürütülen çalışmalar da bu bulguları desteklemekte; marka hikâyelerinin tüketicilerde anlatısal aktarım ve daha az eleştirel düşünce yarattığı görülmektedir (Yiğitol ve Başaran Alagöz, 2019).

Bu doğrultuda aşağıdaki hipotez geliştirilmiştir:

H1: Marka bilgisinin hikâye formatında sunulması, liste formatına kıyasla tüketicilerin anlatıya dâhil olma düzeyini anlamlı derecede artırır.

Anlatıya Dâhil Olmanın Aracılık Rolü

Anlatılar, tüketicileri öykünün içine çekerek marka mesajlarını işleme biçimini dönüştürmekte, tüketicilerin mesajı bilişsel ve duygusal açıdan daha yoğun deneyimlemelerine katkı sağlamakta ve mesajın daha az eleştirel değerlendirilmesine neden olmaktadır (Escalas, 2004a; Green ve Brock). Öte yandan Escalas (2004b)'e göre markalar tek başına anlam taşımamaktadır. Markaya anlam kazandıran, tüketicilerin zihinlerinde markaya yönelik olarak kurdukları anlatılardır. Bu nedenle farklı tüketicilerin aynı markayı algılama ve deneyimleme biçimleri farklılık göstermektedir. Bu süreçte tüketiciler anlatıyla olumlu inanç ve tutumlar geliştirmektedir (Busselle ve Bilandzic, 2009). Bu tutumlar zamanla satın alma niyetini de olumlu yönde etkilemektedir (Yıldırım ve Kalyoncuoğlu Baba, 2020).

Anlatıya dâhil olmanın satın alma niyeti üzerindeki etkisi literatürde çeşitli ampirik çalışmalarla desteklenmektedir (Chiu vd., 2012; Crespo vd., 2023; Limanlı ve Öksüz, 2024). Chiu ve arkadaşları (2012), iyi tasarlanmış bir marka hikâyesinin tüketicilerin markaya yönelik tutumlarını güçlendirdiğini ve bunun sonucunda satın alma niyetlerini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca tüketicilerin anlatısal yapıya maruz kaldıklarında satın alma niyetlerinin güçlendiği Crespo ve arkadaşları (2023) tarafından da desteklenmektedir. Bunun yanı sıra markaların hikâyelerinin tüketicilerin hayal gücünü etkileyerek markaya yönelik olumlu davranışlarda bulunmalarını teşvik ettiği de gösterilmiştir (Limanlı ve Öksüz, 2024).

Bu doğrultuda aşağıdaki hipotez geliştirilmiştir:

H2: Anlatıya dâhil olma, satın alma niyetini pozitif etkiler.

Ürün İlgileniminin Düzenleyici Rolü

Ürün ilgilenimi, tüketici davranışlarının anlaşılmasında temel kavramlardan biri olarak kabul edilmektedir. Literatürde ürün ilgilenimi, tüketicinin belirli bir ürün veya ürün kategorisine yönelik geliştirdiği ilgi, önem ve motivasyon düzeyini ifade etmektedir (Yapraklı ve Gül, 2021). Bu kapsamda ürün ilgilenimi, bireyin ihtiyaç ve beklentileri doğrultusunda ürünle kurduğu ilişkiyi ve ürüne atfettiği kişisel değeri yansıtan önemli bir değişken olarak değerlendirilmektedir (Karapınar Çelik ve Çiftçi, 2021; Yapraklı ve Gül, 2021).

Ürün ilgilenim düzeyi, tüketicilerin ürünle ilgili bilgileri işleme süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır. İlgilenim, tüketicilerin dikkat ve anlama süreçlerini etkileyen motivasyonel bir durum olarak ele alınmaktadır. Tüketicilerin ürünü kendileri açısından daha önemli olarak algılamaları, ürünle ilgili bilgilerin işlenme biçimini de etkilemektedir (Celsi ve Olson, 1988). Bununla birlikte, ürün ilgilenim düzeyine bağlı olarak tüketicilerin bilgi arama davranışları ve karar verme süreçleri farklılaşmaktadır (Laurent ve Kapferer, 1985). Nitekim yüksek ürün ilgilenimine sahip tüketicilerin ürün hakkında daha fazla bilgi edinmeye çalıştıkları ve satın alma kararlarını daha dikkatli değerlendirdikleri, düşük ilgilenime sahip tüketicilerin ise bilgi aramaya daha az eğilim gösterdikleri belirtilmektedir (Yapraklı ve Gül, 2021).

Ürün ilgilenim düzeyindeki farklılıklar, tüketicilerin pazarlama iletişimine verdikleri tepkilerin de farklılaşmasına neden olabilmektedir. Bu kapsamda, ürün ilgilenim düzeyine göre tüketicilerin hikâye temelli pazarlama uygulamalarına verdikleri tepkilerin farklılaşabileceği belirtilmektedir. Ürün ilgilenimi yüksek olan tüketicilerin hikâye içerisinde sunulan ürün ve marka bilgilerini daha dikkatli değerlendirdiği, buna karşılık düşük ürün ilgilenimine sahip tüketicilerde hikâye anlatımının etkisinin daha sınırlı olduğu ifade edilmektedir (Chen vd., 2024). Ayrıca farklı ürün ilgilenim düzeylerine uygun olarak tasarlanan anlatıların tüketici deneyimi üzerinde farklı etkiler oluşturabileceği belirtilmektedir (Gu vd., 2023).

Bu doğrultuda aşağıdaki hipotez geliştirilmiştir:

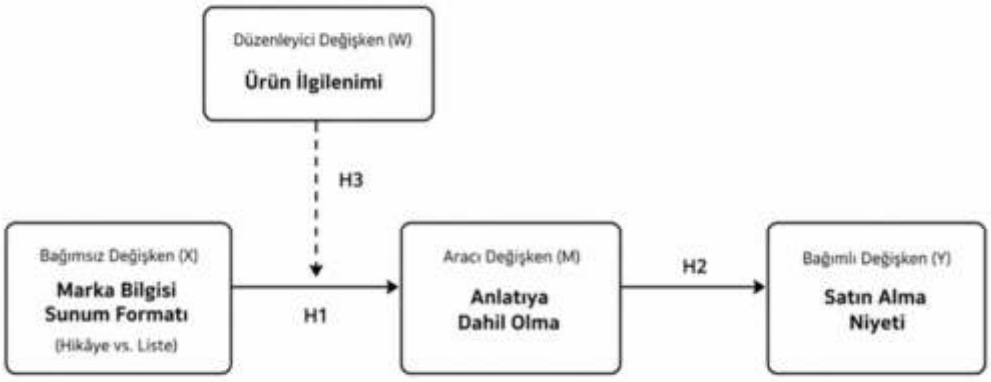
H3: Ürün ilgilenimi, marka bilgisi sunum formatının anlatıya dâhil olma üzerindeki etkisinde pozitif yönlü bir düzenleyici role sahiptir.

YÖNTEM

Araştırma Deseni

Bu araştırma, marka bilgisi sunum formatının tüketici tepkileri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla iki gruplu deneysel bir yaklaşım çerçevesinde tasarlanmıştır. Katılımcılar rastgele olarak hikâye formatı ve liste formatı olmak üzere iki gruba atanmıştır. Hikâye formatı grubunda marka bilgisi bir karakterin yaşadığı deneyim üzerinden aktarılırken, liste formatı grubuna aynı ürüne ait özellikler madde madde sunulmuştur. Her iki grupta da ürünün içerdiği özellikler özdeş tutulmuş; yalnızca bilginin sunuluş biçimi farklılaştırılmıştır. Ürün olarak kışlık mont seçilmiş; bu ürünün tercih edilmesinde geniş tüketici kitlesine hitap etmesi belirleyici olmuştur.

Araştırmanın kavramsal modeli Şekil 1'de sunulmaktadır.



Şekil 1. Araştırma Modeli

Örneklem ve Veri Toplama

Araştırma verileri çevrimiçi anket yöntemiyle toplanmıştır. Çevrimiçi anket yöntemi, geniş katılımcı kitlesine ulaşma kolaylığı, düşük maliyet ve zaman kısıtı açısından bu araştırma için uygun bir veri toplama aracı olarak kullanılmıştır. Araştırmaya katılım gönüllülük esasına dayandırılmış; anketin başında yer alan katılımcıyı bilgilendirme formu aracılığıyla katılımcıların onayı alınmış, onay vermeyen katılımcılar için anket otomatik olarak sonlandırılmıştır. Araştırmaya başlangıçta hikâye formatı ve liste formatı grubu olmak üzere toplam 187 katılımcı dâhil edilmiştir. Kontrol sorusuna yanlış cevap veren katılımcıların verileri analiz kapsamından çıkarıldıktan sonra toplam 163 katılımcının verileri analiz kapsamına dâhil edilmiştir. Katılımcılara ilişkin cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi, meslek ve aylık kişisel gelir değişkenlerine ait tanımlayıcı istatistikler toplanmıştır.

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Özelliklerine Göre Dağılımı

Değişken	n	%
Cinsiyet		
Kadın	107	65,6
Erkek	56	34,4
Yaş		
18-29	141	86,5
30-45	12	7,4
45 ve üzeri	10	6,1
Eğitim Durumu		
İlköğretim/Ortaöğretim	1	0,6
Lise	14	8,6
Ön Lisans	13	8,0
Lisans	116	71,2
Lisansüstü	19	11,7
Aylık Kişisel Ortalama Gelir		
0 - 28.000 TL	107	65,6
28.001 - 40.000 TL	29	17,8
40.001 - 55.000 TL	11	6,7
55.001 TL ve üzeri	16	9,8

Not: *N = 163.*

Manipülasyon Kontrolü

Araştırmada uygulanan format manipülasyonunun etkinliğini doğrulamak amacıyla her iki gruba da manipülasyon kontrol soruları yöneltilmiştir. Escalas (2004b) ölçeğinden uyarlanan dört madde ile katılımcıların okudukları metnin hikâye mi yoksa liste mi olduğuna ilişkin algıları ölçülmüştür. Bu doğrultuda metnin net bir başlangıç, gelişme ve sonuca sahip olup olmadığı, bir karakterin deneyimini içerip içermediği ve olaylar arasındaki neden-sonuç ilişkisini yansıtıp yansıtmadığı sorgulanmıştır. Manipülasyon kontrolünün yanı sıra veri kalitesini artırmak amacıyla anket formuna bir dikkat kontrol maddesi eklenmiştir. Bu madde, katılımcıların soruları dikkatli okuyup okumadıklarını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.

Ölçüm Araçları

Araştırmada tüm değişkenler 5'li Likert ölçeği (1 = Kesinlikle katılmıyorum, 5 = Kesinlikle katılıyorum) ile ölçülmüştür. Kullanılan ölçekler ilgili literatürden uyarlanmış ve Türkçeye kazandırılmıştır. Anlatıya dâhil olma değişkeni Green ve Brock (2000) ile Yiğitol ve Başaran Alagöz (2019) ölçeklerinden uyarlanan 5 madde ile ölçülmüştür. Satın alma niyeti Lee ve Jeong (2017) ve Yıldırım ve Kalyoncuoğlu Baba (2020) ölçeklerinden uyarlanan 3 madde ile; ürün ilgilenimi ise Zengin (2017) ölçeğinden uyarlanan 4 madde ile ölçülmüştür.

Veri Analizi

Araştırma verilerinin analizinde kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesi (PLS-SEM) yöntemi benimsenmiş, analizler SmartPLS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PLS-SEM, özellikle keşifsel nitelikteki araştırmalarda, görece küçük örneklem büyüklüklerinde ve verilerin normal dağılım varsayımını karşılamadığı durumlarda tercih edilen güçlü bir analiz yöntemi olup hem ölçüm modelinin hem de yapısal modelin eş zamanlı test edilmesine olanak tanımaktadır (Hair vd., 2019). Analiz süreci iki aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada güvenilirlik ve geçerlilik kanıtlarının değerlendirildiği ölçüm modeli analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda Cronbach Alfa, bileşik güvenilirlik (CR), ortalama açıklanan varyans (AVE) ve ayrışım geçerliliği incelenmiştir. İkinci aşamada yapısal model analizi kapsamında yol katsayıları ve R^2 değerleri değerlendirilmiştir. Anlatıya dâhil olmanın aracılık etkisinin sınanmasında bootstrapping yöntemi kullanılmıştır. Ürün ilgileniminin düzenleyici rolünün test edilmesinde ise etkileşim terimi oluşturularak modele dâhil edilmiştir.

BULGULAR

Betimsel İstatistikler

Araştırma verileri çevrimiçi anket yoluyla toplanmış, katılımcılar rastgele olarak hikâye formatı (0) ve liste formatı (1) olmak üzere iki gruba atanmıştır. Başlangıçta 187 katılımcıya ulaşılmış; manipülasyon/dikkat kontrol sorusuna yanlış cevap veren katılımcılar analiz kapsamından çıkarıldıktan sonra toplam 163 geçerli katılımcı verisi analize dâhil edilmiştir.

Ölçüm Modeli Değerlendirmesi

Güvenilirlik ve Yakınsak Geçerlilik

Tablo 2, her bir gizil değişkene ait iç tutarlılık göstergelerini (Cronbach alfa, rho_a, bileşik güvenilirlik/CR ve ortalama açıklanan varyans/AVE) sunmaktadır. Tüm CR değerleri 0.70 eşiğinin, tüm AVE değerleri ise 0.50 eşiğinin üzerindedir; bu da ölçüm modelinin yeterli iç tutarlılık güvenilirliği ve yakınsak geçerliliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Yapı güvenilirliği ve yakınsak geçerlilik

Yapı	Cronbach's alpha	rho_a	CR (rho_c)	AVE
Anlatıya Dâhil Olma	0.860	0.872	0.900	0.643
Satın Alma Niyeti	0.926	0.927	0.953	0.871
İlgilenim	0.838	0.886	0.891	0.677

Ayırt Edici Geçerlilik

Ayırt edici geçerlilik, Heterotrait–Monotrait (HTMT) oranı ile değerlendirilmiştir. Muhafazakâr eşik olan 0.85'in altındaki değerler yapılar arasında yeterli ayrımı işaret etmektedir. Tablo 3'de görüldüğü gibi, tüm HTMT değerleri (en yükseği İlgilenim × Marka Bilgisi Sunum Formatı etkileşim terimi ile İlgilenim arasındaki 0.745 olmak üzere) 0.85 eşiğinin altında kalmaktadır; dolayısıyla ayırt edici geçerlilik desteklenmektedir.

Tablo 3. HTMT ayırt edici geçerlilik matrisi

Yapı	Anlatıya Dâhil Olma	Marka Bilgisi Sunum Formatı	Satın Alma Niyeti	İlgilenim
Marka Bilgisi Sunum Formatı	0.442			
Satın Alma Niyeti	0.620	0.244		
İlgilenim	0.340	0.052	0.349	
İlgilenim × Marka Bilgisi Sunum Formatı	0.262	0.025	0.241	0.745

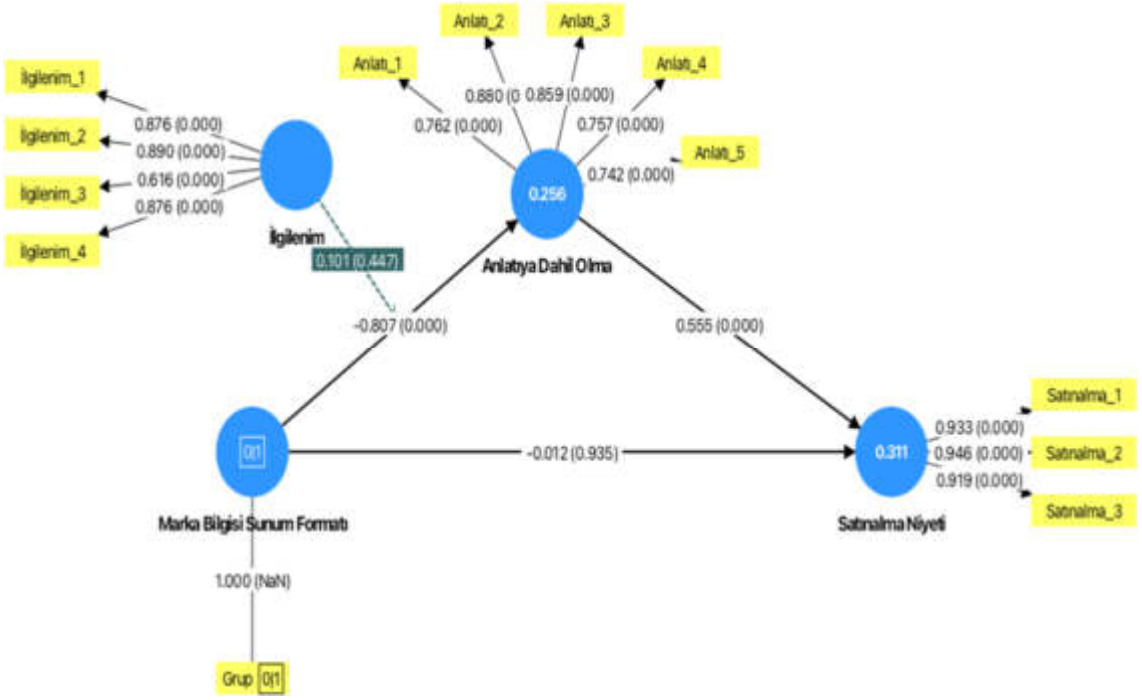
Yapısal Model Değerlendirmesi

Öngörücü yapılar arasındaki çoklu doğrusal bağlantı sorunu incelenmiş, tüm gösterge düzeyi VIF değerlerinin literatürde kabul gören 5.0 eşiğinin altında kaldığı (en yükseği Satınalma_2 için 4.382) tespit edilmiş ve çoklu doğrusal bağlantı sorununa rastlanmamıştır. Model uyumuna ilişkin göstergeler incelendiğinde, doyurulmuş modelde SRMR = 0.065 (<0.08 eşiğinin altında) ve NFI = 0.837 değerleri kabul edilebilir düzeyde genel model uyumuna işaret etmiştir. Bağımlı değişkenlere ait açıklanan varyans oranları incelendiğinde, model anlatıya dâhil olma değişkenindeki varyansın %25.6'sını (R^2 = 0.256; düzeltilmiş R^2 = 0.242), Satın Alma Niyeti değişkenindeki varyansın ise %31.1'ini (R^2 = 0.311; düzeltilmiş R^2 = 0.302) açıklamaktadır (Tablo 4). Modelden elde edilen R^2 değerleri zayıf-orta düzeyde bir açıklama gücüne işaret etmekte olup, modele dâhil edilmeyen başka yordayıcıların da satın alma niyeti ve anlatıya dâhil olma üzerinde etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Tablo 4. Açıklanan varyans oranları (R^2)

Yapı	R^2	Düzeltilmiş R^2
Anlatıya Dâhil Olma	0.256	0.242
Satın Alma Niyeti	0.311	0.302

Bootstrap edilmiş yol katsayıları (5000 alt örneklem; iki uçlu $\alpha = 0.05$) incelendiğinde, dört yoldan üçünün istatistiksel olarak anlamlı olduğu, İlgilenim × Marka Bilgisi Sunum Formatı etkileşim teriminin ise anlamsız kaldığı görülmüştür. Anlamlı ve anlamsız yollar Şekil 2'de gösterilmektedir:



Şekil 2. Standardize yol katsayıları ve bootstrap sonuçlarıyla PLS-SEM yapısal modeli.

Yol katsayısı sonuçları farklılaşan bir etki örüntüsü ortaya koymaktadır (Tablo 5). Marka bilgisi sunum formatı, anlatıya dâhil olma üzerinde güçlü, istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir (β = -0.807, t = 7.020, p < 0.001); grup kodlaması hikâye formatı = 0, liste formatı = 1 şeklinde olduğundan negatif katsayı, hikâye formatının liste formatına kıyasla anlatıya dâhil olma düzeyini anlamlı derecede artırdığını göstermektedir. Anlatıya dâhil olma, satın alma niyeti üzerinde güçlü bir pozitif etkiye sahiptir (β = 0.555, t = 8.999, p < 0.001). İlgilenimin anlatıya dâhil olma üzerindeki doğrudan etkisi de anlamlıdır (β = 0.238, t = 3.683, p < 0.001). Buna karşılık, marka bilgisi sunum formatının satın alma niyeti üzerindeki doğrudan etkisi anlamsız bulunmuştur (β = -0.012, t = 0.081, p = 0.935), bu da anlatıya dâhil olmanın aracılık rolüne işaret etmektedir. İlgilenim × marka bilgisi sunum formatı etkileşim teriminin anlatıya dâhil olma üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamsızdır (β = 0.101, t = 0.760, p = 0.447).

Tablo 5. Yol katsayıları ve hipotez sonuçları

Yol	β	t	p	Karar
Marka Bilgisi Sunum Formatı → Anlatıya Dâhil Olma (H1)	-0.807	7.020	0.000	Desteklendi
Anlatıya Dâhil Olma → Satın Alma Niyeti (H2)	0.555	8.999	0.000	Desteklendi
İlgilenim → Anlatıya Dâhil Olma	0.238	3.683	0.000	(doğrudan etki)
Marka Bilgisi Sunum Formatı → Satın Alma Niyeti (doğrudan)	-0.012	0.081	0.935	Anlamsız
İlgilenim × Marka Bilgisi Sunum Formatı → Anlatıya Dâhil Olma (H3)	0.101	0.760	0.447	Desteklenmedi

Not: *β değerleri standardize edilmiştir; p değerleri iki uçlu, 5000 örneklemli bootstrap sonucudur.*

Aracılık etkisinin sınanması amacıyla özel dolaylı etkiler incelenmiştir (Tablo 6). Marka bilgisi sunum formatının satın alma niyeti üzerindeki dolaylı etkisi, anlatıya dâhil olma üzerinden anlamlı bulunmuştur (β = -0.448, t = 5.786, p < 0.001); bu yolun toplam etkisi de anlamlıdır (β = -0.460, t = 3.064, p = 0.002). Doğrudan etkinin anlamsız (p = 0.935), dolaylı ve toplam etkilerin ise anlamlı olması, anlatıya dâhil olmanın, marka bilgisi sunum formatı ile satın alma niyeti arasındaki ilişkide tam aracılık (full mediation) rolü üstlendiğini göstermektedir. İlgilenimin satın alma niyeti üzerindeki dolaylı etkisi de anlamlıyken (β = 0.132, p = 0.002), etkileşim teriminin dolaylı etkisi anlamsızdır (β = 0.056, p = 0.453) — bu da H3'ün desteklenmediği bulgusuyla tutarlıdır.

Tablo 6. Özel dolaylı etkiler ve ilgili toplam etki

Yol	β	t	p
Marka Bilgisi Sunum Formatı → Anlatıya Dâhil Olma → Satın Alma Niyeti (dolaylı)	-0.448	5.786	0.000
İlgilenim → Anlatıya Dâhil Olma → Satın Alma Niyeti (dolaylı)	0.132	3.099	0.002
İlgilenim × Marka Bilgisi Sunum Formatı → Anlatıya Dâhil Olma → Satın Alma Niyeti (dolaylı)	0.056	0.751	0.453
Marka Bilgisi Sunum Formatı → Satın Alma Niyeti (toplam)	-0.460	3.064	0.002

Sonuç olarak, bulgular H1 ve H2'yi desteklerken H3'ü desteklememektedir: ürün ilgilenimi, marka bilgisi sunum formatının anlatıya dâhil olma üzerindeki etkisinde anlamlı bir düzenleyici rol üstlenmemektedir; ancak ilgilenim, anlatıya dâhil olmayı doğrudan ve anlamlı biçimde yordamaktadır. Modelin genel yapısı, marka bilgisinin hikâye formatında sunulmasının satın alma niyetini doğrudan değil, anlatıya dâhil olma aracılığıyla artırdığını ortaya koymaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular, marka mesajlarının liste formatı yerine hikâyeleştirilerek sunulmasının, tüketicileri anlatının içerisine daha güçlü bir şekilde çektiğini ortaya koymaktadır (H1 desteklenmiştir). Tüketicilerin anlatıya dâhil olma seviyesi yükseldikçe satın alma niyetlerinin de arttığı görülmüştür (H2 desteklenmiştir). Bununla birlikte, sunum formatının satın alma niyeti üzerinde
doğrudan ve tek başına anlamlı bir etkisi saptanmamış; söz konusu etkinin ancak anlatıya dâhil olma mekanizması aracılığıyla, yani dolaylı yoldan ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bir başka ifadeyle, hikâye anlatımının satın alma niyetini artırması biçimsel özelliklerden ziyade, tüketicinin zihninde ve duygularında yarattığı uyarılmadan ileri gelmektedir. Bu durum, Green ve Brock (2000) ile Escalas'ın (2004a) çalışmalarında temellendirilen anlatısal aktarım (transportation) kuramıyla paralellik gösterdiği gibi, Crespo vd. (2023) tarafından ulaşılan sonuçları da destekler niteliktedir.

Nitekim ilgili çalışmada da mesaj formatının satın alma niyetine olan doğrudan etkisinin, tüketici-marka özdeşleşmesi ve markaya yönelik duygusal ilgi gibi aracı mekanizmalar modele dâhil edildiğinde anlamlılığını yitirdiği ortaya konulmuştur. Benzer bir yaklaşımla Chiu vd. (2012) de kurgusal ögelerin satın alma niyetini doğrudan tetiklemediğini, öncelikle marka tutumunu şekillendirip bu tutum üzerinden nihai karara etki ettiğini belirtmiştir; bu da hikâye etkisinin arka planda işleyen psikolojik bir süreçle vücut bulduğu düşüncesini doğrulamaktadır.

Tahmin edilenin aksine, ürün ilgilenim düzeyi hikâye formatının yaratacağı etkiyi kuvvetlendirmemiştir (H3 desteklenmemiştir). İlgilenimin, anlatıya dâhil olmayı doğrudan ve pozitif yönde etkilediği görülse de, format değişkeniyle bir arada değerlendirildiğinde ek bir katkı sunmadığı anlaşılmıştır. Bu durum, aktarım (transportation) teorisinin teorik altyapısı ile açıklanabilir: Green ve Brock (2000), anlatıya kapılma sürecinin geleneksel "analitik ve eleştirel sorgulama" süreçlerinden oldukça farklı bir patikada ilerlediğini; bireyin hikâyenin akışına odaklandığında argümanları rasyonel olarak tartmak yerine duygusal bir sürüklenme yaşadığını savunmaktadır. Buradan hareketle, söz konusu ürüne ilgisi yüksek olan kitlenin bilgiyi daha eleştirel veya mantıksal süzgeçlerden geçirmeye meyilli olabileceği, bu rasyonel yaklaşımın da hikâyenin vadettiği duygusal etkiyi bir nebze dengelediği düşünülebilir. Bu sonuç katılımcıların ürün ilgilenimlerinden bağımsız olarak hikâye anlatımından etkilendiklerini göstermektedir. Bu beklenmeyen sonucun ortaya çıkmasındaki bir diğer olası etken ise araştırmanın örneklem büyüklüğü olabilir; nitekim bu hususa kısıtlılıklar bölümünde yeniden değinilmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar, pazarlama uygulamaları açısından önemli bir çıkarıma işaret etmektedir: Ürün niteliklerini kuru birer veri grubu halinde alt alta sıralamak yerine, bir olay örgüsü etrafında sunmak tüketici ile marka arasındaki bağı kuvvetlendirebilir. Üstelik bu mekanizma, tüketicinin o ürün grubuna duyduğu ilgiden bağımsız biçimde işlemektedir. Yani hikâye anlatımı stratejisi yalnızca belirli bir tüketici segmentine değil, geniş bir tüketici kitlesine hitap etme potansiyeline sahiptir. Dolayısıyla markalar, tüketicilerin ürün hakkında ön bir ilgiye veya derin bir bilgi birikimine sahip olmadığı pazarlarda dahi, hikâye tabanlı içerikleri mesaj aktarımında güçlü bir kaldıraç olarak konumlandırabilirler.

Her akademik çalışmada olduğu gibi bu araştırmanın da bazı sınırlılıkları mevcuttur. İlk olarak araştırma, tek bir ürün grubu (kışlık mont) kullanılarak hikâye ve liste formatında hazırlanan senaryolar üzerinden yürütülmüştür. Bu nedenle farklı ürün kategorilerinde veya video ve görsel ağırlıklı multimedya anlatımlarında farklı sonuçlar elde edilmesi olasıdır. Diğer taraftan, ulaşılan örneklem büyüklüğü (163 kişi) modeldeki ana etkileri analiz etmek adına yeterli görülse de, ilgilenim değişkeninin düzenleyici (moderatör) rolünün anlamsız çıkmasında bu örneklem hacminin görece dar olmasının payı bulunabilir. Ayrıca verilerin kesitsel (tek bir zaman diliminde) toplanması, bulguların uzun vadedeki değişimlerini izlemeyi zorlaştırmaktadır. Gelecek çalışmalarda araştırmacıların, farklı ürün sınıflarını merkeze alması, daha geniş katılımcı gruplarına ulaşması ve özellikle görsel/işitsel anlatı tasarımlarını denkleme dâhil etmesi, bu alandaki yazının genellenebilirliği açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKÇA

Busselle, R. ve Bilandzic, H. (2009). Measuring narrative engagement. *Media Psychology*, 12(4), 321-347. https://doi.org/10.1080/15213260903287259

Celsi, R. L. ve Olson, J. C. (1988). The role of involvement in attention and comprehension processes. *Journal of Consumer Research*, 15(2), 210-224. https://doi.org/10.1086/209159

Chen, T., Fan, X., He, J., Fan, J. ve Chen, W. (2024). When "I" or "S/He" uses the product: The impact of narrative perspective on consumers' brand attitudes in storytelling ads. *Frontiers in Psychology*, 15, 1338249. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1338249

Chiu, H. C., Hsieh, Y. C. ve Kuo, Y. C. (2012). How to align your brand stories with your products. *Journal of Retailing*, 88(2), 262-275. https://doi.org/10.1016/j.jretai.2012.02.001

Crespo, C. F., Ferreira, A. G. ve Cardoso, R. M. (2023). The influence of storytelling on the consumer–brand relationship experience. *Journal of Marketing Analytics*, 11(1), 41-56. https://doi.org/10.1057/s41270-021-00149-0

Escalas, J. E. (2004a). Imagine yourself in the product: Mental simulation, narrative transportation, and persuasion. *Journal of Advertising*, 33(2), 37-48. https://doi.org/10.1080/00913367.2004.10639152

Escalas, J. E. (2004b). Narrative processing: Building consumer connections to brands. *Journal of Consumer Psychology*, 14(1-2), 168-180. https://doi.org/10.1207/s15327663jcp1401&2_19

Gerrig, R. J. (1993). *Experiencing narrative worlds.* Yale University Press.

Green, M. C. ve Brock, T. C. (2000). The role of transportation in the persuasiveness of public narratives. *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(5), 701-721. https://doi.org/10.1037/0022-3514.79.5.701

Gu, C., Lin, S., Wei, W., Yang, C., Chen, J., Miao, W., Sun, J. ve Zeng, Y. (2023). How does interactive narrative design affect the consumer experience of mobile interactive video advertising? *Systems*, 11(9), 471. https://doi.org/10.3390/systems11090471

Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M. ve Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review*, 31(1), 2-24. https://doi.org/10.1108/EBR-11-2018-0203

Karapınar Çelik, I. ve Çifci, S. (2021). Tüketici benzersiz olma ihtiyacının birlikte değer oluşturmada katılım davranışı üzerindeki etkisi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. https://doi.org/10.18074/ckuiibfd.868236

Laurent, G. ve Kapferer, J. N. (1985). Measuring consumer involvement profiles. *Journal of Marketing Research*, 22(1), 41-53. https://doi.org/10.1177/002224378502200104

Lee, S. A. ve Jeong, M. (2017). Role of brand story on narrative engagement, brand attitude, and behavioral intention. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 8(3), 465-480. https://doi.org/10.1108/JHTT-09-2016-0049

Limanlı, E. ve Öksüz, B. (2024). Marka deneyimi yaratma sürecinde hikâye anlatıcılığının rolü. *Aurum Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2), 231-266. https://doi.org/10.62393/aurum.1544345

Lundqvist, A., Liljander, V., Gummerus, J. ve Van Riel, A. (2013). The impact of storytelling on the consumer brand experience: The case of a firm-originated story. *Journal of Brand Management*, 20(4), 283-297. https://doi.org/10.1057/bm.2012.15

Yapraklı, T. Ş. ve Gül, B. (2021). Tüketici yenilikçiliği, algılanan risk ve ürün ilgileniminin online satın alma davranışı üzerindeki etkisi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(5), 1507-1534. https://doi.org/10.18506/anemon.668865

Yiğitol, B. ve Başaran Alagöz, S. (2019). Marka hikâyesine yönelik tutum ve satın alma niyeti ilişkisi: Anlatısal aktarım teorisi perspektifinden bir araştırma. *Pazarlama Teorisi ve Uygulamaları Dergisi*, 5(2), 1-28.

Yıldırım, E. ve Kalyoncuoğlu Baba, S. (2020). Marka hikâyesinin anlatıya dâhil olma üzerindeki etkileri ve sonuçları: İş Bankası 89. yıl reklamı üzerine bir araştırma. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(4), 4269-4290.

Zengin, G. (2017). *Yüksek ilginlikli hizmetlerde mizah ve ünlü kullanımı: Banka reklamları üzerine bir inceleme* (Doktora tezi). *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.*

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

AKILLI SAATLERDE VERİ TOPLAMA YOĞUNLUĞU VE ALGILANAN GÖZETİM: MAHREMİYET ENDİŞESİ VE KULLANIM NİYETİ

Furkan ÖZKAN
Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İşletme Bölümü
ORCID: 0009-0009-7291-1237

Özge DEMİRCİ
Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İşletme Bölümü
ORCID: 0009-0001-2165-4885

Doç. Dr. Mehmet Zahid ECEVİT
Bursa Teknik Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, İşletme Bölümü
ORCID: 0000-0003-2388-3355

ÖZET
Bu çalışmada, akıllı saatlerde algılanan veri toplama yoğunluğu ile gözetim algısı arasındaki ilişki ve bu ilişkinin kullanım niyetine yansıması incelenmiştir. Ayrıca mahremiyet endişesinin gözetim algısıyla ilişkisi ve algılanan veri toplama yoğunluğu ile gözetim algısı arasındaki ilişkideki düzenleyici rolü değerlendirilmiştir. Senaryo temelli araştırmada, yüksek veri toplama grubunda 85 ve düşük veri toplama grubunda 107 olmak üzere toplam 192 katılımcının verileri kullanılmıştır. Veriler, SmartPLS programı aracılığıyla kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesi (PLS-SEM) yöntemiyle analiz edilmiştir.
Bulgular, algılanan veri toplama yoğunluğunun ($\beta = 0{,}302$; $p < 0{,}001$) ve mahremiyet endişesinin ($\beta = 0{,}361$; $p < 0{,}001$) algılanan gözetimle pozitif yönde ilişkili olduğunu göstermiştir. Algılanan gözetim ise kullanım niyetiyle negatif yönde ilişkilidir ($\beta = -0{,}369$; $p < 0{,}001$). Mahremiyet endişesi ile algılanan veri toplama yoğunluğunun etkileşimi anlamlı bulunmuştur ($\beta = 0{,}183$; $p = 0{,}007$). Ayrıca mahremiyet endişesi ile algılanan veri toplama yoğunluğunun, algılanan gözetim üzerinden kullanım niyetine uzanan dolaylı etkilerinin negatif ve anlamlı olduğu belirlenmiştir. Model, algılanan gözetimdeki varyansın %27,3'ünü ve kullanım niyetindeki varyansın %13,6'sını açıklamaktadır.
Elde edilen bulgular, akıllı saatlerin kullanımına ilişkin değerlendirmelerde kişisel veri toplama uygulamalarının yanı sıra kullanıcıların kendilerini ne ölçüde izleniyor hissettiklerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Veri toplama yoğunluğu, algılanan gözetim, mahremiyet endişesi, kullanım niyeti, akıllı saat.

DATA COLLECTION INTENSITY AND PERCEIVED SURVEILLANCE IN SMARTWATCHES: PRIVACY CONCERNS AND USAGE INTENTION

ABSTRACT
This study examines the relationship between perceived data collection intensity and perceived surveillance in smartwatches and the implications of this relationship for usage intention. It also evaluates the relationship between privacy concerns and perceived surveillance, as well as the moderating role of privacy concerns in the relationship between perceived data collection intensity and perceived surveillance. The scenario-based study included data from a total of 192 participants, with 85 participants in the high data collection group and 107 participants in the low data collection group. The data were analysed using partial least squares structural equation modelling (PLS-SEM) through SmartPLS.

The findings indicate that perceived data collection intensity ($\beta = 0.302$, $p < 0.001$) and privacy concerns ($\beta = 0.361$, $p < 0.001$) are positively associated with perceived surveillance. Perceived surveillance, in turn, is negatively associated with usage intention ($\beta = -0.369$, $p < 0.001$). The interaction between privacy concerns and perceived data collection intensity was also significant ($\beta = 0.183$, $p = 0.007$). In addition, the indirect effects of privacy concerns and perceived data collection intensity on usage intention through perceived surveillance were found to be negative and significant. The model explains 27.3% of the variance in perceived surveillance and 13.6% of the variance in usage intention.
The findings indicate that evaluations of smartwatch use should consider not only personal data collection practices but also the extent to which users perceive themselves as being monitored.
Keywords: Data collection intensity, perceived surveillance, privacy concerns, usage intention, smartwatch.

GİRİŞ

Akıllı saatler; hareket, sağlık ve günlük aktivite göstergelerinin izlenmesini sağlayan işlevlerinin yanı sıra, kullanıcıların kişisel verilerinin sürekli olarak toplanması ve işlenmesine dayalı bir teknolojik kullanım ortamı sunmaktadır. Bu cihazların benimsenmesi yalnızca teknik özellikler ve işlevsel faydalarla değil, aynı zamanda kullanıcıların sosyal, kişisel ve mahremiyete ilişkin değerlendirmeleriyle de ilişkilidir. Kim ve Cho (2019), bileğe takılan akıllı cihazların kabulünü sosyal normlar, sosyal imaj, öz yeterlik ve cihaz özellikleri çerçevesinde incelemiş ve benimseme sürecinin çok boyutlu bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu süreçte kişisel verilerin işlenmesine yönelik değerlendirmeler de önemli bir mahremiyet boyutu oluşturmaktadır (Li ve ark., 2016).

Mahremiyet hesabı yaklaşımı, bireylerin kişisel verilerini paylaşmaya yönelik kararlarını beklenen faydalar ile algılanan mahremiyet risklerini birlikte değerlendirerek verdiklerini öne sürmektedir. Li ve arkadaşları (2016), sağlık amaçlı giyilebilir cihazlar bağlamında algılanan faydanın benimseme niyetiyle pozitif, algılanan mahremiyet riskinin ise negatif yönde ilişkili olduğunu belirlemiştir. Benzer şekilde Peng ve arkadaşlarının (2021) gerçekleştirdiği meta-analizde, mahremiyet riski ile giyilebilir sağlık takip cihazlarının benimsenmesi arasında negatif yönlü bir ilişki raporlanmıştır. Bu bulgular, akıllı saatlerin ve diğer giyilebilir teknolojilerin benimsenmesinde işlevsel faydaların yanı sıra kişisel veri uygulamalarına ilişkin olumsuz değerlendirmelerin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Mahremiyetle ilişkili kavramların birbirinden ayrılması, bu ilişkilerin doğru biçimde değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Mahremiyet endişesi, kişisel verilerin toplanması, kullanılması ve bu veriler üzerindeki kontrol konusunda yaşanan kaygıları ifade ederken; algılanan gözetim, bireyin kendisini izleniyor veya faaliyetlerinin takip ediliyor hissetmesine ilişkin öznel değerlendirmesini ifade etmektedir (Groß, 2023; Segijn ve ark., 2022). Mahremiyetin korunmasına ilişkin algılar ise bu iki kavramdan farklı bir içeriğe sahiptir. Cheung ve arkadaşları (2019), mahremiyetin korunması algısının algılanan faydayla ilişkisini ve algılanan fayda üzerinden benimseme niyetine uzanan dolaylı ilişkisini anlamlı bulmamıştır. Bu nedenle mahremiyet riski, mahremiyet endişesi, mahremiyetin korunması ve algılanan gözetim kavramlarının birbirinin yerine kullanılmaması gerekmektedir.

Bu araştırmanın amacı, akıllı saat bağlamında algılanan veri toplama yoğunluğu ve mahremiyet endişesinin algılanan gözetimle ilişkisini ve algılanan gözetimin kullanım niyeti üzerindeki rolünü incelemektir. Bunun yanı sıra, algılanan veri toplama yoğunluğu ile algılanan gözetim arasındaki ilişkinin mahremiyet endişesi düzeyine bağlı olarak farklılaşıp farklılaşmadığı değerlendirilmektedir.

Araştırmada, katılımcılara sunulan yüksek ve düşük veri toplama senaryoları ile senaryo sonrasında ölçülen veri toplama algısı birbirinden ayrı değişkenler olarak ele alınmıştır. Bu yönüyle çalışma, akıllı saatlerde veri toplama uygulamalarına ilişkin algılar, mahremiyet endişesi, algılanan gözetim ve kullanım niyeti arasındaki doğrudan, dolaylı ve düzenleyici ilişkileri aynı araştırma modeli içerisinde değerlendirmektedir.

KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE HİPOTEZLER

Araştırmanın kavramsal çerçevesi, giyilebilir teknolojilerin benimsenmesine ilişkin mahremiyet hesabı yaklaşımı ile algılanan gözetim literatürüne dayanmaktadır. Bu doğrultuda, algılanan veri toplama yoğunluğu, mahremiyet endişesi, algılanan gözetim ve kullanım niyeti arasındaki ilişkiler ele alınmış ve araştırma hipotezleri ilgili literatür çerçevesinde oluşturulmuştur.

Algılanan Gözetim ve Kullanım Niyeti

Algılanan gözetim, bireyin faaliyetlerinin izlendiğine veya kişisel alanına dışarıdan erişildiğine ilişkin öznel değerlendirmesini ifade etmektedir. Bu değerlendirme, fiilen gerçekleşen gözetimin kapsamıyla örtüşmek zorunda değildir (Segijn ve ark., 2022). Kullanım niyeti ise bireyin belirli bir teknolojiyi gelecekte kullanmaya yönelik niyet ve planlarını ifade etmektedir (Venkatesh ve ark., 2003). Akıllı saat bağlamında bu iki kavramın birlikte ele alınması, cihazın kullanımına ilişkin değerlendirmelerin yalnızca işlevsel özelliklerden değil, kullanıcıların veri işleme uygulamalarını nasıl algıladıklarından da etkilenebileceği düşüncesine dayanmaktadır.

Li ve arkadaşlarının (2016) 333 katılımcıyla gerçekleştirdiği araştırmada, algılanan mahremiyet riski ile giyilebilir sağlık cihazlarını benimseme niyeti arasında negatif yönlü bir ilişki belirlenmiştir. Peng ve arkadaşlarının (2021) 50 makaledeki 59 çalışma ve örneklemi kapsayan meta-analizi de mahremiyet riski ile benimseme arasındaki negatif ilişkiyi desteklemektedir. Algılanan gözetim, mahremiyet riskiyle aynı kavramı ifade etmemekle birlikte, izlenme hissinin veri işleme uygulamalarına yönelik olumsuz değerlendirmelerle ilişkisini açıklamak bakımından bu bulgular önem taşımaktadır.

Zhang ve arkadaşları (2025), algılanan gözetimin reklam kişiselleştirme ayarlarını değiştirme niyetiyle pozitif yönde ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, gözetim algısının bireylerin veri uygulamalarını sınırlandırmaya yönelik tepkileriyle ilişkili olabileceğine işaret etmektedir. Akıllı saat kullanımının sürekli biçimde kişisel veri üretmesi dikkate alındığında, daha güçlü bir izlenme hissinin cihazı kullanma niyetiyle negatif yönde ilişkili olması beklenmektedir. Bu doğrultuda aşağıdaki hipotez oluşturulmuştur:

H1: Algılanan gözetim, akıllı saat kullanım niyetiyle negatif yönde ilişkilidir.

Mahremiyet Endişesi ve Veri Toplama Algısının Gözetimle İlişkisi

Mahremiyet endişesi, kişisel verilerin toplanması, bu veriler üzerindeki kontrol ve veri uygulamalarına ilişkin farkındalıkla bağlantılı bir değerlendirme alanıdır (Groß, 2023). Algılanan gözetim ise bu uygulamalar karşısında ortaya çıkan izlenme hissine odaklanmaktadır. Segijn ve arkadaşları (2022), algılanan gözetim ölçeğinin yapı geçerliliğini değerlendirirken mahremiyet endişesi ile algılanan gözetim arasındaki pozitif ilişkiyi incelemiştir. Bu kavramsal bağlantıdan hareketle, kişisel verilerinin işlenmesine ilişkin kaygıları daha yüksek olan bireylerin akıllı saatin izleme kapasitesini daha güçlü bir gözetim olarak değerlendirebileceği öngörülmektedir.

Algılanan veri toplama yoğunluğu, teknik olarak toplanan veri miktarından farklı olarak, kullanıcının veri toplama uygulamalarının kapsamına ilişkin öznel değerlendirmesini ifade etmektedir.

Bu araştırmada söz konusu değerlendirme; veri türlerinin çeşitliliği, veri toplamanın sürekliliği ve toplanan verilerden ayrıntılı çıkarımlar yapılabilmesi üzerinden ele alınmaktadır.

Zhang ve arkadaşları (2025), algoritmik profillerini daha doğru algılayan bireylerin daha yüksek gözetim algısı bildirdiğini belirlemiştir. Bu bulgu, veri işleme kapasitesine ilişkin öznel değerlendirmelerin izlenme hissiyle bağlantılı olabileceğini göstermektedir. Akıllı saatlerde farklı veri türlerinin sürekli biçimde toplandığının ve bu verilerden ayrıntılı çıkarımlar yapılabildiğinin düşünülmesi, bireyin faaliyetlerinin kapsamlı biçimde izlenebildiği yönündeki değerlendirmesini güçlendirebilir. Bu nedenle algılanan veri toplama yoğunluğunun algılanan gözetimle pozitif yönde ilişkili olması beklenmektedir.

Bu çerçevede aşağıdaki hipotezler oluşturulmuştur:

H2: Mahremiyet endişesi, algılanan gözetimle pozitif yönde ilişkilidir.

H3: Algılanan veri toplama yoğunluğu, algılanan gözetimle pozitif yönde ilişkilidir.

Gözetim Algısının Dolaylı İlişkilerdeki Rolü

Mahremiyet değerlendirmelerinin kullanım niyetiyle ilişkisi, ara değişkenler üzerinden de ele alınmaktadır. Adebesin ve Mwalugha (2020), algılanan mahremiyet ile giyilebilir sağlık cihazlarını kullanma niyeti arasında güven üzerinden anlamlı bir dolaylı ilişki raporlamıştır. Gözetim literatüründe ise Zhang ve arkadaşları (2025), algılanan algoritmik profil doğruluğunun reklam ayarlarını değiştirme niyetiyle algılanan gözetim üzerinden pozitif yönde dolaylı ilişkisini belirlemiştir.

Bu çalışmaların ele aldığı değişkenler ve sonuç ölçümleri birbirinden farklı olmakla birlikte, kişisel veri uygulamalarına ilişkin değerlendirmeler ile kullanıcıların davranışsal niyetleri arasındaki ilişkide ara değişkenlerin rol oynayabileceğini göstermektedir.

Bu araştırmada önerilen dolaylı ilişkiler iki temel ilişkiye dayanmaktadır. İlk olarak, mahremiyet endişesi ve algılanan veri toplama yoğunluğunun daha güçlü bir gözetim algısıyla ilişkili olması beklenmektedir. İkinci olarak, algılanan gözetimin kullanım niyetiyle negatif yönde ilişkili olması öngörülmektedir. Bu çerçevede, kişisel veri uygulamalarına ilişkin değerlendirmelerin kullanım niyetiyle ilişkisinde algılanan gözetim ara değişken olarak ele alınmaktadır.

Bu doğrultuda aşağıdaki hipotezler oluşturulmuştur:

H4a: Mahremiyet endişesi, algılanan gözetim aracılığıyla kullanım niyetiyle dolaylı ve negatif yönde ilişkilidir.

H4b: Algılanan veri toplama yoğunluğu, algılanan gözetim aracılığıyla kullanım niyetiyle dolaylı ve negatif yönde ilişkilidir.

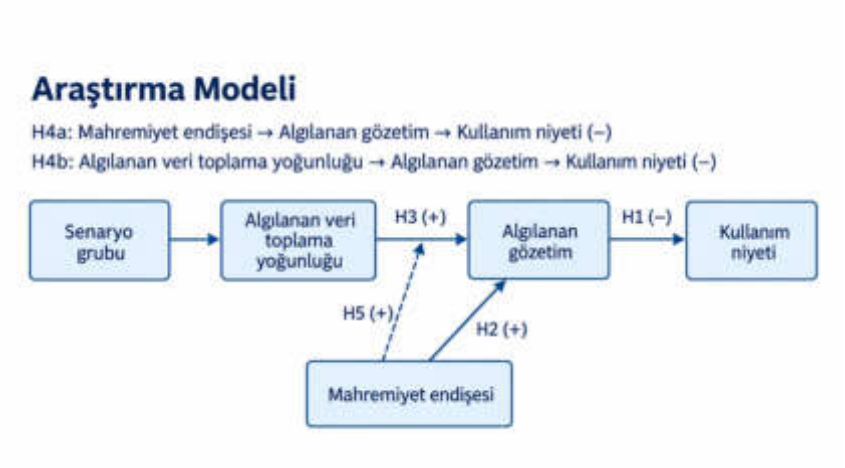
Mahremiyet Endişesinin Düzenleyici Rolü

Mahremiyet endişesinin algılanan gözetimle doğrudan ilişkisi, veri toplama algısı ile gözetim arasındaki ilişkinin bireylerin mahremiyet değerlendirmelerine göre farklılaşabileceği düşüncesini de gündeme getirmektedir. Groß'un (2023) ele aldığı veri toplama ve kontrol boyutları ile Segijn ve arkadaşlarının (2022) vurguladığı algılanan gözetimin öznel niteliği, bu ilişkinin kavramsal temelini oluşturmaktadır.

Bu çerçevede, veri toplamanın kapsamını yüksek algılayan bir bireyin aynı uygulamaları daha güçlü bir izlenme hissiyle ilişkilendirmesinin, mahremiyet endişesi yüksek olduğunda daha belirgin hâle gelebileceği öngörülmektedir. Başka bir ifadeyle, mahremiyet endişesinin artmasıyla birlikte algılanan veri toplama yoğunluğu ile algılanan gözetim arasındaki ilişkinin güçlenmesi beklenmektedir.

Bu doğrultuda aşağıdaki hipotez oluşturulmuştur:
H5: Mahremiyet endişesi arttıkça, algılanan veri toplama yoğunluğu ile algılanan gözetim arasındaki pozitif ilişki güçlenir.

Şekil 1. Araştırma modelinin yapısal ilişkileri



Not: Şema, araştırma modelinde ele alınan yapısal ilişkileri göstermektedir. Kesikli ok, mahremiyet endişesinin düzenleyici rolünü; düz oklar ise modeldeki doğrudan ilişkileri göstermektedir. H4a ve H4b, algılanan gözetim üzerinden kurulan dolaylı ilişkileri ifade etmektedir. Senaryo grubu ile senaryo sonrasında ölçülen algılanan veri toplama yoğunluğu birbirinden ayrı değişkenler olarak ele alınmıştır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Araştırma Deseni ve Ölçüm

Araştırma, iki farklı akıllı saat senaryosuna dayalı nicel bir araştırma deseniyle yürütülmüştür. Anket formları Google Formlar aracılığıyla hazırlanmış, veriler online ortamlarda toplanmıştır. Araştırmada kolayda örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Senaryo grubu değişkeni, 0 = yüksek veri toplama ve 1 = düşük veri toplama olacak şekilde kodlanmıştır. Her iki formda araştırmanın amacı, katılımın gönüllülük esasına dayandığı ve verilen yanıtların anonim olarak değerlendirileceği açıklanmış; katılımcılardan gönüllü katılım onayı alınmıştır. Senaryo grubundan algılanan veri toplama yoğunluğuna uzanan yol, senaryo koşullarının katılımcıların veri toplama algısındaki farklılaşmayla ilişkisini değerlendirmek amacıyla modele dâhil edilmiştir.

Yüksek veri toplama senaryosunda; gün boyunca hareket, konum, sağlık ve kullanım verilerinin toplanması, verilerin buluta aktarılması ve iş ortaklarıyla paylaşılabilmesi ifade edilmiştir. Düşük veri toplama senaryosunda ise açık izin doğrultusunda gerektiğinde veri toplanması, verilerin büyük ölçüde cihaz üzerinde işlenmesi, buluta aktarımın sınırlı tutulması ve iş ortaklarıyla paylaşılmaması vurgulanmıştır. Her iki grupta da aynı ölçüm soruları kullanılmıştır.

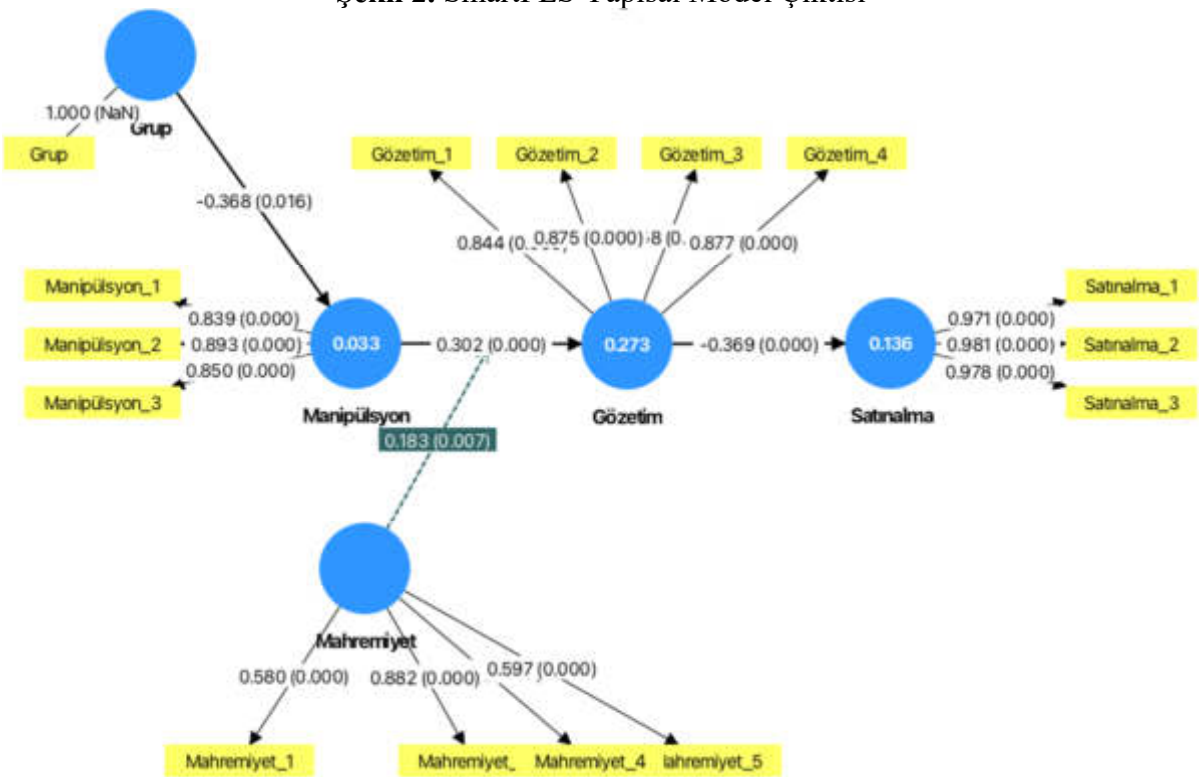
Araştırmada kullanılan ifadeler beşli Likert ölçeğiyle değerlendirilmiştir (1 = kesinlikle katılmıyorum; 5 = kesinlikle katılıyorum). Algılanan gözetim, Segijn ve arkadaşlarının (2022) geçerliliğini değerlendirdiği dört maddelik ölçeğin akıllı saat bağlamına uyarlanmasıyla ölçülmüştür. Kullanım niyeti, Venkatesh ve arkadaşlarının (2003) üç davranışsal niyet maddesinin 12 aylık zaman aralığına uyarlanmasıyla değerlendirilmiştir. Algılanan veri toplama yoğunluğu ise veri türlerinin çeşitliliği, veri toplamanın sürekliliği ve toplanan verilerden ayrıntılı çıkarımlar yapılabilmesine ilişkin üç maddeyle temsil edilmiştir.

Mahremiyet endişesine ilişkin ifadeler, Groß'un (2023) IUIPC-8 çalışmasında ele alınan farkındalık, veri toplama ve kontrol boyutlarıyla ilişkilidir. Anket formunda altı mahremiyet maddesi bulunmakla birlikte, analiz modelinde Mahremiyet_1, Mahremiyet_3, Mahremiyet_4 ve Mahremiyet_5 göstergeleri kullanılmıştır. Bu nedenle sekiz maddelik özgün IUIPC-8 ölçeği araştırmada aynen uygulanmamıştır. Formda yer alan minimum veri toplama ve kontrol kaybından rahatsız olmamaya ilişkin ters yönlü ifadeler yapısal modele dâhil edilmemiştir. Teknolojiye erken uyum ve algılanan faydaya ilişkin sorular da araştırma modelinde kullanılmamıştır.

Veriler SmartPLS programı kullanılarak kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesi (PLS-SEM) yöntemiyle analiz edilmiştir. Ölçüm modelinin değerlendirilmesinde iç tutarlılık güvenirliği, yakınsak geçerlilik, ayırt edici geçerlilik ve gösterge düzeyindeki VIF değerleri incelenmiştir. Yapısal modelin değerlendirilmesinde model uyum göstergeleri, yol katsayıları, açıklanan varyans değerleri, etkileşim terimi ve dolaylı etkiler dikkate alınmıştır. İlişkilerin istatistiksel anlamlılığı, bootstrap analizi sonucunda elde edilen t ve p değerleri üzerinden değerlendirilmiştir.

SmartPLS analiz dosyasında yer alan "Satınalma" kodu kullanım niyetini, "Manipülsyon" kodu algılanan veri toplama yoğunluğunu ve "Mahremiyet" kodu mahremiyet endişesini ifade etmektedir. Analiz tablolarında kaynak dosyada kullanılan değişken kodları ve sayısal gösterimler korunmuş, Türkçe karşılıkları tablo notlarında açıklanmıştır. Metin içerisinde ondalık ayıracı virgül olarak kullanılmış; yazılım çıktısında 0.000 olarak gösterilen p değerleri $p < 0{,}001$ biçiminde raporlanmıştır.

Şekil 2. SmartPLS Yapısal Model Çıktısı



Not: Şekil, SmartPLS analizinden elde edilen yapısal model görünümünü göstermektedir. Kaynak görselde bazı gösterge etiketleri üst üste binmektedir. Mahremiyet endişesi ile algılanan gözetim arasındaki ilişkiye ait yol katsayısı ($\beta = 0{,}361$; $p < 0{,}001$) yol katsayıları tablosunda raporlanmış olup görselde açık biçimde izlenememektedir. "Satınalma" kullanım niyetini, "Manipülsyon" ise algılanan veri toplama yoğunluğunu ifade etmektedir.

Veri Temizliği ve Örneklem

Araştırma kapsamında yüksek veri toplama grubunda 100 ve düşük veri toplama grubunda 130 olmak üzere toplam 230 anket yanıtı elde edilmiştir. Veri kalitesini değerlendirmek amacıyla ankette bir dikkat kontrol sorusu kullanılmıştır. Bu soruda katılımcılardan açıkça "Katılıyorum (4)" seçeneğini işaretlemeleri istenmiştir. Kontrol sorusunda belirtilen seçeneği işaretlemeyen katılımcılara ait formlar Excel ortamında belirlenerek analiz dışında bırakılmıştır. Veri temizliği sonucunda yüksek veri toplama grubundan 15, düşük veri toplama grubundan 23 olmak üzere toplam 38 form çıkarılmıştır. Analizler, yüksek veri toplama grubunda 85 ve düşük veri toplama grubunda 107 olmak üzere toplam 192 katılımcının verileri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Modelde kullanılan 14 göstergede eksik veri bulunmamaktadır.

Manipülasyon Kontrolü

Araştırma senaryolarında kurgulanan koşulların katılımcılar tarafından hedeflendiği biçimde algılanıp algılanmadığını değerlendirmek amacıyla bağımsız örneklemler t-testi (independent samples t-test) uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, yüksek veri toplama yoğunluğu içeren senaryoyu değerlendiren katılımcıların manipülasyon kontrol puanı ortalamaları (Ort. = 3,89, Ss. = 0,86), düşük veri toplama yoğunluğu içeren senaryoyu değerlendiren grubun ortalamalarından (Ort. = 3,56, Ss. = 0,88) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ($t(190) = 2,595$, $p = 0,010$). Bu bulgular, gruplar arasındaki farkın beklendiği yönde gerçekleştiğini ve veri toplama yoğunluğuna yönelik deneysel manipülasyonun başarılı olduğunu doğrulamaktadır.

Katılımcıların Özellikleri

Katılımcıların %32,8'i 25–34 yaş, %29,2'si 35–44 yaş, %21,9'u 18–24 yaş ve %16,1'i 45 yaş ve üzeri grupta yer almaktadır. Katılımcıların %39,6'sı hâlihazırda akıllı saat kullanırken, %25,0'ı akıllı saat kullanmamakla birlikte gelecekte kullanmayı düşündüğünü belirtmiştir. Akıllı saat kullanmayan ve kullanmayı düşünmeyen katılımcıların oranı ise %35,4'tür. Katılımcıların yaş ve akıllı saat kullanım durumlarına ilişkin grup bazındaki dağılımları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Katılımcı profili (N = 192)

Değişken	Kategori	Yüksek veri (n)	Düşük veri (n)	Toplam (n)	%
Yaş	18–24	33	9	42	21,9
	25–34	19	44	63	32,8
	35–44	19	37	56	29,2
	45 ve üzeri	14	17	31	16,1
Akıllı saat kullanımı	Kullanıyor	26	50	76	39,6
	Kullanmıyor; kullanmayı düşünüyor	22	26	48	25,0
	Kullanmıyor; kullanmayı düşünmüyor	37	31	68	35,4

Not: Yüzdelerde yuvarlama nedeniyle toplam %100'den farklı olabilir.

Ölçüm Modelinin Değerlendirilmesi

Tablo 2. Ölçeklerin Güvenilirlik ve Yakınsak Geçerlilik Sonuçları

	Cronbach's alpha	**Composite reliability (rho_a)**	**Composite reliability (rho_c)**	**Average variance extracted (AVE)**
Gözetim	0.887	0.896	0.921	0.746
Mahremiyet	0.769	0.887	0.837	0.572
Veri Yoğunluğu	0.827	0.841	0.896	0.741
Satınalma	0.976	0.976	0.984	0.954

Not: Cronbach's alpha, ölçeğin iç tutarlılık güvenirliğini; Composite reliability (rho_A) ve Composite reliability (rho_C), bileşik güvenirlik katsayılarını; Average variance extracted (AVE) ise açıklanan ortalama varyansı ifade etmektedir. Gözetim: algılanan gözetim; Mahremiyet: mahremiyet endişesi; Satınalma: kullanım niyeti.

Ölçüm modeline ilişkin sonuçlar incelendiğinde, Cronbach alfa değerlerinin 0,769 ile 0,976, rho_A değerlerinin 0,841 ile 0,976 ve rho_C değerlerinin 0,837 ile 0,984 arasında değiştiği görülmektedir. AVE değerleri ise 0,572 ile 0,954 arasında bulunmuştur. Elde edilen değerler, araştırmada kullanılan yapıların iç tutarlılık güvenirliği ve yakınsak geçerliliği açısından genel olarak yeterli bir görünüm ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, kullanım niyeti yapısına ilişkin yüksek güvenirlik katsayıları, maddelerin birbirine yakın içerikleri ve gösterge düzeyindeki VIF değerleriyle birlikte değerlendirilmiştir. Bu nedenle ölçüm modeline ilişkin değerlendirmeler yalnızca güvenirlik katsayılarına dayandırılmamıştır.

Tablo 3. HTMT Matrisi

	Gözetim	**Mahremiyet**	**Manipülsyon**	**Satınalma**	**Grup**	**Mahremiyet x Manipülsyon**
Gözetim						
Mahremiyet	0.370					
Veri Yoğunluğu	0.390	0.210				
Satınalma	0.390	0.316	0.112			
Grup	0.155	0.139	0.202	0.151		
Mahremiyet x Veri Yoğunluğu	0.181	0.259	0.023	0.121	0.122	

Not: HTMT (Heterotrait-Monotrait Ratio), yapılar arasındaki ayırt edici geçerliliğin değerlendirilmesinde kullanılan orandır. Gözetim: algılanan gözetim; Mahremiyet: mahremiyet endişesi; Satınalma: kullanım niyeti; Grup: senaryo grubu; Mahremiyet × Veri Yoğunluğu: mahremiyet endişesi ile algılanan veri toplama yoğunluğu arasındaki etkileşim terimidir. Grup değişkeni ve etkileşim terimi, dört temel yapının ayırt edici geçerlilik değerlendirmesine dâhil edilmemiştir.

Ayırt edici geçerlilik, HTMT oranları üzerinden değerlendirilmiştir. Algılanan gözetim, mahremiyet endişesi, algılanan veri toplama yoğunluğu ve kullanım niyeti arasındaki HTMT değerlerinin 0,112 ile 0,390 arasında değiştiği görülmektedir.

Elde edilen değerler, dört yapının birbirinden ayırt edilebilir olduğunu göstermektedir. Senaryo grubu tek maddeli bir değişken olduğundan, mahremiyet endişesi ile algılanan veri toplama yoğunluğunun etkileşiminden oluşan etkileşim terimi ise ayrı bir yapı olarak değerlendirilmediğinden, bu iki değişken ayırt edici geçerlilik yorumuna dâhil edilmemiştir.

Tablo 4. Gösterge Düzeyindeki VIF Değerleri

	VIF
Gözetim_1	1.961
Gözetim_2	2.655
Gözetim_3	2.743
Gözetim_4	2.415
Mahremiyet_1	1.328
Mahremiyet_3	1.896
Mahremiyet_4	2.111
Mahremiyet_5	1.434
Veri Yoğunluğu _1	2.050
Veri Yoğunluğu _2	2.260
Veri Yoğunluğu _3	1.641
Satınalma_1	7.810
Satınalma_2	12.412
Satınalma_3	11.398
Grup	1.000
Mahremiyet x Veri Yoğunluğu	1.000

Not: VIF (Variance Inflation Factor), varyans büyütme faktörünü ifade etmektedir. Bu tabloda gösterge düzeyindeki VIF değerleri sunulmuştur. Gösterge kodları SmartPLS analiz dosyasındaki biçimiyle korunmuştur. Gözetim: algılanan gözetim; Mahremiyet: mahremiyet endişesi; Veri Yoğunluğu: algılanan veri toplama yoğunluğu; Satınalma: kullanım niyeti.

Gösterge düzeyindeki VIF değerleri incelendiğinde, algılanan gözetim, mahremiyet endişesi ve algılanan veri toplama yoğunluğu göstergelerinde değerlerin görece düşük düzeylerde kaldığı görülmektedir. Buna karşılık kullanım niyeti göstergeleri için VIF değerleri Satınalma_1'de 7,810, Satınalma_2'de 12,412 ve Satınalma_3'te 11,398 olarak hesaplanmıştır. Kullanım niyetine ilişkin bu yüksek değerler, aynı yapıyı ölçen maddelerin birbirine oldukça yakın içerikte olması ve Tablo 2'de görülen yüksek güvenirlik katsayılarıyla birlikte değerlendirilmiştir. Ayrıca mahremiyet endişesi göstergelerinden bazılarının dış yüklerinin 0,70'in altında kalması ölçüm modeline ilişkin sınırlılıklar arasında dikkate alınmıştır. Bu nedenle ölçüm modeline ilişkin sonuçlar, tek bir göstergeye dayalı olarak değil, güvenirlik ve geçerlilik sonuçları birlikte değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Model Uyumu ve Açıklanan Varyans

Tablo 5. Model Uyum Göstergeleri

	Saturated model	**Estimated model**
SRMR	0.072	0.091
d_ULS	0.616	0.993
d_G	0.277	0.349
Chi-square	321.836	416.514
NFI	0.836	0.788

Not: Saturated model, doyurulmuş modeli; Estimated model, tahmin edilen modeli; SRMR (Standardized Root Mean Square Residual), standartlaştırılmış artıkların karekök ortalamasını; d_ULS, karesel Öklid uzaklığını; d_G, jeodezik uzaklığı; Chi-square, ki-kare değerini; NFI (Normed Fit Index) ise normlaştırılmış uyum indeksini ifade etmektedir. d_ULS ve d_G değerlerine ilişkin bootstrap sınır değerleri mevcut analiz çıktısında bulunmamaktadır.

Modelin veri setine uygunluğunu ve istatistiksel geçerliliğini değerlendirmek amacıyla yapısal modelin uyum göstergeleri incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, tahmin edilen model için SRMR değeri 0,091, Ki-kare (Chi-square) değeri 416,514 ve NFI değeri 0,788 olarak bulunmuştur. Kıyaslama açısından doyurulmuş (saturated) modelde ise SRMR 0,072, Ki-kare 321,836 ve NFI 0,836 olarak elde edilmiştir. PLS-SEM analizlerinde yaklaşık model uyumunun temel ölçütü olarak kabul edilen SRMR değeri tahmin edilen model için 0,091 olarak hesaplanmış olup; bu değer 0,08'lik katı sınırın (Hu ve Bentler, 1999) bir miktar üzerinde olsa da, Hair vd. (2017) tarafından esnek bir eşik olarak kabul edilen 0,10 değerinin altında kalmaktadır. Bu doğrultuda, özellikle senaryo tabanlı araştırmaların yapısı ve model karmaşıklığı göz önüne alındığında, mevcut SRMR değerinin yeterli bir genel uyum sağladığı kabul edilmiştir. Tahmin edilen modelin NFI (0,788) ve diğer uyum metrikleri (d_ULS= 0,993; d_G= 0,349) ise, PLS-SEM tabanlı algoritmaların doğası gereği kesin bir reddedilme kriterinden ziyade betimleyici göstergeler olarak değerlendirilmiş ve modelin geçerliliğini destekleyici ek unsurlar olarak raporlanmıştır.

Tablo 6. Açıklanan Varyans Değerleri

	R-square	**R-square adjusted**
Gözetim	0.273	0.262
Veri Yoğunluğu	0.033	0.028
Satınalma	0.136	0.131

Not: R-square (R^2), bağımlı yapıdaki açıklanan varyans oranını; R-square adjusted ise düzeltilmiş R^2 değerini ifade etmektedir. Gözetim: algılanan gözetim; Manipülsyon: algılanan veri toplama yoğunluğu; Satınalma: kullanım niyeti.

Modelin açıklama gücü incelendiğinde, algılanan gözetim için R^2 değeri 0,273, kullanım niyeti için ise 0,136 olarak elde edilmiştir. Buna göre araştırma modeli, algılanan gözetimdeki varyansın %27,3'ünü ve kullanım niyetindeki varyansın %13,6'sını açıklamaktadır. Algılanan veri toplama yoğunluğu için R^2 değeri ise 0,033 olarak belirlenmiştir.

Doğrudan İlişkiler ve Etkileşim

Tablo 7. Yol Katsayıları

Path Coefficient	Original sample (O)	Sample mean (M)	Standard deviation (STDEV)	T statistics (|O/STDEV|)	P values
Gözetim -> Satınalma	-0.369	-0.370	0.069	5.329	0.000
Mahremiyet -> Gözetim	0.361	0.373	0.063	5.738	0.000
Mahremiyet x Veri Yoğunluğu -> Gözetim	0.183	0.187	0.068	2.688	0.007
Veri Yoğunluğu -> Gözetim	0.302	0.310	0.076	3.959	0.000
Grup -> Veri Yoğunluğu	-0.368	-0.374	0.152	2.418	0.016

Not: Path Coefficient, yol katsayısını; Original sample (O), orijinal örneklem katsayısını; Sample mean (M), bootstrap örneklemlerinin ortalama katsayısını; Standard deviation (STDEV), bootstrap standart sapmasını; T statistics, t istatistiğini; P values ise p değerini ifade etmektedir. Gözetim: algılanan gözetim; Mahremiyet: mahremiyet endişesi; Veri Yoğunluğu: algılanan veri toplama yoğunluğu; Satınalma: kullanım niyeti; Grup: senaryo grubu (0 = yüksek veri toplama, 1 = düşük veri toplama); Mahremiyet × Veri Yoğunluğu: mahremiyet endişesi ile algılanan veri toplama yoğunluğu arasındaki etkileşim terimidir. Yazılım çıktısında 0.000 olarak gösterilen p değerleri metin içerisinde $p < 0{,}001$ biçiminde raporlanmıştır.

Yol analizi sonuçlarına göre, algılanan gözetim ile kullanım niyeti arasındaki ilişki negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($\beta = -0{,}369$; $p < 0{,}001$). Bu bulgu H1 hipotezini desteklemektedir. Mahremiyet endişesi ile algılanan gözetim arasındaki ilişki pozitif ve anlamlıdır ($\beta = 0{,}361$; $p < 0{,}001$); dolayısıyla H2 hipotezi desteklenmiştir. Algılanan veri toplama yoğunluğunun algılanan gözetim üzerindeki etkisi de pozitif ve anlamlı bulunmuştur ($\beta = 0{,}302$; $p < 0{,}001$). Bu sonuç H3 hipotezini desteklemektedir.
Mahremiyet endişesi ile algılanan veri toplama yoğunluğunun etkileşim teriminin algılanan gözetim üzerindeki etkisi pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($\beta = 0{,}183$; $p = 0{,}007$). Buna göre mahremiyet endişesi arttıkça, algılanan veri toplama yoğunluğu ile algılanan gözetim arasındaki pozitif ilişkinin güçlendiği görülmektedir. Bu bulgu H5 hipotezini desteklemektedir.

Dolaylı Etkiler

Tablo 8. Toplam Dolaylı Etkiler

Total Indirect Effect	Original sample (O)	Sample mean (M)	Standard deviation (STDEV)	T statistics (|O/STDEV|)	P values
Mahremiyet -> Satınalma	-0.133	-0.139	0.039	3.457	0.001
Mahremiyet x Veri Yoğunluğu -> Satınalma	-0.068	-0.069	0.029	2.332	0.020
Veri Yoğunluğu -> Satınalma	-0.111	-0.114	0.034	3.316	0.001
Grup -> Gözetim	-0.111	-0.116	0.058	1.920	0.055
Grup -> Satınalma	0.041	0.042	0.021	1.961	0.050

Not: Total Indirect Effect, toplam dolaylı etkiyi; Original sample (O), orijinal örneklem katsayısını; Sample mean (M), bootstrap örneklemlerinin ortalama katsayısını; Standard deviation (STDEV), bootstrap standart sapmasını; T statistics, t istatistiğini; P values ise p değerini ifade etmektedir. Gözetim: algılanan gözetim; Mahremiyet: mahremiyet endişesi; Manipülsyon: algılanan veri toplama yoğunluğu; Satınalma: kullanım niyeti; Grup: senaryo grubu; Mahremiyet × Manipülsyon: etkileşim terimidir.

Tablo 9. Spesifik Dolaylı Etkiler

Specific Indirect Effect	Original sample (O)	Sample mean (M)	Standard deviation (STDEV)	T statistics (|O/STDEV|)	P values
Grup -> Veri Yoğunluğu -> Gözetim	-0.111	-0.116	0.058	1.920	0.055
Mahremiyet -> Gözetim -> Satınalma	-0.133	-0.139	0.039	3.457	0.001
Veri Yoğunluğu -> Gözetim -> Satınalma	-0.111	-0.114	0.034	3.316	0.001
Mahremiyet x Veri Yoğunluğu -> Gözetim -> Satınalma	-0.068	-0.069	0.029	2.332	0.020
Grup -> Veri Yoğunluğu -> Gözetim -> Satınalma	0.041	0.042	0.021	1.961	0.050

Not: Specific Indirect Effect, belirli bir yol üzerinden gerçekleşen dolaylı etkiyi ifade etmektedir. Original sample (O), orijinal örneklem katsayısını; Sample mean (M), bootstrap örneklemlerinin ortalama katsayısını; Standard deviation (STDEV), bootstrap standart sapmasını; T statistics, t istatistiğini; P values ise p değerini ifade etmektedir. Gözetim: algılanan gözetim; Mahremiyet: mahremiyet endişesi; Veri Yoğunluğu: algılanan veri toplama yoğunluğu; Satınalma: kullanım niyeti; Grup: senaryo grubu; Mahremiyet × Veri Yoğunluğu: etkileşim terimidir.

Dolaylı etki sonuçlarına göre, mahremiyet endişesinin algılanan gözetim üzerinden kullanım niyetine uzanan dolaylı etkisi negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($\beta = -0{,}133$; $p = 0{,}001$). Bu bulgu H4a hipotezini desteklemektedir. Algılanan veri toplama yoğunluğunun algılanan gözetim üzerinden kullanım niyetine uzanan dolaylı etkisi de negatif ve anlamlı bulunmuştur ($\beta = -0{,}111$; $p = 0{,}001$). Bu sonuç H4b hipotezini desteklemektedir.

Bunun yanında, mahremiyet endişesi ile algılanan veri toplama yoğunluğunun etkileşim teriminin algılanan gözetim üzerinden kullanım niyetine uzanan dolaylı etkisi negatif ve anlamlıdır (β = −0,068; p = 0,020). Senaryo grubunun algılanan veri toplama yoğunluğu üzerinden algılanan gözetime uzanan dolaylı etkisi ise %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı bulunmamıştır (β = −0,111; p = 0,055). Senaryo grubunun kullanım niyetine uzanan dolaylı yolunda p = 0,050 elde edilmiş olup, sonuç eşik düzeyde değerlendirilmiştir.

Tablo 10. Toplam Etkiler

Total Effect	Original sample (O)	Sample mean (M)	Standard deviation (STDEV)	T statistics (|O/STDEV|)	P values
Gözetim -> Satınalma	-0.369	-0.370	0.069	5.329	0.000
Mahremiyet -> Gözetim	0.361	0.373	0.063	5.738	0.000
Mahremiyet -> Satınalma	-0.133	-0.139	0.039	3.457	0.001
Mahremiyet x Veri Yoğunluğu -> Gözetim	0.183	0.187	0.068	2.688	0.007
Mahremiyet x Veri Yoğunluğu -> Satınalma	-0.068	-0.069	0.029	2.332	0.020
Veri Yoğunluğu -> Gözetim	0.302	0.310	0.076	3.959	0.000
Veri Yoğunluğu -> Satınalma	-0.111	-0.114	0.034	3.316	0.001
Grup -> Gözetim	-0.111	-0.116	0.058	1.920	0.055
Grup -> Veri Yoğunluğu	-0.368	-0.374	0.152	2.418	0.016
Grup -> Satınalma	0.041	0.042	0.021	1.961	0.050

Not: Total Effect, doğrudan ve dolaylı etkilerin toplamını; Original sample (O), orijinal örneklem katsayısını; Sample mean (M), bootstrap örneklemlerinin ortalama katsayısını; Standard deviation (STDEV), bootstrap standart sapmasını; T statistics, t istatistiğini; P values ise p değerini ifade etmektedir. Gözetim: algılanan gözetim; Mahremiyet: mahremiyet endişesi; Veri Yoğunluğu: algılanan veri toplama yoğunluğu; Satınalma: kullanım niyeti; Grup: senaryo grubu; Mahremiyet × Veri Yoğunluğu: mahremiyet endişesi ile algılanan veri toplama yoğunluğu arasındaki etkileşim terimidir. Yazılım çıktısında 0.000 olarak gösterilen p değerleri metin içerisinde p < 0,001 biçiminde raporlanmıştır.

Toplam etki sonuçları incelendiğinde, algılanan gözetimin kullanım niyeti üzerindeki toplam etkisi negatif ve anlamlıdır (β = −0,369; p < 0,001). Mahremiyet endişesinin kullanım niyeti üzerindeki toplam etkisi de negatif ve anlamlıdır (β = −0,133; p = 0,001). Benzer şekilde, algılanan veri toplama yoğunluğunun kullanım niyeti üzerindeki toplam etkisi negatif ve anlamlı bulunmuştur (β = −0,111; p = 0,001). Mahremiyet endişesi ile algılanan veri toplama yoğunluğunun etkileşim teriminin kullanım niyeti üzerindeki toplam etkisi de negatif ve anlamlıdır (β = −0,068; p = 0,020).
Senaryo grubunun algılanan gözetim üzerindeki toplam etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (β = −0,111; p = 0,055). Senaryo grubunun kullanım niyeti üzerindeki toplam etkisi ise p = 0,050 ile eşik düzeyde gerçekleşmiştir. Bu nedenle grup değişkenine ilişkin sonuçlar temkinli biçimde değerlendirilmiştir.

TARTIŞMA

Algılanan gözetim ile kullanım niyeti arasında belirlenen negatif ilişki, akıllı saat kullanımına ilişkin değerlendirmelerde kişisel veri uygulamalarına yönelik algıların önemli olduğunu göstermektedir.

Bu bulgu, Li ve arkadaşlarının (2016) giyilebilir sağlık cihazlarında mahremiyet riski ile benimseme niyeti arasında belirlediği negatif ilişkiyle ve Peng ve arkadaşlarının (2021) meta-analizinde raporlanan sonuçlarla genel yön bakımından uyumludur. Bununla birlikte, söz konusu çalışmalar mahremiyet riskini ele alırken bu araştırmada algılanan gözetim incelenmiştir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar aynı yapının doğrudan tekrarı olarak değil, mahremiyetle ilişkili farklı değerlendirmelerin kullanım niyetiyle bağlantısını destekleyen bulgular olarak ele alınmalıdır. Cheung ve arkadaşlarının (2019) mahremiyetin korunması algısının benimseme sürecindeki rolüne ilişkin sonuçları da mahremiyetle ilişkili kavramların birbirinden ayrılarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Algılanan veri toplama yoğunluğu ile algılanan gözetim arasındaki pozitif ilişki, kullanıcıların veri işleme uygulamalarına ilişkin öznel değerlendirmelerinin izlenme hissiyle bağlantılı olduğunu göstermektedir. Zhang ve arkadaşları (2025), algoritmik profil doğruluğuna ilişkin algının gözetim algısıyla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Mevcut araştırmada ise veri toplamanın kapsamına ilişkin algı ele alınmaktadır. Bu bakımdan her iki çalışma, teknolojik sistemlerin veri işleme kapasitesinin kullanıcı tarafından nasıl algılandığının gözetim hissi açısından önem taşıdığına işaret etmektedir.

Mahremiyet endişesinin algılanan gözetimle pozitif ilişkili olması, kişisel verilerinin toplanması ve kullanılması konusunda daha fazla kaygı duyan bireylerin akıllı saatlerin veri uygulamalarını daha güçlü bir izlenme hissiyle ilişkilendirebildiğini göstermektedir. Ayrıca mahremiyet endişesi ile algılanan veri toplama yoğunluğu arasındaki etkileşimin anlamlı olması, veri toplama yoğunluğu ile gözetim algısı arasındaki ilişkinin mahremiyet endişesine bağlı olarak farklılaştığını ortaya koymaktadır. Bu sonuç, mahremiyet endişesinin yalnızca algılanan gözetimle doğrudan ilişkili olmadığını, aynı zamanda veri toplama algısının gözetimle bağlantısında düzenleyici bir rol üstlendiğini göstermektedir.

Gültepe'nin (2026) en az bir yıllık akıllı saat deneyimine sahip 13 katılımcıyla gerçekleştirdiği nitel araştırmada, cihazlardan elde edilen faydaların bazı durumlarda mahremiyet kaygılarını geri plana itebildiği ve gözetimin gündelik kullanım içerisinde olağanlaşabildiği belirtilmiştir. Bu bulgular mevcut araştırmadaki düzenleyici ilişkiyi doğrudan test etmemekle birlikte, mahremiyet değerlendirmelerinin kullanım bağlamı ve kullanıcı deneyimleriyle birlikte ele alınmasının önemini desteklemektedir.

Algılanan gözetim üzerinden kullanım niyetine uzanan dolaylı etkilerin negatif ve anlamlı bulunması, mahremiyet endişesi ve algılanan veri toplama yoğunluğunun kullanım niyetiyle ilişkisinde algılanan gözetimin önemli bir ara değişken olduğunu göstermektedir. Buna göre daha yüksek mahremiyet endişesi ve daha yoğun veri toplama algısı, daha güçlü bir gözetim algısıyla bağlantılı olmakta; artan gözetim algısı ise kullanım niyetinin azalmasıyla ilişkilendirilmektedir. Bununla birlikte, araştırmada mahremiyet endişesi ve algılanan veri toplama yoğunluğundan kullanım niyetine doğrudan yollar yer almadığından, dolaylı etkiler tam veya kısmi aracılık sınıflandırması çerçevesinde değerlendirilmemiştir.

Modelin kullanım niyetindeki varyansın %13,6'sını açıklaması, akıllı saat kullanım niyetinin araştırmada ele alınan değişkenlerin yanı sıra başka faktörlerle de ilişkili olabileceğini göstermektedir. Goodings ve arkadaşları (2025), akıllı saatleri kullanmaya devam etme niyetinin alışkanlık ve memnuniyetle ilişkili olduğunu bildirmiştir. Kim ve Cho (2019) ise sosyal normlar, sosyal imaj, öz yeterlik ve cihaz özelliklerinin akıllı cihazların benimsenmesindeki rolünü ortaya koymuştur. Bu doğrultuda, gelecekteki araştırmalarda algılanan fayda, alışkanlık, memnuniyet ve sosyal etkiler gibi değişkenlerin modele dâhil edilmesi kullanım niyetinin daha kapsamlı biçimde açıklanmasına katkı sağlayabilir.

Senaryo grubunun algılanan veri toplama yoğunluğuyla negatif ve anlamlı ilişkisi, yüksek ve düşük veri toplama senaryolarının katılımcıların veri toplama algılarında farklılaşmayla bağlantılı olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, senaryolar yalnızca veri toplama miktarını değil; izin, buluta aktarım, paylaşım ve kullanıcı kontrolü gibi çeşitli veri uygulamalarını da birlikte değiştirmektedir. Goodings ve arkadaşları (2025), veri paylaşımına yönelik rahatlığın paylaşım yöntemi ve anonimleştirme düzeyine göre değişebildiğini; Abdelhamid (2021) ise ayrıntılı paylaşım kontrolünün fitness verilerini paylaşma niyetiyle pozitif ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda izin, paylaşım ve kontrol gibi unsurların ayrı ayrı ele alınması, veri toplama uygulamalarının etkilerinin daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesini sağlayabilir.

SONUÇ

Bu araştırmada, akıllı saat bağlamında algılanan veri toplama yoğunluğu ve mahremiyet endişesinin algılanan gözetimle pozitif yönde ilişkili olduğu, algılanan gözetimin ise kullanım niyetiyle negatif yönde ilişkili olduğu belirlenmiştir. Mahremiyet endişesi ile algılanan veri toplama yoğunluğunun algılanan gözetim üzerinden kullanım niyetine uzanan dolaylı etkilerinin de negatif ve anlamlı olduğu görülmüştür. Bu bulgular, akıllı saatlerin değerlendirilmesinde kişisel verilerin toplanmasına ilişkin kullanıcı algıları ile izlenme hissinin birlikte ele alınmasının önemini göstermektedir.

Mahremiyet endişesi ile algılanan veri toplama yoğunluğu arasındaki etkileşim teriminin pozitif ve anlamlı olması, algılanan veri toplama yoğunluğu ile algılanan gözetim arasındaki ilişkinin mahremiyet endişesi düzeyine bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir. Buna göre mahremiyet endişesinin artmasıyla birlikte veri toplama yoğunluğu algısının gözetim algısıyla olan pozitif ilişkisinin güçlendiği görülmektedir. Bununla birlikte, farklı mahremiyet düzeylerine ilişkin basit eğim sonuçlarının mevcut analiz çıktılarında bulunmaması, düzenleyici ilişkinin ayrıntılı biçimde yorumlanmasını sınırlandırmaktadır.

Uygulama açısından değerlendirildiğinde, akıllı saat üreticilerinin ve hizmet sağlayıcılarının hangi verilerin hangi amaçlarla toplandığını, verilerin kimlerle paylaşılabileceğini ve kullanıcıların kişisel verileri üzerindeki kontrol seçeneklerini açık ve anlaşılır biçimde sunmaları önem taşımaktadır. Bununla birlikte, bu araştırmada şeffaflık, paylaşım ve kontrol seçeneklerinin bağımsız etkileri ayrı ayrı sınanmadığından, söz konusu uygulamaların kullanım niyetini doğrudan artıracağı yönünde kesin bir çıkarım yapılmamalıdır.

Araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle kolayda örnekleme yönteminin kullanılması ve araştırmanın 192 katılımcıyla gerçekleştirilmesi, bulguların tüm akıllı saat kullanıcılarına genellenmesini sınırlandırmaktadır. Yaş grupları ve mevcut akıllı saat kullanım durumlarının senaryo grupları arasında farklılaşması da bulgular değerlendirilirken dikkate alınmalıdır. Ayrıca araştırmada ölçülen kullanım niyeti gerçek kullanım davranışını değil, katılımcıların gelecekteki kullanım eğilimlerini ifade etmektedir.

Araştırmada kullanılan senaryolar; veri toplama yoğunluğunun yanı sıra izin, buluta aktarım, veri paylaşımı ve kullanıcı kontrolü gibi birden fazla unsuru birlikte değiştirmektedir. Bu nedenle senaryo grupları arasında ortaya çıkan farklılıkların yalnızca veri toplama yoğunluğundan kaynaklandığı sonucuna varılamaz. Gelecek araştırmalarda bu unsurların birbirinden bağımsız biçimde ele alınması, her bir veri uygulamasının kullanıcı algıları ve kullanım niyeti üzerindeki rolünün daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesini sağlayabilir.

Ölçüm açısından da bazı sınırlılıklar bulunmaktadır. Kullanım niyeti maddelerinin birbirine oldukça yakın olması ve bazı mahremiyet maddelerinin özgün ölçek yapısından farklılaşması bu kapsamda değerlendirilmelidir. Ölçeklerin beşli Likert derecelendirmesine ve akıllı saat bağlamına uyarlanması nedeniyle kaynak çalışmalardaki geçerlilik sonuçlarının bu araştırma için doğrudan geçerli olduğu varsayılmamalıdır. International Test Commission (2017), ölçek uyarlamalarında dilsel, psikolojik ve kültürel eşdeğerliğin değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Gelecek çalışmalarda ölçek maddelerinin yeniden değerlendirilmesi, grupların daha dengeli oluşturulması ve gerçek kullanım davranışının zaman içerisinde izlenmesi önerilebilir.

KAYNAKÇA

Abdelhamid, M. (2021). Fitness tracker information and privacy management: Empirical study. *Journal of Medical Internet Research, 23*(11), Article e23059. https://doi.org/10.2196/23059

Adebesin, F., & Mwalugha, R. (2020). The mediating role of organizational reputation and trust in the intention to use wearable health devices: Cross-country study. *JMIR mHealth and uHealth, 8*(6), Article e16721. https://doi.org/10.2196/16721

Cheung, M. L., Chau, K. Y., Lam, M. H. S., Tse, G., Ho, K. Y., Flint, S. W., Broom, D. R., Tso, E. K. H., & Lee, K. Y. (2019). Examining consumers' adoption of wearable healthcare technology: The role of health attributes. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 16*(13), Article 2257. https://doi.org/10.3390/ijerph16132257

Goodings, A. J., Fadahunsi, K. P., Tarn, D. M., Lutomski, J., Chhor, A., Shiely, F., Henn, P., & O'Donoghue, J. (2025). Determinants of continuous smartwatch use and data-sharing preferences with physicians, public health authorities, and private companies: Cross-sectional survey of smartwatch users. *Journal of Medical Internet Research, 27*, Article e67414. https://doi.org/10.2196/67414

Groß, T. (2023). Toward valid and reliable privacy concern scales: The example of IUIPC-8. In N. Gerber, A. Stöver, & K. Marky (Eds.), *Human factors in privacy research* (pp. 55–81). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28643-8_4

Gültepe, M. (2026). Katılımcı gözetim ve giyilebilir teknolojiler: Akıllı saatlerin mahremiyet, veri mülkiyeti ve öz-yönetim üzerindeki etkisi. *Yeni Medya*, (20), 120–139. https://doi.org/10.55609/yenimedya.1750050

Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 6(1), 1–55. https://doi.org/10.1080/10705519909540118

International Test Commission. (2017). *The ITC guidelines for translating and adapting tests* (2nd ed., version 2.4). https://members.intestcom.org/files/guideline_test_adaptation_2ed.pdf

Kim, S. J., & Cho, J. (2019). Technological and personal factors of determining the acceptance of wrist-worn smart devices. *Asian Journal for Public Opinion Research, 7*(3), 143–168. https://doi.org/10.15206/ajpor.2019.7.3.143

Li, H., Wu, J., Gao, Y., & Shi, Y. (2016). Examining individuals' adoption of healthcare wearable devices: An empirical study from privacy calculus perspective. *International Journal of Medical Informatics, 88*, 8–17. https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2015.12.010

Peng, C., Zhao, H., & Zhang, S. (2021). Determinants and cross-national moderators of wearable health tracker adoption: A meta-analysis. *Sustainability, 13*(23), Article 13328. https://doi.org/10.3390/su132313328

Segijn, C. M., Opree, S. J., & van Ooijen, I. (2022). The validation of the perceived surveillance scale. *Cyberpsychology: Journal of Psychosocial Research on Cyberspace, 16*(3), Article 9. https://doi.org/10.5817/CP2022-3-9

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly, 27*(3), 425–478. https://doi.org/10.2307/30036540

Zhang, D., Strycharz, J., Boerman, S. C., Araujo, T., & Voorveld, H. (2025). Google knows me too well! Coping with perceived surveillance in an algorithmic profiling context. *Computers in Human Behavior, 165*, Article 108536. https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108536

Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) (2nd ed.). Sage Publications.

DİJİTAL LİDERLİK ÖLÇEKLERİNİN EVRİMİ VE YENİ NESİL BİR ÖLÇEK GELİŞTİRME ÇERÇEVESİ

Dr. Öğr. Üyesi Ceylan Merve BİNİCİ
Atlas Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, İşletme Bölümü
ORCID: 0000-0002-7672-5185

ÖZET
Dijital dönüşümün hızlanması, liderlik anlayışını köklü biçimde değiştirmiş; dijital teknolojiler, yapay zekâ ve veri temelli karar alma süreçlerinin hâkim olduğu organizasyonları açıklamada geleneksel liderlik yaklaşımlarını yetersiz bırakmıştır. Her ne kadar dijital liderlik önemli bir araştırma alanı hâline gelmiş olsa da mevcut ölçekler büyük ölçüde dijital okuryazarlık, teknoloji kullanımı ve dijital dönüşüm yönetimine odaklanmakta; yapay zekâ yönetişimi, veri etiği, algoritmik karar verme ve insan–makine etkileşimi gibi yeni nesil liderlik yetkinliklerini yeterince kapsamamaktadır. Bu çalışma, dijital liderlik ölçeklerinin evrimini karşılaştırmalı olarak inceleyerek yeni nesil bir dijital liderlik ölçeği geliştirilmesine yönelik kavramsal bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda mevcut ölçeklerin ortak boyutları ve kavramsal sınırlılıkları belirlenmekte, yapay zekâ çağının gerektirdiği yeni liderlik boyutları önerilmektedir. Araştırma, ölçek geliştirme sürecinin kavramsal ve nitel aşamasını benimsemektedir. Sistematik literatür taraması sonucunda oluşturulan madde havuzu ve ölçek boyutları, işletme, bankacılık, telekomünikasyon, bilişim ve araştırma sektörlerinden akademisyen ve uygulayıcılardan oluşan çok disiplinli bir uzman paneli tarafından Lawshe Kapsam Geçerlilik Oranı (CVR) yöntemiyle değerlendirilecektir. Çalışma, dijital liderlik ölçümünü geleneksel dijital yetkinliklerin ötesine taşıyarak yapay zekâ odaklı organizasyonlar için bütüncül bir ölçüm çerçevesi sunmakta; dijital liderlik literatürüne teorik katkı sağlamanın yanı sıra gelecekte gerçekleştirilecek ampirik ölçek geliştirme çalışmalarına güçlü bir temel oluşturmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Dijital liderlik, ölçek geliştirme, yapay zekâ, dijital dönüşüm, liderlik teorisi

THE EVOLUTION OF DIGITAL LEADERSHIP SCALES: A FRAMEWORK FOR NEXT-GENERATION SCALE DEVELOPMENT

ABSTRACT
The rapid acceleration of digital transformation has fundamentally reshaped leadership, making traditional leadership approaches insufficient for explaining organizations driven by digital technologies, artificial intelligence (AI), and data-based decision-making. Although digital leadership has emerged as a prominent research area, existing measurement scales primarily emphasize digital literacy, technology use, and digital transformation management, while largely overlooking emerging competencies such as AI governance, data ethics, algorithmic decision-making, and human–machine interaction. This study aims to examine the evolution of digital leadership scales through a comparative review of existing measurement instruments and to propose a conceptual framework for developing a next-generation digital leadership scale. Specifically, it identifies the common dimensions of current scales, reveals their conceptual limitations, and introduces new leadership dimensions required in the AI era. Methodologically, the study adopts the conceptual and qualitative phase of scale development. A systematic literature review is conducted to compare existing scales, followed by the design of a new item pool and scale dimensions.

Content validity will be evaluated using the Lawshe Content Validity Ratio (CVR) method through a multidisciplinary expert panel consisting of academics and practitioners from business, banking, telecommunications, information technology, and research sectors. By extending digital leadership measurement beyond conventional digital competencies, the proposed framework provides a comprehensive foundation for future empirical scale development and contributes to advancing digital leadership theory in the context of AI-enabled organizations.
Keywords: Digital leadership, Scale development, Artificial intelligence, Digital transformation, Leadership theory

GİRİŞ

Dijital teknolojiler, yapay zekâ ve veri temelli yönetim anlayışındaki hızlı gelişmeler, örgütlerin iş yapış biçimlerini, karar alma süreçlerini ve yönetsel uygulamalarını önemli ölçüde dönüştürmektedir. Endüstri 4.0 ile dijitalleşme yalnızca teknolojik altyapının yenilenmesini değil; örgütsel süreçlerin yeniden yapılandırılmasını, bilgi akışının dijitalleşmesini, veri temelli karar verme mekanizmalarının yaygınlaşmasını ve liderlik anlayışının yeni koşullara uyarlanmasını da beraberinde getirmiştir (Mihardjo vd., 2019; Benitez vd., 2022). Bu dönüşüm sürecinde liderlerin yalnızca teknolojiyi kullanabilen yöneticiler olmaları yeterli görülmemekte; dijital dönüşümü stratejik biçimde yönlendirebilen, çalışanları değişime hazırlayabilen, yenilikçi örgüt kültürü oluşturabilen ve dijital teknolojileri örgütsel amaçlarla bütünleştirebilen liderlik anlayışına ihtiyaç duyulmaktadır (Larjovuori vd., 2016). Bu bağlamda dijital liderlik, günümüz organizasyonlarının rekabetçiliğini ve sürdürülebilir dönüşüm kapasitesini destekleyen çağdaş bir liderlik yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır (El Sawy vd., 2016; Schiuma vd., 2021).

Literatürde dijital liderlik; dijital vizyon geliştirme, teknolojik farkındalık, çeviklik, yenilikçilik, dijital iletişim, çalışanların güçlendirilmesi, veri temelli düşünme ve örgütsel dönüşümün yönetilmesi gibi birbirini tamamlayan çok boyutlu liderlik yetkinlikleri çerçevesinde ele alınmaktadır (Promsri, 2019; Klein, 2020). Bu yaklaşım, dijital liderliği yalnızca teknolojik bilgi ve beceriye indirgememekte; aynı zamanda stratejik yönelim, değişim yönetimi ve örgütsel kapasite oluşturma süreçlerini kapsayan bütüncül bir liderlik anlayışı olarak değerlendirmektedir (Cortellazzo vd., 2019). Bununla birlikte dijital teknolojilerin gelişim hızının özellikle son yıllarda yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte artması, liderlerin karşı karşıya bulunduğu yönetsel sorumlulukları da önemli ölçüde genişletmiştir. Algoritmik karar destek sistemleri, üretken yapay zekâ, büyük veri analitiği ve insan–makine etkileşimine dayalı çalışma modelleri, liderlik rollerinin yeniden tanımlanmasını gerektiren yeni örgütsel dinamikler ortaya çıkarmaktadır.

Yapay zekâ destekli organizasyonlarda liderlerden beklenen yetkinlikler yalnızca dijital dönüşümün yönetimi ile sınırlı değildir. Veri kullanımında etik ilkelerin gözetilmesi, yapay zekâ sistemlerinin sorumlu ve şeffaf biçimde yönlendirilmesi, algoritmik kararların örgütsel etkilerinin değerlendirilmesi, insan ve akıllı sistemler arasındaki iş birliğinin yönetilmesi ve teknolojik yeniliklerin çalışanlar üzerindeki sosyal ve yönetsel sonuçlarının dikkate alınması giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Cortellazzo vd., 2019). Bu gelişmeler, dijital liderlik kavramının kapsamının genişlediğine işaret etmekte ve mevcut liderlik anlayışlarının yapay zekâ çağının ortaya çıkardığı yeni yönetsel gereksinimleri ne ölçüde açıklayabildiği sorusunu gündeme getirmektedir. Dolayısıyla dijital liderliğin güncel teknolojik gelişmeler doğrultusunda yeniden kavramsallaştırılması ve ölçülmek istenen yapının kapsamının çağın gerektirdiği yetkinlikleri içerecek biçimde değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Bu araştırmanın konusu, dijital liderlik kavramının günümüz teknolojik dönüşümü çerçevesinde yeniden değerlendirilmesi ve yapay zekâ çağının gerektirdiği liderlik yeterliliklerini kapsayan yeni nesil bir dijital liderlik ölçüm çerçevesinin kavramsal olarak oluşturulmasıdır. Araştırmanın temel amacı; dijital liderlik alanında geliştirilmiş ölçme yaklaşımlarının ortak kavramsal temelini incelemek, güncel teknolojik gelişmeler doğrultusunda ortaya çıkan liderlik gereksinimlerini bütüncül bir perspektifle değerlendirmek ve kapsam geçerliliği uzman görüşleriyle desteklenen yeni bir boyut ve madde havuzu önermektir. Bu doğrultuda çalışma aşağıdaki sorulara odaklanmaktadır:

1. Dijital liderlik alanında geliştirilen ölçme yaklaşımlarının ortak kavramsal boyutları nelerdir?
2. Mevcut dijital liderlik anlayışları günümüz teknolojik dönüşümünü açıklamada hangi kavramsal sınırlılıkları taşımaktadır?
3. Yapay zekâ, veri temelli yönetim ve insan–makine etkileşiminin şekillendirdiği yeni nesil dijital liderlik için hangi liderlik boyutları önerilebilir?
4. Önerilen boyutlar ve bu boyutları temsil eden maddelerin kapsam geçerliliği uzman değerlendirmeleri doğrultusunda hangi düzeydedir?

Araştırma, ölçek geliştirme sürecinin kavramsal tasarım ve içerik geçerliliği aşamasını benimsemektedir. Bu doğrultuda sistematik literatür taraması sonucunda oluşturulan kavramsal çerçeve temel alınarak dijital liderlik yapısını temsil etmesi öngörülen boyutlar belirlenmiş ve bu boyutlara ilişkin kapsamlı bir madde havuzu hazırlanmıştır. Oluşturulan boyutlar ve maddeler; işletme, bankacılık, telekomünikasyon, bilişim ve araştırma alanlarında görev yapan akademisyenler ile sektör uygulayıcılarından oluşan çok disiplinli bir uzman panelinin değerlendirmesine sunulmuştur. Uzman değerlendirmeleri, her bir maddenin ölçülmek istenen yapıyı temsil etme yeterliliğini belirlemeye yönelik Lawshe Kapsam Geçerlilik Oranı (Content Validity Ratio-CVR) yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve önerilen ölçüm çerçevesinin içerik geçerliliği incelenmiştir. Çalışma bu aşamada pilot uygulama, açımlayıcı faktör analizi, doğrulayıcı faktör analizi ve güvenirlik testlerini kapsamamakta; söz konusu psikometrik analizlerin gelecekte gerçekleştirilecek ampirik araştırmalarda yürütülmesi öngörülmektedir.

Araştırmanın bilimsel önemi üç temel noktada değerlendirilebilir. İlk olarak çalışma, dijital liderlik kavramını yapay zekâ, veri temelli yönetim ve sosyo-teknik dönüşüm bağlamında yeniden ele alarak alanın kuramsal gelişimine katkı sunmayı amaçlamaktadır. İkinci olarak, dijital liderliğin ölçümünde yalnızca geleneksel dijital yetkinliklere odaklanmak yerine günümüz organizasyonlarında önem kazanan etik, yönetişimsel ve insan odaklı liderlik gereksinimlerini bütüncül bir kavramsal yapı içerisinde değerlendirmektedir. Son olarak ise önerilen boyutlar ve uzman görüşleriyle desteklenen madde havuzunun, gelecekte gerçekleştirilecek geçerlik ve güvenirlik çalışmalarına bilimsel bir başlangıç noktası oluşturması ve yeni nesil dijital liderlik ölçeğinin geliştirilmesine yönelik güçlü bir kuramsal altyapı sağlaması hedeflenmektedir. Bu yönüyle çalışmanın yönetim ve organizasyon literatürüne, dijital dönüşüm araştırmalarına ve yapay zekâ destekli organizasyonlarda liderlik alanında yürütülecek gelecekteki ampirik çalışmalara katkı sağlaması beklenmektedir.

DİJİTAL LİDERLİK KAVRAMI

İşletmelerin süreçlerini dijital teknolojilerle yeniden yapılandırmaları; iş modelleri, örgütsel yapılar, yönetim anlayışı ve bireylerin çalışma biçimlerinde önemli değişimlere neden olmuştur (Mihardjo vd., 2019). Özellikle bilgi yoğun sektörlerde bu değişim, geleneksel liderlik anlayışlarının yetersiz kalmasına neden olmuş ve dijital liderlik kavramının önemini artırmıştır (Benitez vd., 2022).

Larjovuori ve arkadaşlarına (2016) göre dijital liderlik, dijital dönüşüm için açık bir vizyon oluşturma ve bu vizyonu hayata geçirecek stratejiler geliştirme becerisidir. El Sawy ve arkadaşları (2016) ise dijital liderliği, işletmelerin dijitalleşme hedeflerine ulaşmasını sağlayacak stratejik kararların alınması ve uygulanması süreci olarak tanımlamaktadır.

Dijital liderlik genel olarak, liderlik faaliyetlerinin dijital ortamların sunduğu olanaklardan yararlanılarak yürütülmesi şeklinde değerlendirilebilir. Bu kapsamda liderlerin internet ve dijital teknolojileri etkin kullanmaları, dijital araçları örgütsel amaçlara uygun biçimde uyarlamaları beklenmektedir (Gronow, 2007). Sheninger (2014) dijital lideri; örgütsel yapıya yön veren, dijital iletişim kanallarını etkin kullanan, sürdürülebilir değişime öncülük eden ve gelecekteki değişimleri öngörebilen lider olarak tanımlamaktadır. Şahin ve arkadaşları (2020) ise dijital liderliği, yönetim, örgütleme ve stratejik düşünme becerilerinin dijital çağın araçlarını etkin kullanma yetkinliğiyle bütünleştiği bir liderlik anlayışı olarak ele almaktadır. Bu doğrultuda dijital liderler; yenilikçi fikirler geliştiren, paydaşları dönüşüm sürecine dâhil eden, çalışanları motive eden ve örgüte rekabet avantajı sağlayacak dijital stratejiler geliştiren liderlerdir.

Dijital liderliği klasik liderlik yaklaşımlarından ayıran temel unsur yalnızca teknolojik bilgiye sahip olmak değil, teknolojinin örgütsel amaçlar doğrultusunda nerede, nasıl ve hangi düzeyde kullanılacağını stratejik bakış açısıyla yönetebilmektir. Zhu (2015) dijital liderliği; yaratıcı, düşünsel, bilge, küresel vizyon sahibi ve merak odaklı liderlik yaklaşımlarının birleşimi olarak değerlendirmektedir. Dijital dönüşüm sürecine liderlik edecek yöneticilerin teknik, yönetsel ve insani sorunlarla başa çıkabilecek bilgi ve yetkinliklere sahip olmaları gerekmektedir (Erhan vd., 2022). Bunun yanında teknolojilerin uygulanması kadar örgütsel yapının dönüşüme uyarlanması ve çalışanların sürece hazırlanması da önemlidir. Bu nedenle dijital liderlerin vizyoner, çözüm odaklı, şeffaf, yenilikçi, hızlı öğrenebilen ve değişime uyum sağlayabilen bireyler olması beklenmektedir (Özmen vd., 2020).

Literatürde dijital liderlerin sahip olması gereken dijital beceriler temel, orta ve ileri düzey olmak üzere üç düzeyde ele alınmaktadır. Temel düzey dijital araçları kullanabilme, orta düzey dijital araçlardan etkin biçimde yararlanma ve dijital içerik üretebilme, ileri düzey ise uzmanlık gerektiren teknolojileri kullanma ve dijital araçları örgütsel ihtiyaçlara göre geliştirme ve uyarlama becerilerini kapsamaktadır (Öz, 2020).

Cortellazzo ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen sistematik literatür incelemesinde, dijital çağda lider becerileri kapsamında dijital iletişim araçlarını etkin kullanma, hızlı karar verme, yıkıcı değişimi yönetme, dijital bağlantısallığı sürdürme ve teknik dijital yeterlilikler öne çıkarılmıştır. Promsri (2019) ise dijital liderlerin güçlü dijital okuryazarlığa sahip, geleceğe yönelik vizyon geliştirebilen, müşteri ihtiyaçlarına duyarlı, çevik, belirsizlik karşısında risk alabilen ve iş birliğini destekleyen bireyler olduğunu belirtmektedir. De Waal ve ark. (2016), dijital liderliğin yalnızca yöneticiler açısından değil, çalışanlar, örgütler ve toplum açısından da sonuçlar doğurduğunu ve dijital dönüşümün çok yönlü bir liderlik anlayışı gerektirdiğini vurgulamaktadır.

Dijital dönüşümün başarısı yalnızca teknolojik yatırımlara değil, bu dönüşümü yönlendiren liderlik anlayışına da bağlıdır (Schiuma vd., 2021). Bughin vd. (2019) araştırmasına göre başarılı dijital dönüşüm için liderlerin teknolojik gelişmeleri takip etmelerinin yanı sıra yeni yetkinlikleri örgüt içinde geliştirmeleri, çalışanları değişim sürecine dâhil etmeleri, güçlendirme anlayışını benimsemeleri ve güçlü iletişim ağları oluşturmaları gerekmektedir. Bu bağlamda dijital liderlik, örgütsel kültürü dönüştüren, dijital yetkinlikleri geliştiren ve teknolojik kapasiteyi örgütsel amaçlarla bütünleştiren çağdaş bir liderlik yaklaşımıdır.

Dijital liderlik, teknik bilgi ile insan odaklı liderlik davranışlarını bütünleştiren çok boyutlu bir yapı olarak da ele alınmaktadır. Sürücü ve arkadaşlarına (2022) göre dijital lider; güçlü iletişim becerilerine sahip, dijital teknolojileri örgütsel hedefler doğrultusunda kullanabilen, çalışanları güçlendiren, yetki devrini destekleyen, çevik ve geleneksel liderlik yaklaşımlarını duruma göre sentezleyebilen ve empati yeteneği gelişmiş bir liderdir. Teichmann ve Hüning (2018) ise dijital liderlerin insan ile teknoloji arasında köprü kurduğunu; çalışanların sürekli gelişimini, yeni teknolojilere uyumu, öğrenme kültürünü ve yenilikçi örgüt yapısını desteklediğini belirtmektedir.

Klein (2020), dijital liderlik yetkinliklerini üç temel kategoride ele almaktadır. Dijital işletme yetkinlikleri; dijital zekâ, yenilikçi vizyon, iş birlikleri ve ağlar kurma, karmaşık koşulları analiz etme, çok yönlü düşünme ve dijital iş zekâsını kullanmayı kapsamaktadır. Sosyal tutumlar; çalışanları motive etme, koçluk ve rol model olma, açık iletişim, sosyal zekâ, farklılıklara değer verme, demokratik katılım ve etik davranışları içermektedir. Genel düşünce yapısı ise değişime uyum, çeviklik, yaratıcılık, cesaret, öz farkındalık, bilgi yönetimi ve yaşam boyu öğrenme gibi özelliklerden oluşmaktadır. Bu özellikler, belirsizlik karşısında hareket edebilme, bilgiyi etkili yönetme ve sürekli öğrenme kapasitesi sayesinde dijital liderlerin yenilikçi ve sürdürülebilir örgütler oluşturmasına katkı sağlamaktadır.

Benzer şekilde Zhu (2015), dijital liderlerin derinlemesine düşünebilen, yaratıcı çözümler üretebilen, küresel bakış açısına sahip, merak duygusunu sürdüren ve karmaşık problemlere stratejik çözümler geliştirebilen bireyler olduğunu belirtmektedir. Bu yaklaşım, dijital liderliğin yalnızca teknolojik yeterliliklerden oluşmadığını; stratejik düşünme, öğrenme kapasitesi, yaratıcılık ve yenilikçilik gibi üst düzey bilişsel yetkinlikleri de içeren çok boyutlu bir liderlik yapısı olduğunu göstermektedir. Tablo 1, dijital liderlik literatüründe farklı araştırmacılar tarafından ortaya konulan çok sayıda özelliği sentezleyerek makro düzeyde bütüncül bir çerçeve sunmaktadır.

Tablo 9. Dijital Liderliğe İlişkin Temel Özellikler ve Literatür Dayanakları

Dijital Liderlik Özelliği	**Literatür**
Dijital vizyon ve stratejik yönlendirme	Larjovuori vd., 2016; El Sawy vd., 2016; Sheninger, 2014; Schiuma vd., 2021; Klein, 2020; Zhu, 2015
Dijital zekâ ve teknolojik farkındalık	Bughin vd. 2019; Klein, 2020; Eberl & Drews, 2021; Fisk, 2002; Henderikx & Stoffers, 2022; Mihardjo vd., 2019; Ordu & Nayır, 2021
Yenilikçilik ve inovasyon odaklılık	Klein, 2020; Zhu, 2015; Promsri, 2019; Bughin vd. 2019; Davutoğlu, 2018; Schiuma vd., 2021; Bosch vd., 2018; Bolte vd., 2018
Dijital çeviklik ve adaptasyon yeteneği	Promsri, 2019; Klein, 2020; Eberl & Drews, 2021; Lindner & Greff, 2019; McCarthy vd., 2021; Oberer & Erkollar, 2018; Schiuma vd., 2021
Karmaşıklık yönetimi ve karar alma becerisi	Klein, 2020; Fisk, 2002; Mihardjo vd., 2019; Cortellazzo vd., 2019; Schiuma vd., 2021
Ağ kurma ve dijital ekosistem yönetimi (networking)	Fisk, 2002; Klein, 2020; Oberer & Erkollar, 2018; Sikora, 2017; Larjovuori vd., 2016
Dijital iletişim ve bağlantısallık yönetimi	Cortellazzo vd., 2019; Gronow, 2007; Sheninger, 2014; Zulu & Khosrowshahi, 2021
Çevik liderlik ve hızlı karar alma	Cortellazzo vd., 2019; Promsri, 2019; Eberl & Drews, 2021; McCarthy vd., 2021; Lindner & Greff, 2019

Çalışan güçlendirme (empowerment)	Bughin vd. 2019; Schiuma vd., 2021; Özmen vd., 2020; Sürücü vd., 2022
İnsan odaklı liderlik ve çalışan refahı	Bolte vd., 2018; Eberl & Drews, 2021; Henderikx & Stoffers, 2022; Klein, 2020; De Waal vd., 2016
Koçluk, rol model olma ve motive etme	Klein, 2020; Zhu, 2015; Promsri, 2019; Bosch vd., 2018; Eberl & Drews, 2021
Katılımcı ve demokratik liderlik	Klein, 2020; Yüksel & Genç, 2018; Bolte vd., 2018; Prince, 2017; Sikora, 2017
Şeffaflık ve açık iletişim	Bolte vd., 2018; Eberl & Drews, 2021; Klein, 2020; Sikora, 2017; Sürücü vd., 2022
Etik liderlik ve dijital etik farkındalık	Klein, 2020; Promsri, 2019; McCarthy vd., 2021; Zhu, 2015; Ordu & Nayır, 2021
Dijital yetenek geliştirme ve insan kaynağı yönetimi	Bughin vd. 2019; Klein, 2020; Larjovuori vd., 2016; Mihardjo vd., 2019
Dijital yetenek avcılığı (talent acquisition)	Klein, 2020; Bughin vd. 2019
Veri temelli düşünme ve analitik yönelim	Schiuma vd., 2021; Davutoğlu, 2018; McCarthy vd., 2021
Risk alma ve belirsizlik yönetimi	Promsri, 2019; Klein, 2020; Mihardjo et al., 2019
Öğrenme odaklılık ve yaşam boyu öğrenme	Klein, 2020; Zhu, 2015; Bughin vd. 2019; Eberl & Drews, 2021
Hata toleransı ve öğrenen örgüt kültürü	Klein, 2020; Bolte vd., 2018; Oberer & Erkollar, 2018; Schiuma vd., 2021
Sosyal zekâ ve duygusal liderlik	Klein, 2020; Zhu, 2015; Sürücü vd., 2022; Promsri, 2019
Küresel vizyon ve stratejik düşünme	Zhu, 2015; Klein, 2020; El Sawy vd., 2016; Schiuma vd., 2021
Dijital kültür oluşturma ve dönüşüm liderliği	Schiuma vd., 2021; Bughin vd. 2019; Teichmann & Hüning, 2018
İnsan–teknoloji entegrasyonu (köprü liderlik)	Teichmann & Hüning, 2018; Schiuma et al., 2021
İş zekâsı ve performans odaklılık	Klein, 2020; McCarthy vd., 2021; Sikora, 2017
İletişim gücü ve dijital ağ yönetimi	Gronow, 2007; Sheninger, 2014; Cortellazzo vd., 2019

*Tablo Büyükbeşe vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışma üzerinden geliştirilmiştir.

Tablo 1, dijital liderliğin yalnızca teknolojik yeterliliklere indirgenemeyeceğini; stratejik vizyon, insan odaklılık, örgütsel dönüşüm kapasitesi, etik yönelim, veri temelli karar alma, çeviklik ve ekosistem yönetimi gibi çok katmanlı boyutları içeren kompleks bir liderlik yapısı olarak ele alınmasını gerektiğini göstermektedir.

DİJİTAL LİDERLİK ÖLÇEKLERİNİN GELİŞİMİ VE MEVCUT ÖLÇME ARAÇLARI

Zeike vd. (2019) Dijital Liderlik Ölçeği ve Türkçe Uyarlama Çalışmaları

Dijital liderliğin ölçülmesine yönelik öncü çalışmalardan biri Zeike vd. (2019) tarafından geliştirilen Dijital Liderlik Ölçeğidir. Çalışma, yöneticilerin dijital liderlik yeterliliklerini değerlendirebilecek geçerli ve güvenilir bir ölçme aracına duyulan ihtiyaçtan hareketle gerçekleştirilmiş; ölçek geliştirme sürecinde literatür taraması, nitel pilot çalışma, uzman değerlendirmeleri ve bilişsel ön testlerden yararlanılmıştır.

Altı soru ve iki boyuttan oluşan ölçekte ilk boyut, dijital araçlara yönelik tutum, dijital yeterlilik ve dijital gelişmeleri takip etme gibi bireysel teknolojik yeterlilikleri; ikinci boyut ise dijital dönüşümü proaktif biçimde yönlendirme, çalışanları dönüşüme motive etme ve gerekli örgütsel yapı ve süreçlere ilişkin stratejik farkındalığı kapsamaktadır. Bu nedenle ölçek, dijital liderliği ağırlıklı olarak dijital yeterlilik ve dijital dönüşüm liderliği üzerinden ele almaktadır. Yapay zekâ liderliği ve yönetişimi, veri temelli karar verme, dijital etik, algoritmik karar verme, siber güvenlik, dijital çeviklik, dijital inovasyon kültürü, dijital yetenek geliştirme, dijital ekosistem yönetimi ve insan–yapay zekâ iş birliği gibi güncel liderlik gereksinimleri kapsam dışında kaldığından bu ölçek temel bir kuramsal başlangıç noktası olmakla birlikte güncel teknolojik gelişmeler doğrultusunda genişletilmesi gerektiğini önemli bir referanstır.

Tablo 10. Zeike vd. (2019) Ölçeğinin Boyutları ve Maddeleri

Boyut	**Madde**
Dijital Yeterlilik ve Dijital Okuryazarlık	1. Yöneticim, dijital araç ve uygulamaları kullanmanın keyifli bir süreç olduğunu düşünmektedir.
	2. Yöneticimin, dijital konularda bir uzman olduğunu söyleyebilirim.
	3. Yöneticim, dijital bilgi söz konusu olduğunda her zaman güncel gelişmeleri takip etmektedir.
Dijital Dönüşüm Liderliği	4. Yöneticim, birimimizde dijital dönüşüm sürecinin proaktif olarak gelişiminde ilerleme sağlamaktadır.
	5. Yöneticim, başkalarını dijital dönüşüm konusunda heveslendirebilir.
	6. Yöneticimin, dijital dönüşüm için ihtiyaç duyulan yapılar ve süreçler hakkında net bir fikri vardır.

Zeike vd. (2019) ölçeği Türkçe bağlamında Sürücü vd. (2022) ile Oktaysoy vd. (2022) tarafından uyarlanarak farklı örneklemlerde test edilmiştir. Sürücü vd. (2022) çalışmasında orijinal altı maddelik yapı korunmuş ve doğrulayıcı faktör analizi sonucunda iki boyutlu yapının Türk örnekleminde de doğrulandığı belirlenmiştir. Buna karşılık Oktaysoy vd. (2022) tarafından öğretmen ve akademisyenlerden oluşan iki ayrı örneklem üzerinde gerçekleştirilen çalışmada, altı maddenin tek faktör altında toplandığı görülmüştür.

Büyükbeşe vd. (2022) Dijital Liderlik Ölçeği

Büyükbeşe vd. (2022) tarafından geliştirilen Dijital Liderlik Ölçeği, Türkiye'de dijital liderliği ölçmeye yönelik önemli ölçek geliştirme çalışmalarından biridir. Ölçek geliştirme sürecinde literatürden ve dijital liderliğe ilişkin kuramsal yaklaşımlardan yararlanılarak oluşturulan madde havuzu uzman görüşleri doğrultusunda düzenlenmiş ve 526 katılımcıdan elde edilen verilerle test edilerek 9 maddeden ve iki boyuttan oluşan bir yapı ortaya konulmuştur. Ölçeğin ilk boyutu "yenilikçi", ikinci boyutu ise "destekleyici" olarak adlandırılmıştır. Zeike vd. (2019) gibi bu ölçek de yapay zekâ çağında ortaya çıkan yeni liderlik sorumluluklarını kapsamlı biçimde değerlendirmemektedir.

Tablo 11. Büyükbeşe vd. (2022) Ölçeğinin Boyutları ve Maddeleri

Boyut	**Madde**
Yenilikçi	Yenilikçi bir vizyona sahiptir.
	Hızlı ekip kurarak organize etme becerisine sahiptir.
	Dijital teknolojiler ve dijital dönüşüm hakkında güncel bilgi ve becerilere sahiptir.
	Kurumumuzda dijital dönüşüm sürecinde proaktiftir.
	Yeni ve mevcut iş alanları, modern trendler ile geçmiş gelenekler ve yenilik ile entegrasyon arasında denge sağlar.
	Yeni dijital yetenekleri kendi kurumumuza çekmenin yollarını bulur.
Destekleyici	Dijital dönüşüm sürecinde zorluklarla karşılaşıldığında çalışanlarını cesaretlendirir.
	Dijital dönüşüm sürecinde çalışanlara yol gösterici ve rol modeldir.
	Dijital dönüşüm sürecinde çalışanların refahına odaklanır.

Munsamy, Dhanpat ve Barkhuizen (2023) Dijital Liderlik Yetkinlik Ölçeği

Çalışma, dijital liderliği yalnızca bireysel teknoloji kullanımıyla sınırlamamakta; bireysel, örgütsel, kültürel ve stratejik unsurları birlikte ele almaktadır. Ölçek geliştirme sürecinde 241 katılımcıdan elde edilen veriler kullanılmış, altı boyut ve toplam 93 maddeden oluşan bir yapı ortaya koymuştur.

Tablo 12. Munsamy vd. (2023) Ölçeğinin Boyutları ve Maddeleri

Boyut	**Madde Sayısı**	**Temel Odak**
Dijitali Benimseme	21	Dijital tutum, sahiplenme, sürekli öğrenme, paydaşlarla iş birliği, öz liderlik ve adaptasyon
Dijital Dönüşümü Kolaylaştıran Liderlik	22	Stratejik liderlik, değer yaratma, karmaşıklık yönetimi, çalışanların gözetilmesi, dijital bilgi paylaşımı
Dijital Adaptasyon ve Dayanıklılık	13	Yeni dijital araçlara uyum sağlama, iş çevresindeki değişimlerin farkında olma ve dijitalleşmenin rekabet koşullarına etkisini değerlendirme kapasitesi
Dijital Kültür Oluşturma	14	Kapsayıcı örgüt kültürü ile sanal ortamlarda etkili iletişim
Dijital Beceriler	12	Dijital araçların benimsenmesi, büyük veri farkındalığı, teknik becerilerin geliştirilmesi, alan bilgisi ve dijital ortamlarda iletişim
Dijital Rekabet Zekâsı	11	Piyasa ve iş zekâsı, sistemik düşünme ve dijitalleşmeden kaynaklanan risklerin farkındalığı gibi dış çevre ve rekabet odaklı yetkinlikler

Munsamy vd. (2023) tarafından geliştirilen ölçek önceki örneklerden farklı olarak dijital liderliği bireysel dijital becerilerin ötesine taşımış adaptasyon, dijital kültür, stratejik liderlik ve rekabet zekâsını aynı ölçüm çerçevesinde bir araya getirmiştir. Bu nedenle geliştirilecek yeni nesil dijital liderlik ölçeği açısından önemli bir referans olarak görülmüştür.

Claassen vd. (2023) DigiFuehr 2.0 Dijital Liderlik Ölçeği

Çalışma, dijital liderliği yalnızca teknik yeterliliklerle sınırlamamakta; insan merkezli, etik, psikolojik ve davranışsal yetkinlikleri de kapsayan çok boyutlu bir yapı olarak ele almaktadır. Başlangıçta 15 boyut ve 45 maddeden oluşan yapı, faktör analizleri sonucunda 7 boyutlu bir yapıya indirgenmiş ve 5'li Likert tipi ölçekle ölçülmüştür.

Tablo 13. Claassen vd. (2023) Ölçeğinin Boyutları

Boyut	**Odak**
Olumlu Tutum (Positive Attitude)	Liderlik motivasyonu ve kurumsal bağlılık
Yapay Zekânın Etik Kullanımı (Ethical Use of AI)	Yapay zekâ etiği ve etik yönetişim
Gelişimci Zihin Yapısı (Growth Mindset)	Öğrenme, gelişim ve geri bildirime açıklık
Geçmiş Performans (Track Record)	Geçmiş performans ve sorumluluk alma
Şeffaf Liderlik Gündemi (Transparent Agenda)	Şeffaflık, açıklık ve hesap verebilirlik
Beceri Edinimi (Skills Acquisition)	Dijital beceri geliştirme ve sürekli öğrenme
Katılımcı Liderlik Tarzı (Participative Style)	Çalışan katılımı ve iş birliğine dayalı liderlik

Özellikle Ethical Use of AI boyutu, ölçeği önceki dijital liderlik ölçme araçlarından ayıran önemli bir unsurdur. Bu boyut, adil ve güvenilir yapay zekâ sistemlerinin desteklenmesi, algoritmik önyargıların önlenmesi ve yapay zekâ etiğine ilişkin farkındalığın geliştirilmesi gibi konuları kapsamaktadır. Böylece dijital liderlik ölçümüne yapay zekâ etiği doğrudan dâhil edilmiştir. Ölçek dijital liderliği yalnızca "teknolojiyi kullanabilme" üzerinden değil, etik yapay zekâ kullanımı, gelişimci zihin yapısı, şeffaflık, beceri geliştirme ve katılımcı liderlik gibi davranışsal ve yönetsel boyutlarla birlikte ele aldığından geliştirilecek yeni nesil dijital liderlik ölçeği açısından özellikle AI etiği ve insan merkezli liderlik boyutlarının oluşturulmasında önemli bir referans olarak görülmüştür.

Cavuş, Aghamiri ve Sancar (2025) – Dijital Liderlik Becerileri Ölçeği

Çalışma, dijital liderliği yalnızca bireysel liderlik becerileri üzerinden ele almak yerine, dijital dönüşümün örgütsel ve performansa ilişkin farklı bileşenleriyle birlikte değerlendiren bütüncül bir model sunmaktadır. Bu kapsamda yapı; Dijital Liderlik Becerileri (Digital Leadership Skills–DLS), Dijital Dönüşüm (Digital Transformation–DT), Dijital Dönüşüm Stratejisi (Digital Transformation Strategy–DTS), Dijital Teknoloji (Digital Technology–DTech), Çalışan Dijital Becerileri (Employee Digital Skills–EDS) ve Finansal Performans (Financial Performance–FP) olmak üzere altı temel faktörden oluşmaktadır.

Bu faktörler içerisinde Dijital Liderlik Becerileri (DLS), doğrudan liderlik özelliklerini ölçen temel boyuttur. Diğer boyutlar ise dijital dönüşümün örgütsel bağlamını, kullanılan teknolojileri, çalışanların dijital yetkinliklerini ve dönüşümün performans sonuçlarını açıklamaktadır. Bu nedenle çalışma, klasik anlamda yalnızca dijital liderlik ölçeği olarak değil, dijital liderliğin dijital dönüşüm ekosistemi içerisindeki rolünü açıklayan çok boyutlu bir yapısal model olarak değerlendirilebilir.

Dijital Liderlik Becerileri (DLS) Maddeleri

DLS boyutunda yer alan altı madde, dijital liderliğin temel yetkinliklerini şu şekilde ölçmektedir:
1. Bir liderin dijital bilgisi ve dijital teknolojileri anlama kapasitesi, işletmenizin dijital dönüşüm stratejisini olumlu yönde etkiler.
2. Bir liderin geleceğe dönük girişimci zihniyeti ve işletmenin vizyonunu çalışanlara açık bir şekilde tanımlama ve iletme becerisi, işletmenizin dijital dönüşüm stratejisini olumlu yönde etkiler.
3. Bir liderin müşterilerin gerçek ihtiyaçlarını anlama ve bunlara yanıt verme yeteneği, işletmenizin dijital dönüşüm stratejisini olumlu yönde etkiler.
4. Bir liderin hızlı değişen çevreyle başa çıkmak için esnek, çevik ve uyum sağlayıcı olma kapasitesi, işletmenizin dijital dönüşüm stratejisini olumlu yönde etkiler.
5. Bir liderin çalışanları yeni ürün ve hizmetler denemeye teşvik etme ve başarısızlıklardan öğrenmelerini sağlama yeteneği, işletmenizin dijital dönüşüm stratejisini olumlu yönde etkiler.
6. Bir liderin duygusal zekâsı, öz farkındalığı, empati yeteneği ve iletişim becerileri, işletmenizin dijital dönüşüm stratejisini olumlu yönde etkiler.
Çalışma, dijital liderliğin stratejik, teknolojik ve insan odaklı temel bileşenlerini ortaya koyması bakımından önemli bir referans oluşturmakla birlikte, yeni nesil dijital liderlik anlayışının gerektirdiği yapay zekâ ve veri odaklı yetkinliklerin ölçeğe eklenmesi için alan bırakmaktadır.

Doğan ve Aytaç (2025) Dijital Liderlik Ölçeği
Okul yöneticilerinin dijital liderlik becerilerini ölçmeye yönelik bu çalışma, dijital dönüşümün eğitim örgütlerindeki etkisinin artmasıyla birlikte geliştirilen bağlamsal ölçeklerden biridir. Araştırmanın temel amacı, okul yöneticilerinin dijital teknolojileri kullanma, dijital dönüşümü yönlendirme ve okul personelini bu dönüşüme hazırlama becerilerini öğretmen algıları üzerinden değerlendirmektir. Ölçekte toplam 22 madde bulunmaktadır. Maddeler incelendiğinde dijital liderliğin; dijital teknolojilerin yenilikçi kullanımını teşvik etme, personelin dijital yeterliklerini geliştirme, dijital çalışma kültürü oluşturma, dijital altyapıyı geliştirme, veri kullanımını destekleme, dijital ve siber güvenlik farkındalığı oluşturma, dijital değişime uyum sağlama, dijital öğrenme ortamları oluşturma ve dış paydaşlarla dijital ağlar kurma gibi farklı davranışlar üzerinden değerlendirildiği görülmektedir. Ayrıca yöneticinin dijital dönüşüm sırasında çalışanları desteklemesi, başarısızlıklardan öğrenmeyi teşvik etmesi ve geliştirilen dijital stratejileri çalışanlara aktarması gibi insan odaklı liderlik davranışlarına da yer verilmiştir.

Tablo 14. Doğan ve Aytaç (2025) Ölçeğinin Konu Dağılımları

Temel Konu / Boyut	**İlgili Maddeler**
1. Dijital Strateji ve Değişim Liderliği	1, 2, 12, 15
2. İnsan ve Dijital Kültür Liderliği	3, 4, 5, 7, 17, 22
3. Dijital Teknoloji, Veri ve Güvenlik Yönetimi	8, 9, 10, 11, 13, 14, 18
4. Dijital İletişim ve Öğrenme Liderliği	6, 16, 19, 20, 21

YÖNTEM
Araştırma, ölçek geliştirme sürecinin kavramsal tasarım ve içerik geçerliliği aşamasına odaklanan metodolojik bir çalışmadır. Sistematik literatür taraması temelinde dijital liderlik yapısını temsil eden boyutlar belirlenmiş ve bu boyutlara yönelik madde havuzu oluşturulmuştur.

Madde havuzunun kapsam geçerliliği, farklı disiplinlerden akademisyenler ve dijital dönüşüm alanında deneyimli sektör profesyonellerinin uzman görüşleri doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Araştırmanın evrenini dijital liderlik, dijital dönüşüm, yönetim, bilgi sistemleri, veri bilimi ve dijital teknolojiler alanlarında akademik ve/veya uygulamalı uzmanlığa sahip bireyler oluşturmuştur. Uzman seçiminde amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme kullanılmıştır (Marshall & Rossman, 2014). Bu doğrultuda, madde havuzunu bilimsel ve uygulamalı açıdan değerlendirebilecek 15 uzmandan görüş alınmıştır. Panel; Yönetim ve Organizasyon (3), Yönetim Bilişim Sistemleri, Bilgisayar Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği ve Veri Bilimi ve Analitiği (birer) ile İletişim (2) alanlarından 9 akademisyen ve bankacılık, kamu bilişimi, telekomünikasyon ve veri analitiği alanlarında çalışan 6 sektör profesyonelinden oluşmuştur.

Katılımcıların 30 yaş ve üzerinde, en az lisans mezunu ve ilgili alanlarda uzmanlık veya mesleki deneyime sahip olmaları temel ölçüt olarak belirlenmiştir. Akademisyenlerin doktora derecesine sahip olmaları; sektör uzmanlarının ise dijital dönüşüm, bilgi teknolojileri, yazılım, veri analitiği veya yöneticilik alanlarında en az beş yıllık deneyime sahip olmaları aranmıştır. Araştırmaya gönüllü olarak katılan ve bilgilendirilmiş gönüllü olur formunu onaylayan uzmanlar çalışmaya dâhil edilmiştir.

Veri toplama aracı olarak Next Generation Digital Leadership Scale (NG-DLS) Madde Havuzu ve Uzman Değerlendirme Formu kullanılmıştır. Madde havuzu, kapsamlı literatür taraması ve mevcut dijital liderlik ölçeklerinin karşılaştırılması sonucunda oluşturulmuş; Zeike vd. (2019), Munsamy vd. (2023), Büyükbeşe vd. (2022), Claassen vd. (2023) ve Cavus vd. (2025) çalışmalarından yararlanılmıştır. Başlangıçta 8 boyut ve 78 maddeden oluşan havuz; Dijital Vizyon ve Strateji, Yapay Zekâ Liderliği, Veri Odaklı Liderlik ve Analitik Karar Verme, Dijital Etik ve Sorumluluk, Siber Güvenlik Liderliği, Siber Güvenlik ve Dijital Risk Yönetimi, Dijital Çeviklik ve Değişim Yönetimi ve İnsan Odaklı Dijital Liderlik boyutlarını kapsamaktadır.

Uzmanlardan her bir maddeyi içerik açısından “Gerekli”, “Yararlı ancak gerekli değil” ve “Gerekli değil” kategorilerinden biriyle değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirmeler yüz yüze veya çevrim içi gerçekleştirilmiş ve çevrim içi görüşmelerde Zoom kullanılmıştır. Her bir değerlendirme yaklaşık 60–90 dakika sürmüştür.

Madde kapsam geçerliliğini belirlemek amacıyla Lawshe Kapsam Geçerlilik Oranı (Content Validity Ratio-CVR) hesaplanmıştır. CVR hesaplaması:

$$CVR = \frac{(n_e - N/2)}{N/2}$$

- n_e: “gerekli” diyen uzman sayısı
- N: toplam uzman sayısı

Elde edilen değerler Lawshe'nin kritik değerleriyle karşılaştırılmış; 15 uzman için 0,49 kritik CVR değeri esas alınarak maddelerin korunmasına, revize edilmesine veya çıkarılmasına karar verilmiştir (Lawshe, 1975). Ölçeğin genel kapsam geçerliliğini değerlendirmek amacıyla ayrıca Kapsam Geçerlilik İndeksi (Content Validity Index-CVI) hesaplanmıştır.

Verilerin analizinde Microsoft Excel ve IBM SPSS Statistics kullanılmıştır. CVR ve CVI hesaplamaları Excel ortamında gerçekleştirilmiş; uzmanların temel özellikleri frekans ve yüzde değerleriyle sunulmuştur. Analizler kapsam geçerliliği ile sınırlandırılmış, Açımlayıcı Faktör Analizi (AFA), Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) ve iç tutarlılık analizleri sonraki pilot uygulama ve ampirik doğrulama aşamalarına bırakılmıştır.

Böylece uzman değerlendirmeleri sonucunda NG-DLS'nin sonraki psikometrik analizlere hazır hale getirilmesi amaçlanmıştır.

BULGULAR

İlk aşamada 15 uzman katılımcının değerlendirmesi neticesinde madde havuzunda yer alan ifadeler için yapılan değerlendirme Tablo 7'de yer almaktadır.

Tablo 7. Madde Havuzu İlk Aşama Uzman Değerlendirmesi

Madde	Gerekli Görülme	Yararlı (Revize Edilebilir) Görülme	Çıkarılması Uygun	CVR	Karar	Madde	Gerekli Görülme	Yararlı (Revize Edilebilir) Görülme	Çıkarılması Uygun	CVR	Karar
1	14	1	0	0.867	Korunmalı	40	13	1	1	0.733	Korunmalı
2	13	1	1	0.733	Korunmalı	41	13	1	1	0.733	Korunmalı
3	13	2	0	0.733	Korunmalı	42	4	8	3	-0.467	Çıkarılabilir
4	12	2	1	0.600	Korunmalı	43	12	2	1	0.600	Korunmalı
5	12	1	2	0.600	Korunmalı	44	12	1	2	0.600	Korunmalı
6	13	2	0	0.733	Korunmalı	45	13	2	0	0.733	Korunmalı
7	13	1	1	0.733	Korunmalı	46	13	1	1	0.733	Korunmalı
8	13	1	1	0.733	Korunmalı	47	14	0	1	0.867	Korunmalı
9	13	1	1	0.733	Korunmalı	48	13	0	2	0.733	Korunmalı
10	13	1	1	0.733	Korunmalı	49	13	0	2	0.733	Korunmalı
11	9	6	0	0.200	Revize	50	8	5	2	0.067	Revize
12	12	3	0	0.600	Korunmalı	51	14	1	0	0.867	Korunmalı
13	14	1	0	0.867	Korunmalı	52	14	1	0	0.867	Korunmalı
14	12	2	1	0.600	Korunmalı	53	15	0	0	1.000	Korunmalı
15	13	1	1	0.733	Korunmalı	54	12	2	1	0.600	Korunmalı
16	11	2	2	0.467	Revize	55	5	8	2	-0.333	Çıkarılabilir
17	13	1	1	0.733	Korunmalı	56	14	0	1	0.867	Korunmalı
18	13	0	2	0.733	Korunmalı	57	13	1	1	0.733	Korunmalı
19	13	1	1	0.733	Korunmalı	58	14	0	1	0.867	Korunmalı
20	8	4	3	0.067	Revize	59	13	1	1	0.733	Korunmalı
21	9	1	5	0.200	Revize	60	10	3	2	0.333	Revize
22	14	1	0	0.867	Korunmalı	61	14	1	0	0.867	Korunmalı
23	14	1	0	0.867	Korunmalı	62	6	8	1	-0.200	Çıkarılabilir
24	13	2	0	0.733	Korunmalı	63	12	1	2	0.600	Korunmalı
25	14	1	0	0.867	Korunmalı	64	15	0	0	1.000	Korunmalı
26	12	1	2	0.600	Korunmalı	65	6	6	3	-0.200	Çıkarılabilir
27	15	0	0	1.000	Korunmalı	66	14	1	0	0.867	Korunmalı
28	10	4	1	0.333	Revize	67	7	6	2	-0.067	Çıkarılabilir
29	11	3	1	0.467	Revize	68	13	1	1	0.733	Korunmalı
30	14	0	1	0.867	Korunmalı	69	3	8	4	-0.600	Çıkarılabilir
31	10	3	2	0.333	Revize	70	8	5	2	0.067	Revize
32	13	1	1	0.733	Korunmalı	71	14	1	0	0.867	Korunmalı
33	15	0	0	1.000	Korunmalı	72	15	0	0	1.000	Korunmalı
34	15	0	0	1.000	Korunmalı	73	13	1	1	0.733	Korunmalı
35	11	4	0	0.467	Revize	74	12	0	3	0.600	Korunmalı
36	11	3	1	0.467	Revize	75	10	2	3	0.333	Revize
37	12	0	3	0.600	Korunmalı	76	7	3	5	-0.067	Çıkarılabilir
38	13	1	1	0.733	Korunmalı	77	9	3	3	0.200	Revize
39	7	5	3	-0.067	Çıkarılabilir	78	13	1	1	0.733	Korunmalı

78 maddeden oluşan madde havuzunun 15 uzmanın değerlendirmesi neticesinde Lawshe'nin Kapsam Geçerlilik Oranı (CVR) belirlenen ölçütleri karşılamayan 8 madde havuzdan çıkarılmıştır. Ardından, kalan maddeler ikinci bir uzman değerlendirmesine tabi tutulmuştur. Bu aşamada uzman havuzunda yer alan ve insan kaynakları, liderlik/yönetim ve iletişim-içerik analizi alanlarında yetkinliği olan üç akademisyen/uygulamacının görüşlerine başvurularak maddelerin kavramsal uygunluğu, ifade açıklığı, anlaşılabilirliği ve ilgili boyutu temsil etme düzeyi değerlendirilmiştir. Bu son değerlendirme sonucunda gerekli görülen maddelerde dilsel ve içeriksel düzenlemeler yapılmış ve aynı temanın tekrar edildiği düşünülen maddelerde de birleştirme çalışması yapılarak ölçeğin pilot uygulamaya hazır nihai formu oluşturulmuştur.

Tablo 8. Madde Havuzu İlk Aşama Uzman Değerlendirmesi

Uzman	**Uzmanlık alanı**	**Temel değerlendirme katkısı**
Uzman 1	İnsan Kaynakları	İnsan odaklı dijital liderlik, çalışan, yetkinlik, değişim vb.
Uzman 2	Liderlik / Yönetim	Liderlik boyutları, stratejik liderlik, karar verme vb.
Uzman 3	İletişim / İçerik analizi	Madde ifadelerinin açıklığı, anlaşılabilirliği, içerikle uyumu

Nihai form 8 boyut ve toplam 50 sorudan oluşmaktadır. Tablo 9 nihai forma dair boyut ve soruları içermektedir.

Tablo 9. Next Generation Digital Leadership Scale (NG-DLS) Nihai Ölçek Soruları

NO	**MADDE**
A. Dijital Vizyon ve Stratejik Liderlik (1–7)	
1	Dijital lider, örgütün dijital dönüşüm vizyonunu oluşturarak açık, sürdürülebilir ve yönlendirici bir yol haritası belirler.
2	Dijital lider, dijital dönüşüm stratejilerini kurumun uzun vadeli hedefleriyle uyumlu hale getirir.
3	Dijital lider, dijitalleşmenin örgütsel rekabet avantajı yaratacağını öngörebilir.
4	Dijital lider, dijital dönüşümü yalnızca teknoloji değil, kültürel dönüşüm olarak ele alır.
5	Dijital lider, değişen dijital ekosistemin örgütsel performans üzerindeki etkilerini değerlendirerek stratejik kararlar alır.
6	Dijital lider, dijital dönüşüm sürecinde sürdürülebilir büyüme hedefler.
7	Dijital lider, dijital iş modellerinin geliştirilmesini destekler.
B. Yapay Zekâ Liderliği ve İnsan–AI Yönetimi (8-14)	
8	Dijital lider, üretken yapay zekâ destekli karar alma süreçlerini etkin kullanır.
9	Dijital lider, üretken yapay zekâ araçlarının örgütsel kullanımını teşvik eder.
10	Dijital lider, insan ve yapay zekâ iş birliğini etkin şekilde yönetir.
11	Dijital lider, otomasyon ve insan emeği arasında denge kurar.
12	Dijital lider, AI temelli inovasyon süreçlerini destekler.
13	Dijital lider, yapay zekâ çıktılarının doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirir.
14	Dijital lider, AI tabanlı karar süreçlerinde insan kontrolünü korur.

C. Veri Odaklı Liderlik ve Analitik Karar Verme (15-20)	
15	Dijital lider, veri temelli karar alma süreçlerini etkin biçimde kullanır.
16	Dijital lider, veri okuryazarlığını örgüt genelinde geliştirmeyi destekler.
17	Dijital lider, veri temelli performans yönetim sistemlerini kullanır.
18	Dijital lider, dijital verileri stratejik kaynak olarak değerlendirir.
19	Dijital lider, veri kalitesini ve güvenilirliğini kontrol eder.
20	Dijital lider, veri temelli inovasyon süreçlerini destekler.
D. Dijital Etik ve Sorumlu Liderlik (21-26)	
21	Dijital lider, dijital etik ilkelere uygun yönetim anlayışı geliştirir.
22	Dijital lider, veri gizliliği ve mahremiyet konularına önem verir.
23	Dijital lider, dijital şeffaflık kültürünü destekler.
24	Dijital lider, siber etik ihlallerine karşı önleyici politikalar geliştirir.
25	Dijital lider, dijital teknolojilerin sorumlu kullanımını teşvik eder.
26	Dijital lider, dijital karar süreçlerinde hesap verebilirliği sağlar.
E. Siber Güvenlik ve Dijital Risk Yönetimi (27-32)	
27	Dijital lider, siber güvenlik politikalarının uygulanmasını sağlar.
28	Dijital lider, dijital riskleri önceden tespit eder ve yönetir.
29	Dijital lider, veri güvenliği farkındalığını artırır.
30	Dijital lider, kritik dijital altyapıların korunmasını sağlar.
31	Dijital lider, kriz durumlarında dijital güvenlik yönetimini etkin yürütür.
32	Dijital lider, güvenli dijital iletişim kanallarını teşvik eder.
F. Dijital Çeviklik ve Değişim Yönetimi (33-39)	
33	Dijital lider, hızlı değişen dijital çevreye uyum sağlar.
34	Dijital lider, değişimi fırsat olarak değerlendirir.
35	Dijital lider, örgütte çevik çalışma kültürünü destekler.
36	Dijital lider, çalışanları dijital dönüşüm sürecine adapte eder.
37	Dijital lider, kriz durumlarında hızlı adaptasyon sağlar.
38	Dijital lider, sürekli öğrenme kültürünü örgüte kazandırır.
39	Dijital lider, değişime karşı direnç yönetimini etkin biçimde yürütür.
G. İnsan Odaklı Dijital Liderlik (40-45)	
40	Dijital lider, çalışanları dijital dönüşüm sürecinde motive eder.
41	Dijital lider, çalışanların dijital yetkinliklerini geliştirir.
42	Dijital lider, ekip çalışmasını ve iş birliğini destekler.
43	Dijital lider, çalışanların refahını dikkate alır.
44	Dijital lider, açık ve etkili iletişim kurar.
45	Dijital lider, örgütsel bağlılığı güçlendirir.
H. Dijital Yetkinlik ve Teknoloji Kullanımı (46-50)	
46	Dijital lider, dijital okuryazarlık açısından güncel kalır.
47	Dijital lider, yeni dijital yetenekleri kuruma kazandırır.
48	Dijital lider, dijital araçları örgütsel amaçlara göre uyarlayabilir.
49	Dijital lider, dijital iletişim kanallarını etkin kullanır.
50	Dijital lider, dijital platform ekosistemlerini yönetebilir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, yapay zekâ ve dijital dönüşüm bağlamında ortaya çıkan yeni liderlik gerekliliklerini bütüncül biçimde değerlendirmeye yönelik bir dijital liderlik ölçeğinin geliştirilmesinde kapsam geçerliliği ve madde arıtma aşaması gerçekleştirilmiştir. Sistematik literatür taraması ve kavramsal değerlendirmeler doğrultusunda başlangıçta sekiz boyut altında 78 maddeden oluşan bir madde havuzu oluşturulmuştur. Bu boyutlar; Dijital Vizyon ve Stratejik Liderlik, Yapay Zekâ Liderliği ve İnsan–AI Yönetimi, Veri Odaklı Liderlik ve Analitik Karar Verme, Dijital Etik ve Sorumlu Liderlik, Siber Güvenlik ve Dijital Risk Yönetimi, Dijital Çeviklik ve Değişim Yönetimi, İnsan Odaklı Dijital Liderlik ve Dijital Yetkinlik ve Teknoloji Kullanımıdır. Bu yapı, dijital liderliği yalnızca teknolojik araçların kullanımına indirgemeyerek stratejik yön belirleme, yapay zekâ ile çalışma, veri temelli karar verme, etik ve sorumlu teknoloji kullanımı, güvenlik, çeviklik ve insan odaklılık gibi birbirini tamamlayan boyutlarla ele almaktadır.

İlk uzman değerlendirmesinde 15 uzmanın görüşleri alınmış ve kapsam açısından uygunluğu düşük görülen sekiz maddenin (39, 42, 55, 62, 65, 67, 69 ve 76) çıkarılabileceği belirlenmiştir. Bu işlem, ölçeğin kavramsal kapsamını daraltmaktan ziyade benzer, genel veya yapıya katkısı sınırlı ifadelerin azaltılmasına yönelik bir madde arıtma süreci olarak değerlendirilmiştir. Bunun yanında, ilk uzman panelinin açık uçlu görüş ve önerileri ile insan kaynakları, liderlik/yönetim ve iletişim-içerik analizi alanlarında uzman üç akademisyen/uygulamacının ikinci değerlendirmesinden yararlanılmıştır. Böylece maddeler yalnızca sayısal kapsam geçerliliği göstergeleri üzerinden değil; kavramsal uygunluk, ifade açıklığı, anlaşılabilirlik, boyutla uyum ve içerik tekrarları açısından da incelenmiştir.

Uzman değerlendirmeleri sonucunda gerekli görülen maddelerde dilsel ve içeriksel düzenlemeler yapılmış, aynı davranışı veya büyük ölçüde örtüşen içeriği ifade eden maddeler birleştirilmiştir. Örneğin dijital dönüşüm vizyonu oluşturma, dijital trendleri analiz ederek stratejik yön belirleme ve dijital dönüşüm için yol haritası oluşturma gibi birbiriyle yüksek düzeyde örtüşen ifadeler daha bütüncül maddeler altında toplanmıştır. Benzer şekilde stratejik karar alma ve dijitalleşmenin örgütsel performans üzerindeki etkisini değerlendirme gibi ilişkili içerikler de sadeleştirilmiştir. Bu süreç sonucunda başlangıçtaki 78 maddelik havuz, aynı sekiz boyutlu kavramsal çerçeveyi koruyarak 50 maddelik pilot forma dönüştürülmüştür.

Elde edilen yapı, özellikle yapay zekâ, veri analitiği, algoritmik karar verme ve dijital etik gibi unsurları dijital liderliğin temel bileşenleri arasında konumlandırması bakımından güncel dijital liderlik yaklaşımlarını genişletmektedir. Yapay zekâ destekli karar alma, insan–AI iş birliği, AI çıktılarının güvenilirliğinin değerlendirilmesi ve karar süreçlerinde insan kontrolünün korunması gibi içeriklerin ayrı bir boyut altında ele alınması, yapay zekâ çağında liderlik rollerinin yeniden düşünülmesi gerektiğine işaret etmektedir. Benzer biçimde veri gizliliği, şeffaflık, hesap verebilirlik, siber güvenlik ve dijital risk yönetiminin ölçek kapsamında yer alması, dijital liderliğin yalnızca teknoloji kullanma becerisiyle açıklanamayacağını göstermektedir.

Çalışmanın önemli çıktılarından biri, madde sayısındaki azaltmayla birlikte ölçeğin uygulanabilirliğinin artırılmasıdır. 78 maddeden 50 maddeye gerçekleştirilen dönüşüm, içerik tekrarlarının azaltılması ve benzer maddelerin birleştirilmesi yoluyla katılımcıların değerlendirme yükünü azaltırken başlangıçtaki kavramsal kapsamın korunmasını sağlamıştır. Bununla birlikte, 50 maddelik form nihai ve psikometrik olarak doğrulanmış bir ölçek olarak değil, pilot uygulamaya hazır bir form olarak değerlendirilmelidir. Mevcut çalışma kapsam ve içerik geçerliliğine ilişkin kanıt sağlamakta; faktör yapısı, yapı geçerliliği, iç tutarlılık ve farklı örneklemlerdeki ölçme özelliklerinin belirlenmesi için ise ampirik doğrulama gerekmektedir.

Araştırmanın bazı kısıtları bulunmaktadır. Öncelikle, ölçeğin psikometrik özellikleri henüz gerçek katılımcılardan elde edilen geniş örneklem verileriyle test edilmemiştir. Bu nedenle mevcut bulgular ölçeğin kapsam ve içerik açısından uygunluğunu desteklemekle birlikte, faktör yapısı ve güvenilirliği konusunda tek başına yeterli kanıt oluşturmamaktadır. İkinci olarak, uzman panelinin disiplinler arası yapısı farklı bakış açıları sağlamış olsa da uzman değerlendirmeleri doğası gereği belirli ölçüde öznel yargılar içermektedir. Ayrıca yapay zekâ ve dijital teknolojilerin hızlı gelişimi, dijital liderliğe ilişkin beklentilerin zaman içerisinde değişmesine neden olabileceğinden ölçeğin güncelliğinin düzenli olarak gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Gelecek araştırmalarda 50 maddelik formun farklı sektörlerden ve örgütsel kademelerden geniş örneklemlere uygulanması önerilmektedir. Öncelikle Açımlayıcı Faktör Analizi (AFA/EFA) ile maddelerin ampirik olarak nasıl kümelendiği incelenmeli, ardından bağımsız bir örneklem üzerinde Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA/CFA) gerçekleştirilerek sekiz boyutlu yapının doğrulanması sağlanmalıdır. Bunun yanı sıra iç tutarlılık, test-tekrar test güvenirliği, yakınsak ve ayrışma geçerliliği gibi psikometrik özelliklerin incelenmesi ölçeğin geçerlilik ve güvenilirliğine ilişkin kanıtları güçlendirecektir. Farklı sektör ve ülkelerde yapılacak uygulamalarla ölçme değişmezliğinin ve kültürlerarası geçerliliğin test edilmesi de ölçeğin kullanım alanını genişletebilir.

Son olarak, üretken yapay zekâ, otonom yapay zekâ sistemleri, algoritmik karar verme, insan–AI iş birliği ve AI yönetişimi gibi alanlardaki hızlı gelişmeler dikkate alınarak ölçeğin belirli aralıklarla gözden geçirilmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle NG-DLS'nin statik bir ölçme aracı yerine, teknolojik ve örgütsel dönüşümler doğrultusunda güncellenebilen dinamik bir ölçme çerçevesi olarak ele alınması önerilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, dijital liderliği yapay zekâ, veri, etik, siber güvenlik, çeviklik, insan odaklılık ve dijital yetkinlik boyutlarını birlikte dikkate alarak değerlendirmeye yönelik sistematik bir başlangıç sunmaktadır. Uzman görüşleri, açık uçlu geri bildirimler ve içerik odaklı ikinci aşama değerlendirmeler sonucunda 78 maddelik başlangıç havuzu, kavramsal kapsamı korunarak 50 maddelik pilot forma indirgenmiştir. Bu formun sonraki aşamalarda farklı ve geniş örneklemler üzerinde gerçekleştirilecek psikometrik analizlerle sınanması, NG-DLS'nin dijital liderliğin ölçülmesinde geçerli ve güvenilir bir araç olarak kullanılabilirliğine ilişkin daha güçlü kanıtlar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Benitez, J., Arenas, A., Castillo, A., & Esteves, J. (2022). Impact of digital leadership capability on innovation performance: The role of platform digitization capability. *Information & Management, 59*(2), 103590. https://doi.org/10.1016/j.im.2022.103590

Bolte, S., Dehmer, J., & Niemann, J. (2018). Digital leadership 4.0. *Acta Technica Napocensis – Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering, 61*(4), 637–646.

Bosch, U., Hentschel, S., & Kramer, S. (2018). *Digital offroad: Erfolgsstrategien für die digitale Transformation*. Haufe-Lexware.

Bughin, J., Deakin, J., & O'Beirne, B. (2019, October 22). Digital transformation: Improving the odds of success. *McKinsey Quarterly*. McKinsey & Company.

Büyükbeşe, T., Dikbaş, T., Klein, M., & Batuk Ünlü, S. (2022). A study on digital leadership scale (DLS) development. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 19*(2), 740–760. https://doi.org/10.33437/ksusbd.1135540

Cavus, N., Aghamiri, S., & Sancar, N. (2025). Development and validation of digital leadership skills scale. *Entrepreneurial Business and Economics Review, 13*(2), 7–28. https://doi.org/10.15678/EBER.2025.130201

Claassen, K., Rodil Dos Anjos, D., Kettschau, J. P., Wrede, S. J. S., & Broding, H. C. (2023). DigiFuehr 2.0: Novel insights for digital leadership. *Journal of Occupational Health, 65*(1), e12383. https://doi.org/10.1002/1348-9585.12383

Cortellazzo, L., Bruni, E., & Zampieri, R. (2019). The role of leadership in a digitalized world: A review. *Frontiers in Psychology, 10*, 1938. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01938

Davutoğlu, N. A. (2018). Sanayi 4.0'ın liderlik ve insan kaynakları yönetimine algısal etkileri. *Journal of Social and Humanities Research, 5*(30), 4041–4048.

De Waal, B., van Outvorst, F., & Ravesteyn, P. (2016). Digital leadership: The objective-subjective dichotomy of technology revisited. In *Proceedings of the 12th European Conference on Management, Leadership and Governance* (pp. 52–60).

Doğan, O., & Aytaç, T. (2025). Digital leadership skills of school administrators: A scale development study. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 9*(3), 503–514. https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1782985

Eberl, J. K., & Drews, P. (2021). Digital leadership—Mountain or molehill? A literature review. In F. Ahlemann, R. Schütte, & S. Stieglitz (Eds.), *Innovation through information systems: Volume III* (pp. 223–237). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86800-0_17

El Sawy, O., Amsinck, H., Kræmmergaard, P., & Vinther, A. L. (2016). How LEGO built the foundations and enterprise capabilities for digital leadership. *MIS Quarterly Executive, 15*(2), 141–166.

Erhan, T., Uzunbacak, H. H., & Aydin, E. (2022). From conventional to digital leadership: Exploring digitalization of leadership and innovative work behavior. *Management Research Review, 45*(11), 1524–1543. https://doi.org/10.1108/MRR-05-2021-0338

Fisk, P. (2002). The making of a digital leader. *Business Strategy Review, 13*(1), 43–50. https://doi.org/10.1111/1467-8616.00201

Gronow, M. (2007). ICT leadership in school education. Paper presented at the *Australian Catholic University Conference: Directions for Catholic Education Leadership in the 21st Century*, Sydney, Australia.

Henderikx, M., & Stoffers, J. (2022). An exploratory literature study into digital transformation and leadership: Toward future-proof middle managers. *Sustainability, 14*(2), 687. https://doi.org/10.3390/su14020687

Klein, M. (2020). Leadership characteristics in the era of digital transformation. *Business & Management Studies: An International Journal, 8*(1), 883–902. https://doi.org/10.15295/bmij.v8i1.1441

Larjovuori, R.-L., Bordi, L., Mäkiniemi, J.-P., & Heikkilä-Tammi, K. (2016). The role of leadership and employee well-being in organisational digitalisation. In *What's ahead in service research? New perspectives for business and society: RESER 2016 proceedings*.

Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology, 28*(4), 563–575. https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x

Lindner, D., & Greff, T. (2019). Führung im Zeitalter der Digitalisierung – Was sagen Führungskräfte? *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 56*(3), 628–646. https://doi.org/10.1365/s40702-018-00447-9

Marshall, C., & Rossman, G. B. (2014). *Designing qualitative research* (6th ed.). SAGE.

McCarthy, P., Sammon, D., & Alhassan, I. (2021). Digital transformation leadership characteristics: A literature analysis. *Journal of Decision Systems, 32*(1), 79–109. https://doi.org/10.1080/12460125.2021.1908934

Mihardjo, L. W. W., Sasmoko, S., Alamsjah, F., & Elidjen, E. (2019). Digital leadership role in developing business model innovation and customer experience orientation in Industry 4.0. *Management Science Letters, 9*(11), 1749–1762. https://doi.org/10.5267/j.msl.2019.6.015

Munsamy, M., Dhanpat, N., & Barkhuizen, E. N. (2023). The development and validation of a digital leadership competency scale. *Acta Commercii, 23*(1), a1057. https://doi.org/10.4102/ac.v23i1.1057

Oberer, B., & Erkollar, A. (2018). Leadership 4.0: Digital leaders in the age of Industry 4.0. *International Journal of Organizational Leadership, 7*(4), 404–412. https://doi.org/10.33844/ijol.2018.60332

Ordu, A., & Nayır, F. (2021). What is digital leadership? A suggestion of the definition. *E-International Journal of Educational Research, 12*(3), 68–81. https://doi.org/10.19160/e-ijer.946094

Oktaysoy, O., Topcuoglu, E., & Kaygin, E. (2022). A study on digital leadership scale adaptation. *International Journal of Organizational Leadership, 11*(4), 407–425. https://doi.org/10.33844/ijol.2022.60342

Öz, Ö. (2020). Dijital liderlik: Dijital dünyada okul lideri olmak. *Uluslararası Liderlik Çalışmaları Dergisi: Kuram ve Uygulama, 3*(1), 45–57. https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijls/article/635293

Özmen, Ö. N., Eriş, E., & Özer, P. (2020). Dijital Liderlik Çalışmalarına Bir Bakış. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *25*(1), 57-69. https://izlik.org/JA39AL57JR

Prince, K. A. (2017). Industrie 4.0 and leadership. In *Proceedings of the 17th International Conference on Electronic Business* (pp. 132–139). ICEB.

Promsri, C. (2019). The developing model of digital leadership for a successful digital transformation. *GPH-International Journal of Business Management, 2*(8), 1–8. https://www.gphjournal.org/index.php/bm/article/view/249

Schiuma, G., Schettini, E., & Santarsiero, F. (2021). How wise companies drive digital transformation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 7*(2), 122. https://doi.org/10.3390/joitmc7020122

Sheninger, E. (2014). *Pillars of digital leadership*. International Center for Leadership in Education.

Sikora, H. (2017). Digital age management: Führung im digitalen Zeitalter. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik, 134*, 344–348. https://doi.org/10.1007/s00502-017-0524-0

Sürücü, L., Yıkılmaz, İ., & Maşlakçı, A. (2022). Dijital Liderlik: Bir Ölçek Uyarlama Çalışması. *Abant Sosyal Bilimler Dergisi, 22*(3), 1038–1050. https://doi.org/10.11616/asbi.1099012

Şahin, Ç. Ç., Avcı, Y. E., & Anık, S. (2020). Dijital liderlik algısının metaforlar yoluyla incelenmesi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 19*(73), 271–286. https://doi.org/10.17755/esosder.535159

Teichmann, S., & Hüning, C. (2018). Digital leadership – Führung neu gedacht: Was bleibt, was geht? In *Disruption und transformation management: Digital leadership – Digitales Mindset – Digitale Strategie* (pp. 23–42). Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-19131-3_2

Yüksel, M., & Genç, K. Y. (2018). Endüstri 4.0 ve liderlik. *SETSCI Conference Proceedings, 3*, 338–341.

Zeike, S., Bradbury, K., Lindert, L., & Pfaff, H. (2019). Digital leadership skills and associations with psychological well-being. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 16*(14), 2628. https://doi.org/10.3390/ijerph16142628

Zhu, P. (2015). *Digital master: Debunk the myths of enterprise digital maturity*. Lulu Press.

Zulu, S. L., & Khosrowshahi, F. (2021). A taxonomy of digital leadership in the construction industry. *Construction Management and Economics, 39*(7), 565–578. https://doi.org/10.1080/01446193.2021.1930080.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

AR-GE HARCAMALARININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK (ESG) SKORLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ NASILDIR? AMPİRİK BİR İNCELEME

Öğr. Gör. Dr. Ersin YENİSU
Uşak Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Sağlık Kurumları İşletmeciliği
ORCID: 0000-0002-0235-4270

ÖZET
Günümüzde sürdürülebilirlik (ESG) faaliyetleri işletmeler açısından varlığını sürdürmek kadar önemli bir amaçtır. Akademik literatür ile uygulamanın paralel ilerlediği sürdürülebilirlik yaklaşımında şimdiye kadar özellikle son yıllarda çok sayıda araştırma yapılmıştır. Söz konusu çalışmalarda sürdürülebilirlik konusu çok farklı açılardan ve yine çok farklı boyutlarda inceleme konusu edilmiştir. Bu çalışmada da sürdürülebilirlik konusu yine farklı bir açıdan ele alınmış ve literatüre özgün bulgular sunulmaya çalışılmıştır. Dikkate değerdir ki her bir nicel araştırma ya da veri analizi literatüre yeni ve özgün bulgular sunmaya adaydır. Bu doğrultuda çalışmamızda klasik değişkenlerin kullanımının aksine AR-GE faaliyetlerinin sürdürülebilirlik (ESG) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Analizlerde "Thomson Reuters Eikon - Datastream" ve "Dünya Bankası" veri tabanlarından alınan ve 2008-2024 yıllık verilerinden oluşan panel veri setleri kullanılmıştır. Çalışmanın örneklemi ise endüstri sektöründe faaliyet gösteren 36 ABD şirketidir. Çalışmanın uygulama kısmında tanımlayıcı istatistikler, korelasyon analizi, standart (klasik etkili, tesadüfi etkili ve sabit etkili) panel veri teknikleri ve iki aşamalı dinamik "Sistem GMM" panel veri teknikleri "Stata" paket programı marifetiyle kullanılmıştır. "Sistem GMM" analizi dinamik bir yaklaşımdır yani diğer bağımsız değişkenlerin yanı sıra bağımlı değişkenin bir dönem gecikmeli halinin bağımsız değişken olarak modelde kullanıldığı ileri bir panel veri analizi metodudur. Dolayısıyla çalışmamızda yapılan analizler içerisinde standart panel veri tekniklerinin yanı sıra "Sistem GMM" gibi ileri bir yöntem kullanılarak analiz bulgularının sağlamlığı gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte çalışmada AR-GE harcamaları değişkeni özgün bir formülle hesaplanarak modele *"Dummy (Kukla)"* değişken olarak dâhil edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre; hem standart panel veri teknikleriyle yapılan analizlerde hem de "Sistem GMM" analizi sonuçlarına göre AR-GE faaliyetlerinin ESG üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığına dair güçlü kanıtlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada yapılan analizlere göre öncelikle endüstri sektöründe daha yüksek AR-GE harcaması yapmanın sürdürülebilirlik (ESG) skorları üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Dolayısıyla ESG skorlarını yükseltmek isteyen firmalar AR-GE harcamaları haricindeki diğer değişkenlere odaklanmalıdırlar.
Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik; ESG; AR-GE Harcamaları; Sistem GMM Modeli

HOW DO R&D EXPENDITURES AFFECT SUSTAINABILITY (ESG) SCORES? AN EMPIRICAL STUDY

ABSTRACT
Today, sustainability (ESG) activities are as important an objective for businesses as their very existence. In the sustainability approach, where academic literature and practice progress in parallel, numerous studies have been conducted, especially in recent years. These studies have examined the topic of sustainability from many different angles and dimensions. This study also addresses the topic of sustainability from a different perspective, aiming to present findings unique to the literature. It is noteworthy that every quantitative research or data analysis has the potential to offer new and original findings to the literature.

Accordingly, unlike the use of classical variables, this study investigates the impact of R&D expenditure on sustainability (ESG). Panel datasets consisting of annual data from 2008-2024, obtained from the “Thomson Reuters Eikon - Datastream” and “World Bank” databases, were used in the analyses. The sample of the study consists of 36 US companies operating in the industrial sector. In the application part of the study, descriptive statistics, correlation analysis, standard (classical effects, random effects, and fixed effects) panel data techniques, and two-stage dynamic “System GMM” panel data techniques were used with the “Stata” software package. “System GMM” analysis is a dynamic approach, meaning it is an advanced panel data analysis method where the lagged version of the dependent variable is used as an independent variable in the model, along with other independent variables. Therefore, in our study, in addition to standard panel data techniques, an advanced method such as “System GMM” was used to ensure the robustness of the analysis findings. Furthermore, the R&D expenditure variable was calculated using a unique formula and included in the model as a “Dummy” variable. According to the findings, strong evidence was obtained that R&D expenditure have no effect on ESG, both in analyses performed with standard panel data techniques and in the “System GMM” analysis results. In conclusion, according to the analyses conducted in this study, increasing R&D expenditures in the industrial sector has no effect on sustainability (ESG) scores. Therefore, companies wishing to improve their ESG scores should focus on variables other than R&D expenditures.
Keywords: Sustainability; ESG; R&D Expenditures; System GMM Model

GİRİŞ

Sürdürülebilirlik günümüzde giderek artan bir öneme sahiptir. İşletmelerin geleneksel amaçlarının ve modern amaçlarının yanı sıra sürdürülebilirlik faaliyetlerinde bulunmak da yeni bir amaç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte 2000’li yıllardan sonra işletme çevrelerinde ve kamuoyunda sürdürülebilirliği sadece yeşil ekonomi ya da ekolojik boyutuyla değerlendirenlerin sayısı hiç de az değildir. Fakat aslında sürdürülebilirliğin sosyal (insan odaklılık) ve yönetişim (modern kurumsal yönetim) boyutu da son derece önemlidir. Bu bağlamda sürdürülebilirlik (ESG); çevresel (E), sosyal (S) ve yönetişim (G) boyutlarının birleşiminden oluşmaktadır. Söz konusu boyutların her biri ayrı ayrı dikkate değer iken bunların bir uyum içerisinde birleşimi de önemli bir husustur.

Sürdürülebilirlik alanında özellikle son yıllarda literatürde çok sayıda çalışma yapılmış ve önemli uygulama örnekleriyle karşılaşılmıştır. Örneğin; sürdürülebilirlik finansal performans ilişkisi, sürdürülebilirlik piyasa değeri ilişkisi ya da sürdürülebilirlik firma değeri ilişkisi bunlardan bazılarıdır. Bu çalışmada ise araştırma geliştirme (AR-GE) faaliyetlerinin sürdürülebilirlik skorları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu yönüyle çalışma literatüre yeni ve farklı katkılar sunmaya adaydır.

Bu çalışmanın izleyen bölümünde konunun teorik temellerini açıklamaya yardımcı olabilecek bir literatür incelemesi yer almaktadır. Daha sonraki bölümde de analiz sonuçlarını içeren uygulama bulguları açıklanmıştır. Çalışmanın son bölümü ise sonuç kısmına ayrılmıştır.

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Yerli ve yabancı literatürde sürdürülebilirlik ile ilgili yapılmış çok sayıda çalışma vardır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır. Söz konusu literatür özeti içerisinde özellikle sürdürülebilirlik ve AR-GE harcamaları ilişkisini ele alan çalışmalara öncelik verilmiştir.

Yu vd. (2018) çalışmalarında çevresel sosyal ve yönetişim şeffaflığı ile firma değeri ilişkisini incelemişlerdir. Çalışmada yapılan analizler neticesinde sürdürülebilirlik (ESG) faaliyetlerinin ortalama bir borsada faaliyet gösteren şirketler için faydalarının maliyetlerinden daha fazla olduğu bulgulanmıştır.

Harymawan vd. (2022) yatırım etkinliği ile sürdürülebilirlik raporlaması ilişkisini kurumsal entegrasyon yönetimi perspektifinden ele almışlardır. Çalışmada ulaşılan bulgulara göre yatırım etkinliği ESG raporlama kalitesini arttırmada kritik itici güçlerden biridir.

Ramadhan vd. (2023) sürdürülebilirlik (ESG) açıklamaları ve AR-GE yoğunluğu ilişkisini küresel İslami endekste listelenen 10 şirket özelinde incelemişlerdir. Elde edilen bulgulara göre AR-GE yoğunluğu ile firma büyüklüğünün ESG açıklamaları üzerinde etkisi yoktur.

Baek & Lee (2024) AR-GE yatırımlarının sürdürülebilir kalkınma için itici bir güç olup olamayacağı konusunu Kore endüstrisi kapsamında incelemişlerdir. Yapılan analizlerin sonuçlarına göre; ESG performansı kurumsal finansal performans üzerinde olumsuz bir etkiye sahipken, yoğun kirletici endüstrilerde istatistiksel olarak anlamlı bir etki bulunmamaktadır. İkinci olarak, AR-GE yatırımlarının kurumsal finansal performans üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur; ancak çevresel (E) ve sosyal (S) performans ile kurumsal finansal performans arasında olumlu bir düzenleyici etki söz konusudur.

Doni & Fiameni (2024) çalışmalarında inovasyonun ESG boyutları ile finansal performans arasındaki ilişkiyi etkileyip etkilemediğini incelemişlerdir. Çalışmanın bulguları şöyledir; bazı sosyal (S) konular ile kurumsal finansal performans (CFP) arasında pozitif ilişkiler, çevresel (E) göstergeler ile CFP arasında ise daha zayıf bağlantılar tespit edilmiştir. Buna karşılık, yönetişim (G) konuları (yani yönetim kurulu yapısı ve işleyişiyle ilgili hususlar) CFP'yi olumsuz etkilemektedir. Öte yandan, orta düzeyde inovasyon yapan şirketlerde bu ilişkiler mevcut değilken, düşük düzeyde inovasyon yapan şirketlerde negatif ilişkiler görülmektedir.

Pinheiro vd. (2024) enerji sektörü bağlamında ESG, inovasyon, ekonomik ve finansal performans arasındaki ilişkileri araştırmıştırlar. Çalışmada elde edilen bulgulara göre; AR-GE'ye daha fazla finansal kaynak ayırma eğiliminde olan şirketlerde daha yüksek bir ESG performansına sahip olma olasılığının daha yüksektir. Bununla birlikte, daha yüksek ESG performansına sahip şirketler, daha yüksek ekonomik ve finansal performans sergileme eğilimindedir.

Singhania & Gupta (2024) çalışmalarında firma riski üzerinde ESG açıklamalarının etkisini incelemişlerdir. Ulaşılan bulgulara göre, firma büyüklüğü ve kadın katılımı, ESG açıklamaları ile firma risk düzeyi arasındaki ilişki üzerinde anlamlı bir düzenleyici etkiye sahiptir.

Boğa Şahin vd. (2025) ABD teknoloji ve gıda şirketleri üzerinden ESG, AR-GE ve firma performansı arasındaki nedensel ilişkileri araştırmışlardır. Elde edilen bulgulara göre; sektörler arasında farklı nedensellik ilişkileri vardır. Teknoloji sektöründeki AR-GE yatırımları, ESG (Çevresel, Sosyal ve Yönetişim) uyumunu artırarak firma performansını olumlu etkilerken; gıda sektöründe firma performansı ESG uyumuna yön vererek AR-GE yatırımlarını teşvik etmektedir.

Elkemali (2026) çalışmasında AR-GE harcamaları ile ESG açıklamaları arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre; AR-GE yoğunluğunun ESG (Çevresel, Sosyal ve Yönetişim) açıklamalarıyla pozitif bir ilişki içinde olduğu ve bu ilişkinin yönetim kurulu bağımsızlığıyla güçlendiği bulgulanmıştır.

Fortea vd. (2026) çalışmalarında Avrupa Birliği'nde çevresel sürdürülebilirlik, inovasyon ve döngüsel ekonomi arasındaki ilişkileri analiz etmiştirler. Elde edilen sonuçlara göre; daha yüksek kaynak verimliliği emisyonların azalmasıyla ilişkilidir. Aynı zamanda, döngüsel malzemelerin kullanımı ve yenilenebilir enerjinin hayata geçirilmesi, araştırma ve geliştirmeye (AR-GE) yapılan yatırımların artması yoluyla inovasyonu teşvik etmektedir.

İnovasyon, döngüsel ekonomi ile sürdürülebilirlik arasındaki etkileşimde kilit bir aracı mekanizma olarak öne çıkmaktadır.

Yukarıdaki literatür incelenmesinde özellikle AR-GE ve sürdürülebilirlik ilişkileri farklı açılardan ele alınmıştır. Genel araştırma bulgularının özetlenmesi gerekirse sürdürülebilirlik ve performans bağlamında AR-GE aracı ya da düzenleyici bir etkiye sahiptir. Diğer bir ifadeyle sürdürülebilirlik (ESG) göstergeleri açısından, çalışmamızın bulgularının aksine, AR-GE çoğu zaman önemli bir etkiye sahiptir.

BULGULAR

Ampirik bir uygulamayı içeren çalışmamızda 2008-2024 yıllık verileri kullanılmıştır. Veriler "Datastream" ve "Dünya Bankası" veri tabanından temin edilmiştir. Analizlere ABD endüstri sektöründen verilerine tam olarak ulaşılabilen 36 şirket dâhil edilmiştir. Diğer taraftan analizlerde "Stata" paket programından yararlanılmıştır.

Çalışmanın analiz ve bulgular bölümünde ilk olarak tanımlayıcı istatistikler ve korelasyona analizi tablosu sunulmuştur. Daha sonra havuzlanmış EKK panel regresyon sonuçları (Pooled OLS) tablosu oluşturulmuştur. Bir sonraki aşamada ise tesadüfi etkili panel regresyon sonuçları (Random Effect-RE) sunulmuştur. Hemen ardından sabit etkili panel regresyon sonuçları *(Fixed Effect-FE)* tablo olarak paylaşılmıştır. Çalışmanın analiz kısmında son olarak "Sistem GMM" panel regresyon sonuçları *(Two-Step System GMM)* sunulmuştur.

Tablo 1: Tanımlayıcı istatistikler ve korelasyon analizi

Değişken	**ESG**	**AR-GE**	**SIZE**	**LEV**	**ROA**	**GDP**	**GE**
ESG	1.000						
AR-GE	0.440*	1.000					
	(0.000)						
SIZE	0.662*	0.691*	1.000				
	(0.000)	(0.000)					
LEV	-0.104*	0.093*	0.062	1.000			
	(0.012)	(0.021)	(0.125)				
ROA	-0.122*	-0.217*	-0.108*	0.063	1.000		
	(0.003)	(0.000)	(0.008)	(0.120)			
GDP	0.117*	0.014	0.074	0.025	0.180*	1.000	
	(0.005)	(0.730)	(0.067)	(0.539)	(0.000)		
GE	-0.328*	-0.018	-0.138*	-0.071	-0.172*	-0.341*	1.000
	(0.000)	(0.662)	(0.001)	(0.078)	(0.000)	(0.000)	
Gözlem	584	612	612	611	610	612	612
Ortalam	58.512	667322.7	7.032	29.84	8.138	1.976	76.444
Std. Sap.	18.061	974801.1	0.563	17.957	5.41	1.933	2.83
Min.	5.64	8139	4.939	0	-29.62	-2.577	71.965
Max.	93.26	6506000	8.258	117.914	34.33	6.055	80.057

** $p<0.05$*

Tablo 1'e göre ABD endüstri sektöründe faaliyette bulunan 36 şirketin ESG ortalaması "58,5"; finansal kaldıraç ortalaması " % 29,8" ve aktif karlılığı ortalaması "% 8,1"dir. Korelasyon analizi sonuçlarına göre sürdürülebilirlik skorları (ESG) ile araştırma geliştirme harcamaları (AR-GE), işletme büyüklüğü (SIZE), finansal kaldıraç (LEV), aktif karlılığı (ROA), GSMH büyüme oranı (GDP) ve ülke yönetişim endeksi değeri (GE) doğrudan ilişkilidir. Bu görünüm araştırma modelinin sağlamlığına işaret olabilir.

Tablo 2. Havuzlanmış EKK panel regresyon sonuçları *(Pooled OLS)*

ESG	Coef.	St.Err.	t-value	p-value	[95% Conf	Interval]	Sig
DUMMY	-.577	1.106	-0.52	.602	-2.75	1.595	
SIZE	23.194	1.069	21.69	0	21.094	25.294	***
LEV	-.138	.029	-4.68	0	-.196	-.08	***
ROA	-.149	.107	-1.40	.163	-.359	.061	
GDP	.079	.282	0.28	.78	-.475	.632	
GE	-1.957	.193	-10.14	0	-2.336	-1.578	***
Constant	48.917	17.294	2.83	.005	14.95	82.884	***

Mean dependent var	58.512	SD dependent var	18.061
R-squared	0.543	Number of obs	584
F-test	114.425	Prob > F	0.000
Akaike crit. (AIC)	4592.496	Bayesian crit. (BIC)	4623.085

*** *p<.01,* ** *p<.05,* * *p<.1*

Tablo 2'de klasik panel veri analizi sonuçları sunulmuştur. Tablo 2'de bağımlı değişken ESG; bağımsız değişkenler kukla değişken (DUMMY), SIZE, LEV, ROA, GDP, GE ve sabit değişkendir (Constant). AR-GE harcamalarının kukla değişken ile (Ortalamanın üzerinde ise: 1, Ortalamanın altında ise: 0 değerleri alan) temsil edildiği model sonuçlarına göre kukla değişkenin olasılık değeri "p=0,602" 0,05'ten büyük olduğu için istatistiksel olarak anlamsızdır. Yani AR-GE harcamalarının ESG üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur.
Klasik model tahminlemesinin ardından tesadüfi etkili panel regresyon sonucu Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Tesadüfi etkili panel regresyon sonuçları *(Random Effect-RE)*

ESG	Coef.	St.Err.	t-value	p-value	[95% Conf	Interval]	Sig
DUMMY	1.857	1.379	1.35	.178	-.846	4.56	
SIZE	19.299	2.094	9.22	0	15.195	23.402	***
LEV	.01	.04	0.26	.798	-.068	.088	
ROA	.011	.098	0.11	.912	-.18	.202	
GDP	.042	.197	0.21	.831	-.345	.429	
GE	-1.933	.143	-13.47	0	-2.214	-1.652	***
Constant	67.874	20.988	3.23	.001	26.739	109.008	***

Mean dependent var	58.512	SD dependent var	18.061
Overall r-squared	0.515	Number of obs	584
Chi-square	449.397	Prob > chi2	0.000
R-squared within	0.424	R-squared between	0.589

*** *p<.01,* ** *p<.05,* * *p<.1*

Tablo 3'e göre yine AR-GE harcamalarının varlığını/yokluğunu gösteren kukla değişkenin (DUMMY) katsayısı (1.857) olasılık değeri açısndan (p=0.178) yine 0,05'ten büyüktür. Diğer bir deyişle AR-GE'yi temsil eden kukla değişken istatistiksel olarak anlamsızdır. Buna göre AR-GE harcamalarının sürdürülebilirlik (ESG) üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Benzer şekilde **s**abit etkili panel regresyon sonuçları da Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Sabit etkili panel regresyon sonuçları *(Fixed Effect-FE)*

ESG	Coef.	St.Err.	t-value	p-value	[95% Conf	Interval]	Sig
DUMMY	2.195	1.472	1.49	.136	-.695	5.086	
SIZE	14.793	2.91	5.08	0	9.076	20.509	***
LEV	.053	.043	1.22	.222	-.032	.137	
ROA	.035	.099	0.36	.721	-.159	.229	
GDP	.068	.196	0.35	.729	-.317	.453	
GE	-2.002	.15	-13.39	0	-2.296	-1.709	***
Constant	103.659	27.441	3.78	0	49.755	157.563	***

Mean dependent var	58.512	SD dependent var	18.061
R-squared	0.427	Number of obs	584
F-test	67.403	Prob > F	0.000
Akaike crit. (AIC)	4118.482	Bayesian crit. (BIC)	4149.072

*** *p<.01,* ** *p<.05,* * *p<.1*

Tablo 4'ten de görüldüğü üzere AR-GE harcamalarını temsil eden kukla değişken yine (2.195) katsayısına sahip ve olasılık değeri (p=0.136) önceki analizlerde olduğu gibi 0.05'ten büyüktür. Kısacası, AR-GE harcamalarının ESG üzerinde yine anlamlı bir etkisi yoktur. Dikkat edilirse yukarıdaki üç tablo sonucu birbirini desteklemektedir.
Çalışmamızın nihai ve sağlam (robust) analizi olan" Sistem GMM" panel regresyon sonuçları da Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Sistem GMM panel regresyon sonuçları *(Two-Step System GMM)*

ESG	Coef.	St.Err.	t-value	p-value	[95% Conf	Interval]	Sig
L	.43	.051	8.44	0	.33	.53	***
DUMMY	-.423	1.371	-0.31	.758	-3.111	2.264	
SIZE	3.665	2.346	1.56	.118	-.934	8.263	
LEV	.025	.049	0.51	.612	-.071	.12	
ROA	-.083	.098	-0.84	.399	-.275	.11	
GDP	-.003	.136	-0.02	.982	-.269	.263	
GE	-.811	.135	-5.99	0	-1.077	-.546	***
Constant	70.236	20.712	3.39	.001	29.641	110.83	***

Mean dependent var	59.398	SD dependent var	17.600
Number of obs	548	Chi-square	419.274

*** *p<.01,* ** *p<.05,* * *p<.1*

Tablo 5'teki ekonometrik model ve kullanılan değişkenler yine aynıdır. Fakat bu analiz panel veri yöntemleri açısından ileri ve güçlü bir metottur. Sağlamlığın daha da arttırılması için burada 2 aşamalı yöntem tercih edilmiştir. Bununla birlikte, söz konusu model bir dinamik tahminleme modelidir. Yani bağımlı değişkenin bir dönem gecikmeli hali modele bağımsız değişken olarak (L) dâhil edilmiştir.

Tablo 5'e göre AR-GE harcamaları değişkeni yani kukla değişken (DUMMY) yine olasılık değeri açısından (p=0.758) 0.05'ten büyüktür. Diğer bir ifadeyle yine bu yöntemde de AR-GE harcamaları sürdürülebilirlik (ESG) skorları üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir.

SONUÇ

Sürdürülebilirlik günümüzde kurumsal şirketler için önemli bir referans haline gelmiştir. Kurumsal anlamda değer yaratıcı faaliyetlerin başında gelen konulardan biri artık kaçınılmaz olarak sürdürülebilirlik faaliyetleridir. Bu nedenle literatürde özellikle son yıllarda sürdürülebilirlik ilişkili çok sayıda yayın yapılmıştır. Bu konulardan biri de sürdürülebilirlik ve AR-GE faaliyetleri ilişkisidir. Fakat literatürde daha ziyade bu konu AR-GE harcamalarının sürdürülebilirlik üzerindeki etkisi aracı (meadiatör) veya düzenleyici (moderatör) değişkenlerle ele alınmıştır. Bu çalışmada ise AR-GE harcamalarının ESG üzerindeki doğrudan etkisi analiz edilmiştir. Bunun için panel veri setleri içerisine kukla değişken eklenerek ekonometrik inceleme yapılmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda bu çalışmanın bulguları ve izlenilen yöntemler özgündür. Nitekim çalışmanın literatürden farklı olması ve literatüre yeni bulgular sunması temel amaç olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada yapılan analiz sonuçlarına göre AR-GE harcamalarının sürdürülebilirlik üzerinde doğrudan bir etkisinin olmadığına dair güçlü kanıtlara ulaşılmıştır. Bu bağlamda şirketler sürdürülebilirlik kararları açısından AR-GE'yi doğrudan bir başvuru kaynağı olarak ele almamalıdırlar. Yukarıda da değinildiği gibi AR-GE'nin sürdürülebilirlik üzerindeki etkisi için aracı ya da düzenleyici etkilere odaklanılmalıdırlar. Diğer taraftan inovasyonun sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri incelenmeye değerdir. Şüphesiz inovasyon aslında AR-GE'nin uygulamaya döndüğü nihai aşamadır.

Gelecek çalışmalarda örneklem daha geniş tutularak ve farklı ekonometrik araçlar kullanılarak buradaki analizler teyit edilebilir. Yine aynı doğrultuda kurulan ekonometrik modellerde aracı ve düzenleyici değişkenler tercih edilebilir. Bununla birlikte ekonometrik analiz sonuçlarının grafiksel gösterimlerle desteklenmesi suretiyle temel ilişkiler daha net olarak ortaya konulabilir. Sonuç olarak, bu çalışmada örneklem yetersizliği ve analiz araçlarının derinliğinin kısmen yeterli olması nedeniyle araştırılan nedensellik ilişkisi tekrar incelenmeye değerdir.

KAYNAKLAR

Baek, S., & Lee, D. H. (2024). Can R&D investment be a key driver for sustainable development? Evidence from Korean industry. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 31(2), 838-853. https://doi.org/10.1002/csr.2607

Boğa Şahin, S., Bozkurt, G., Tatli, H. S., & Gillpatrick, T. (2025). Exploring the causal links between ESG, R&D, and firm performance: Evidence from the US technology and food companies. *Ekonomický Časopis,* 73(3-4), 99-120. https://doi.org/10.31577/ekoncas.2025.03-04.01

Doni, F., & Fiameni, M. (2024). Can innovation affect the relationship between environmental, social, and governance issues and financial performance? Empirical evidence from the STOXX200 index. *Business Strategy and the Environment,* 33(2), 546-574. https://doi.org/10.1002/bse.3500

Elkemali, T. (2026). R&D expenditures and ESG disclosure. *Administrative Sciences,* 16(5), 227. https://doi.org/10.3390/admsci16050227

Fortea, C., Antohi, V. M., Hassan, R., Andrei, J. V., & Erokhin, V. (2026). Circular economy, innovation, and environmental sustainability in the European Union: Insights from Panel Var analysis. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 33(4), 4688-4724. https://doi.org/10.1002/csr.70406

Harymawan, I., Nasih, M., Agustia, D., Putra, F. K. G., & Djajadikerta, H. G. (2022). Investment efficiency and environmental, social, and governance reporting: Perspective from corporate integration management. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management,* 29(5), 1186-1202. https://doi.org/10.1002/csr.2263

Pinheiro, A. B., Panza, G. B., Berhorst, N. L., Toaldo, A. M. M., & Segatto, A. P. (2024). Exploring the relationship among ESG, innovation, and economic and financial performance: Evidence from the energy sector. *International Journal of Energy Sector Management*, 18(3), 500-516. https://doi.org/10.1108/IJESM-02-2023-0008

Ramadhan, M. A., Mulyany, R., & Mutia, E. (2023). The irrelevance of R&D intensity in the ESG disclosure? Insights from top 10 listed companies on global Islamic indices. *Cogent Business & Management,* 10(1), 2187332. https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2187332

Singhania, M., & Gupta, D. (2024). Impact of environmental, social and governance (ESG) disclosure on firm risk: A meta-analytical review. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management,* 31(4), 3573-3613. https://doi.org/10.1002/csr.2725

Yu, E. P., Guo, C. Q., & Luu, B. V. (2018). Environmental, social and governance transparency and firm value. *Business Strategy and the Environment,* 27(7), 987-1004. https://doi.org/10.1002/bse.2047.

EDİRNE'DE AVRUPA BİRLİĞİ SINIR ÖTESİ İŞBİRLİĞİ PROJELERİNİN KENTE KATKISI: EKONOMİK, SOSYAL, KÜLTÜREL VE ÇEVRESEL BİR DEĞERLENDİRME

Prof. Dr. Emel GÖNENÇ GÜLER
Trakya University, Faculty of Apllied Sciences, Department of Tourism Management
ORCID: 0000-0002-3214-0206

ÖZET
Avrupa Birliği'nin bölgesel politika araçlarından sınır ötesi işbirliği (SÖİ) programları, ulusal sınırların ekonomik ve sosyal gelişme üzerindeki olumsuz etkilerini azaltarak sınır bölgelerinde ortak kalkınma kapasitesi oluşturmayı hedeflemektedir. Ülkelerin merkezinden uzak olma, ulaşım yetersizlikleri ve nüfus kaybı gibi dezavantajlar yaşayan sınır bölgeleri için SÖİ mekanizmaları stratejik bir işlev görmektedir. Türkiye'nin 2004 yılından itibaren katıldığı bu programlar, AB'ye üye komşularla sınırdaş alanların çok boyutlu gelişimine katkı sunmaktadır.
Bulgaristan ve Yunanistan ile olan coğrafi konumu, Avrupa'ya açılan sınır kapıları ve zengin kültürel mirasıyla Edirne, SÖİ bakımından Türkiye'nin en stratejik kentlerindendir. Özellikle Interreg IPA Bulgaristan-Türkiye Sınır Ötesi İşbirliği Programı çerçevesinde Edirne'deki kamu kurumları, belediyeler, üniversiteler ve sivil toplum kuruluşları kanalıyla çok sayıda proje hayata geçirilmiştir.
Bu çalışmanın amacı; AB sınır ötesi işbirliği projelerinin Edirne'ye sağladığı katkıları ekonomik kalkınma, turizm, kültürel mirasın korunması, çevre, afet yönetimi, kurumsal kapasite, sosyal ilişkiler ve yerel yönetişim boyutlarında incelemektir. Doküman incelemesi yöntemiyle AB Başkanlığı, program verileri ve akademik literatür analiz edilmiştir. Bulgular, projelerin Edirne'de yalnızca bütçe desteği sağlamakla kalmayıp kurumlar arasında kalıcı işbirliği ağları kurduğunu göstermektedir. Ayrıca kültürel mirasın turizm aracılığıyla ekonomik değere dönüştürülmesine, çevre ve afet yönetimi altyapısının güçlendirilmesine ve kentin uluslararası görünürlüğünün artırılmasına doğrudan katkı sağladığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak SÖİ projeleri, Edirne'nin sürdürülebilir bölgesel kalkınmasında katma değeri yüksek bir kaldıraç rolü üstlenmektedir.
Anahtar Kelimeler: Edirne, Avrupa Birliği SÖİ, Bölgesel Kalkınma.

THE CONTRIBUTION OF EUROPEAN UNION CROSS-BORDER COOPERATION PROJECTS TO EDIRNE: AN ECONOMIC, SOCIAL, CULTURAL AND ENVIRONMENTAL EVALUATION

ABSTRACT
As a key tool of European Union regional policy, Cross-Border Cooperation (CBC) programs aim to reduce the negative economic and social effects of national borders and build shared growth capacity in border areas. These programs play an important role for border regions that face challenges like being far from country centers, transportation issues, and population loss. Turkey's participation in these programs since 2004 has helped develop its regions bordering EU countries in many ways.
Edirne is one of Turkey's most strategic border cities due to its location next to Bulgaria and Greece, its border gates to Europe, and its rich historical heritage. Many projects have been carried out by local public institutions, municipalities, universities, and NGOs, especially under the Interreg IPA Bulgaria–Turkey Cross-Border Cooperation Program.

This study aims to examine the contributions of EU cross-border cooperation projects to Edirne in terms of economic development, tourism, cultural heritage preservation, environment, disaster management, institutional capacity, social relations, and local governance. Using document analysis, data from the Directorate for EU Affairs, program reports, and academic literature were analyzed. The findings show that these projects do not just bring financial support; they also create lasting cooperation networks among institutions. In addition, they help turn cultural heritage into economic value through tourism, strengthen environmental and disaster management, and increase the city's international visibility. In conclusion, CBC projects serve as an important tool for the sustainable regional development of Edirne.
Keywords: Edirne, European Union CBC, Regional Development.

1.GİRİŞ

Sınırlar, tarihsel süreç içerisinde ulus-devletlerin egemenlik alanlarını belirleyen, güvenlik merkezli ve fiziki engel teşkil eden çizgiler olarak kabul edilmiştir. Ancak 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren hız kazanan küreselleşme süreci ve Avrupa bütünleşmesi, sınır kavramının niteliğinde radikal bir dönüşüm meydana getirmiştir. Bölgesel gelişme dinamiklerinde "ayrıştıran hatlar" yerine "birleştiren köprüler" anlayışının benimsenmesiyle birlikte, sınır bölgelerinin çevresel izolasyonunu kıracak yeni politika araçları geliştirilmiştir (Perkmann, 2003: 156). Bu araçların başında kuşkusuz Avrupa Birliği'nin (AB) Coğrafi Bütünleşme ve Bölgesel Politika çerçevesinde oluşturduğu Sınır Ötesi İşbirliği (SÖİ) mekanizmaları gelmektedir.

SÖİ programları, ulusal sınırların iki tarafında kalan yerel ve bölgesel aktörlerin ortak sorunlara ortak çözümler üretmesini, kaynakların verimli kullanılmasını ve sosyo-ekonomik gelişmişlik farklarının azaltılmasını amaçlamaktadır (Öztürk, 2018: 42). Ülkelerin yönetim merkezlerine uzak olmaları, altyapı yetersizlikleri, sınırlı yatırım imkânları ve beyin göçü gibi yapısal dezavantajlarla karşı karşıya kalan sınır kentleri için SÖİ projelerini stratejik bir kaldıraç işlevi görmektedir. Türkiye, Katılım Öncesi Yardım Aracı (IPA) kapsamında 2004-2006 döneminden itibaren AB SÖİ programlarına aktif olarak dahil olmuş; bu süreçte Karadeniz Havzası ve Bulgaristan-Türkiye programları ön plana çıkmıştır (AB Başkanlığı, 2021).

Türkiye'nin batıya açılan kapısı konumundaki Edirne; Bulgaristan ve Yunanistan ile olan kara ve demiryolu sınır bağlantıları, Mimar Sinan'ın başyapıtı Selimiye Camii başta olmak üzere zengin tarihi mirası ve Trakya Üniversitesi gibi güçlü kurumsal aktörleriyle SÖİ programlarının odağında yer almaktadır. Edirne, Interreg IPA Bulgaristan-Türkiye Sınır Ötesi İşbirliği Programı'nın birincil uygulama alanlarından biridir. Kentte yerel yönetimler, kamu idareleri, akademisyenler ve sivil toplum kuruluşları (STK) kanalıyla yürütülen yüzlerce proje, kentin kalkınma desenine çok yönlü katkılar sunmuştur.

Bu çalışmanın temel amacı; Edirne ölçeğinde yürütülen AB SÖİ projelerinin kente sağladığı ekonomik, sosyal, kültürel ve çevresel katma değeri bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmektir. Çalışmada, projelerin sadece parasal kaynak aktarımı boyutuna odaklanılmamış; yerel yönetişim, kurumsal kapasite, afet yönetimi ve ortak kimlik algısı üzerindeki etkileri de detaylıca analiz edilmiştir.

2. EDİRNE'DE SÖİ PROJELERİNİN ÇOK BOYUTLU KATKILARI

2.1. Kuramsal Çerçeve ve Edirne'nin SÖİ Bakımından Stratejik Konumu

Sınır ötesi işbirliği teorisi, bölgesel kalkınmada "yeni bölgecilik" (neo-regionalism) ve "çok düzeyli yönetişim" (multi-level governance) yaklaşımlarına dayanmaktadır (Marks, 1993: 392).

Klasik merkeziyetçi devlet anlayışının aksine, yerel ve bölgesel aktörlerin uluslararası ağlara doğrudan katılımını öngören bu model, sınırların her iki tarafındaki kurumların yatay entegrasyonunu hedefler. Edirne, coğrafi konumu itibarıyla Doğu Avrupa ve Balkanlar'a açılan Kapıkule, İpsala, Hamzabeyli ve Pazarkule sınır kapılarını bünyesinde barındırmaktadır. Bu jeopolitik konum, kenti sadece ticari bir transit noktası yapmamakta, aynı zamanda küresel ve bölgesel işbirlikleri için doğal bir laboratuvar haline getirmektedir (Doğanay, 2019: 88).
2007-2013, 2014-2020 ve halen devam etmekte olan 2021-2027 IPA dönemlerinde Edirne, Bulgaristan'ın Hasköy (Haskovo), Yambol ve Burgaz (Burgas) bölgeleriyle ortak projelere imza atmıştır. Bu projelerin temel motivasyonu, tarihsel ve coğrafi birliği bulunan ancak siyasi sınırlar nedeniyle kopan sosyo-ekonomik bağları yeniden tesis etmektir.

2.2. Ekonomik Kalkınma ve Turizm Sektörüne Etkileri

Edirne ekonomisi tarihsel olarak tarım ve ticarete dayalı bir yapı sergilemekle birlikte, son yirmi yılda turizm sektörünün payı hızla artmıştır. AB SÖİ projeleri, kentin turizm potansiyelinin harekete geçirilmesinde ve çeşitlendirilmesinde katalog projeler sunmuştur. Özellikle "Sürdürülebilir Turizm" ve "Kültürel Rotalar" başlıkları altında yürütülen projeler, kente gelen yabancı ziyaretçi sayısına ve konaklama sürelerine doğrudan katkı sağlamıştır (Yılmaz ve Kaya, 2020: 112).

Tablo 1: Edirne'de Yürütülen SÖİ Projelerinin Sektörel Dağılımı ve Tematik Odak Alanları

Tematik Odak Alanı	Temel Hedefler	Sektörel Katkı ve Çıktılar
Kültür ve Turizm	Tarihi eserlerin restorasyonu, ortak turizm rotaları oluşturulması.	Turizm gelirlerinde artış, somut olmayan mirasa görünürlük kazandırılması.
Çevre ve Afet Yönetimi	Meriç, Tunca ve Arda nehirleri taşkın önleme, erken uyarı sistemleri.	Afet risklerinin azaltılması, ortak acil durum müdahale kapasitesi.
Kurumsal Kapasite	Yerel yönetimler ve STK'lar arası dijitalleşme ve eğitim ağları.	Çok düzeyli yönetişim, proje hazırlama ve uygulama becerisi.
Gençlik ve Sosyal Uyum	Kültürel değişim programları, spor ve sanat etkinlikleri.	Önyargıların kırılması, sınır ötesi komşuluk ilişkilerinin pekişmesi.

Kaynak: AB Başkanlığı (2021). Türkiye'de Sınır Ötesi İşbirliği Programları ve Uygulama Sonuçları Raporu.

Projeler kapsamında geliştirilen dijital turizm haritaları, mobil rehber uygulamaları, bisiklet rotaları ve ortak tanıtım fuarları sayesinde Edirne, sınırın diğer tarafındaki turistler için cazibe merkezi haline gelmiştir.

Bulgaristan ve Yunanistan'dan kente günübirlik gelen ziyaretçilerin oluşturduğu hareketlilik, yerel esnaf, gastronomi sektörü ve konaklama işletmeleri için hayati bir gelir kaynağı oluşturmaktadır. SÖİ fonları, turizm altyapısının modernizasyonu ve yerel ürünlerin (Edirne Ciğeri, Edirne Peyniri, Edirne Misk Sabunu, Aynalı Süpürge vb.) markalaşma süreçlerinde de finansal destek sağlamıştır.

2.3. Kültürel Mirasın Korunması ve Restorasyon Çalışmaları

Edirne, metrekareye düşen tarihi eser sayısı bakımından dünyada ön sıralarda yer alan bir açık hava müzesi niteliğindedir. Ancak bu muazzam somut mirasın korunması, restorasyonu ve işlevselleştirilmesi yerel bütçeleri aşan yüksek maliyetler gerektirmektedir. SÖİ programları, Edirne'deki tarihi ve mimari yapıların ihsasi ve korunması için hayati bir dış finansman kaynağı olmuştur (Karadağ, 2021: 67).

Örneğin; Edirne Belediyesi, İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü ve Trakya Üniversitesi tarafından yürütülen restorasyon projeleri ile Osmanlı dönemine ait çeşmeler, konaklar, hamamlar ve köprüler ihya edilmiştir. Sadece somut miras değil, Edirne Kırkpınar Yağlı Güreşleri, Hıdırellez-Kakava Şenlikleri gibi UNESCO İnsanlığın Somut Olmayan Kültürel Mirası Listesi'nde yer alan değerlerin uluslararası platformlarda tanıtımı da bu projeler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Sınırın iki tarafındaki kültürel öğelerin benzerliklerinin vurgulanması, kültür diplomasisine de hizmet etmektedir.

2.4. Çevre Koruma, Nehir Havzaları ve Afet Yönetimi

Edirne, coğrafi yapısı gereği Meriç, Tunca ve Arda nehirlerinin birleştiği havzada yer almaktadır. Bu durum, kenti tarih boyunca şiddetli taşkın ve sel riskleriyle karşı karşıya bırakmıştır. Nehirlerin sınır aşan sular niteliği taşıması, sel ve taşkın kontrolünün ancak sınır ötesi işbirliğiyle mümkün olduğunu göstermektedir (Şahin, 2017: 205).

SÖİ projeleri çerçevesinde Bulgaristan ve Türkiye'deki ilgili idareler (DSİ, AFAD, Bulgaristan Meteoroloji Enstitüsü) ortak erken uyarı sistemleri kurmuş, nehir debilerinin anlık takibini sağlayan veri paylaşım protokolleri geliştirmiştir. Ayrıca, yangın ve doğal afetlerde ortak müdahale imkânı sağlayan arama-kurtarma ekipmanlarının tedariki, itfaiye ekiplerinin ortak tatbikatları ve çevre bilincini artıran sıfır atık projeleri SÖİ fonlarıyla finanse edilmiştir. Bu durum, sınır bölgesinde çevresel güvenliğin ve sürdürülebilirliğin sağlanmasında somut adımlar atılmasını sağlamıştır.

2.5. Kurumsal Kapasite, Sosyal İlişkiler ve Yerel Yönetişim

SÖİ projelerinin belki de en kalıcı ve ölçülmesi zor etkisi, kurumsal ve sosyal sermaye üzerindeki olumlu yansımalarıdır. Proje hazırlama ve yönetme süreçleri; Edirne Valiliği, Edirne Belediyesi, Trakya Kalkınma Ajansı, Trakya Üniversitesi, Ticaret ve Sanayi Odaları ile yerel STK'ların kurumsal kapasitelerini uluslararası standartlara taşımıştır (Demir, 2022: 145). Kurumlar, AB hibelerini yönetme, uluslararası ortaklık kurma ve stratejik planlama konularında yüksek deneyim kazanmıştır.

Sosyal ve insani boyutta ise, projeler çerçevesinde düzenlenen gençlik kampları, sanat festivalleri, akademik sempozyumlar ve halk dansları gösterileri, tarihsel süreçte zaman zaman ortaya çıkan önyargıların kırılmasında etkin rol oynamıştır. İki ülke halkları arasında kurulan komşuluk ve dostluk bağları, bölgesel barış ve istikrarın alt düzeyde pekişmesine katkı sağlamıştır.

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Avrupa Birliği Sınır Ötesi İşbirliği (SÖİ) Programları, Türkiye'nin üyelik sürecinden bağımsız olarak yerel düzeyde AB müstesna katkılarının en somut hissedildiği alanların başında gelmektedir. Türkiye'nin batı sınırında stratejik bir köprü başı olan Edirne, bu programları en etkin ve verimli kullanan kentlerden biri olmuştur.

Bu çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, SÖİ projelerinin Edirne'ye sağladığı katkılar şu temel başlıklar altında özetlenebilir:

- **Ekonomik Dinamizm:** Projeler kente doğrudan dış kaynak aktarımı sağlamış, turizm altyapısını güçlendirerek yerel esnaf ve hizmet sektörüne canlılık kazandırmıştır.
- **Kültürel İhya:** Mimarisi ve tarihsel dokusuyla öne çıkan kentin somut ve somut olmayan kültürel mirası restore edilerek turizme kazandırılmış ve uluslararası görünürlüğü artırılmıştır.
- **Çevresel Güvenlik:** Sınır aşan suların yönetiminde ve sel/taşkın risklerinin azaltılmasında teknolojik ve altyapısal ortaklıklar kurulmuş, ortak afet müdahale kapasitesi geliştirilmiştir.
- **Kurumsal Yönetişim:** Kentteki kamu ve sivil toplum kuruluşlarının uluslararası proje yürütme becerisi gelişmiş, çok düzeyli yönetişim anlayışı yerleşmiştir.

Gelecek dönemlerde (2021-2027 IPA III dönemi ve sonrası) SÖİ projelerinin katma değerini artırmak amacıyla; yeşil mutabakat, dijital dönüşüm, yenilenebilir enerji ve iklim değişikliğiyle mücadele temalı projelere ağırlık verilmesi önerilmektedir. Ayrıca, projelerin sürdürülebilirliğini sağlamak adına proje süreleri tamamlandıktan sonra da kurumlar arası iletişim ve ağların korunması büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, Sınır Ötesi İşbirliği mekanizmaları, Edirne'nin geleceğe dönük sürdürülebilir kalkınma vizyonunda vazgeçilmez bir stratejik kaldıraç niteliğini sürdürmektedir.

KAYNAKÇA

AB Başkanlığı (2021). *Türkiye'de Sınır Ötesi İşbirliği Programları ve Uygulama Sonuçları Raporu*. T.C. Dışişleri Bakanlığı Avrupa Birliği Başkanlığı Yayınları, Ankara.

Demir, M. (2022). "Yerel Yönetimlerde Kurumsal Kapasite Geliştirme Aracı Olarak AB Projeleri: Edirne Örneği", *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(1), 139-158.

Doğanay, S. (2019). "Sınır Kentlerinde Bölgesel Kalkınma Dinamikleri: Edirne ve Hasköy Karşılaştırması", *Bölgesel Gelişme ve Yönetişim Dergisi*, 11(2), 85-104.

Karadağ, A. (2021). "Sınır Ötesi İşbirliği Programlarının Kültürel Mirasın Korunmasına Katkısı: Edirne Restorasyon Projeleri", *Kültürel Miras ve Turizm Araştırmaları Dergisi*, 5(3), 60-75.

Marks, G. (1993). "Structural Reform and Multilevel Governance in the EC", Cafruny, A. ve Rosenthal, G. (Ed.), *The State of the European Community* içinde (s. 391-410). New York: Lynne Rienner.

Öztürk, E. (2018). *Avrupa Birliği Bölgesel Politikası ve Sınır Ötesi İşbirliği Mekanizmaları*. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.

Perkmann, M. (2003). "Cross-Border Regions in Europe: Significance and Governance of Euroregions", *European Urban and Regional Studies*, 10(2), 153-171.

Şahin, K. (2017). "Sınır Aşan Suların Yönetiminde Sınır Ötesi İşbirliği: Meriç Havzası Örneği", *Çevre ve Şehir Araştırmaları Dergisi*, 8(15), 198-215.

Yılmaz, H. ve Kaya, N. (2020). "Sınır Ötesi İşbirliği Projelerinin Yerel Turizm Ekonomisine Etkileri: Edirne Destinasyonu Analizi", *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 31(2), 105-118

İKTİSADİ POPÜLİZM TARTIŞMALARI ÇERÇEVESİNDE 2023 EMEKLİLİKTE YAŞA TAKILANLAR (EYT) DÜZENLEMESİ: BİR BİLANÇO DENEMESİ

Muhittin İlhan UZ
Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Politikası Bilim Dalı
ORCID: 0000-0002-3454-0182

Dr. Öğr. Üyesi Togan KARATAŞ
Marmara Üniversitesi, İktisat Fakültesi, İktisat Bölümü
ORCID: 0000-0002-2436-8120

ÖZET

Bu çalışmada, 2023 yılında yürürlüğe giren ve kamuoyunda "Emeklilikte Yaşa Takılanlar" (EYT) adıyla bilinen düzenlemenin iktisadi popülizm tartışmaları çerçevesinde değerlendirilmesi ve düzenlemenin siyasal, sosyal ve mali boyutlarına ilişkin bir bilanço ortaya konulması amaçlanmaktadır. Türkiye'de 1999 ve 2008 yıllarında uygulamaya geçen sosyal güvenlik reformları, sistemin finansal sürdürülebilirliğini güçlendirme hedefi doğrultusunda emekliliğe hak kazanma koşullarını kademeli olarak sıkılaştırmıştır. Buna karşılık 2023 EYT düzenlemesi, 9 Eylül 1999 öncesinde sigortalı olanlar bakımından yaş koşulunu kaldırarak önceki reformların genel yöneliminin tersine bir politika değişikliği olmuştur. Yaş şartının kaldırılması talebinin yıllar içinde önem kazanan toplumsal ve siyasi bir mesele haline gelmesi, düzenlemenin kabulü sonrasında kamuoyunda ortaya çıkan popülizm tartışmaları ve ilerleyen dönemde politika yapıcıların değerlendirmeleri, bu politika değişikliğini iktisadi popülizm literatürü açısından incelenmeye değer kılmaktadır. Çalışmada EYT düzenlemesinin oluşum süreci, ilgili mevzuat, politika belgeleri, siyasal aktörlerin açıklamaları ve mevcut literatür incelenerek ele alınmaktadır. Düzenlemenin sonuçları ise resmi istatistikler kullanılarak değerlendirilmektedir. Çalışmanın bulguları, 2023 EYT düzenlemesinin uzun süredir biriken sosyal taleplere karşılık verdiğini göstermekte; buna karşılık aktif/pasif oranındaki gerileme ile emekli aylığı giderlerinin ağırlığındaki artış sosyal güvenlik sistemi üzerinde yapısal baskıya işaret etmektedir. Bununla birlikte incelenen dönemde SGK'nın gelirlerinin giderlerini karşılama oranında belirgin bir bozulma gözlenmemiştir. Düzenlemenin geçmiş yıllarda mali sürdürülebilirlik gerekçesiyle açık biçimde reddedilmesinin ardından 2023 seçimleri öncesinde hayata geçirilmiş olması, siyasal zamanlama ile dağıtımsal politika tercihleri arasındaki ilişkiyi ayrıca önemli hale getirmektedir. Bu bağlamda çalışma, kısa vadeli dağıtım kazanımları ile uzun vadeli maliyetler arasındaki gerilim bakımından EYT düzenlemesinin iktisadi popülizm literatürüyle önemli ölçüde örtüştüğünü; bununla birlikte düzenlemenin geçmiş reformların yarattığı hak kaybı algısı, sosyal talepler ve sosyal sürdürülebilirlik boyutlarıyla birlikte ele alınması gerektiğini ileri sürmektedir.

Anahtar kelimeler: İktisadi popülizm; Emeklilikte Yaşa Takılanlar (EYT); emeklilik politikası; mali sürdürülebilirlik.

THE 2023 EYT REGULATION ON THE RETIREMENT-AGE REQUIREMENT IN THE CONTEXT OF DEBATES ON ECONOMIC POPULISM: TAKING STOCK

ABSTRACT

This study evaluates the 2023 regulation concerning those affected by the retirement-age requirement, commonly referred to in Türkiye as *Emeklilikte Yaşa Takılanlar* (EYT), in the context of debates on economic populism, and takes stock of its political, social, and fiscal dimensions. Social security reforms implemented in Türkiye in 1999 and 2008 gradually tightened retirement eligibility to strengthen the system's financial sustainability. Reversing this direction, the 2023 regulation removed the age requirement for people first insured before September 9, 1999. The demand to remove the age requirement became an increasingly prominent social and political issue over the years. The public debate over populism following the regulation's adoption and assessments by policymakers make this shift relevant to the economic populism literature. The study examines the development of the EYT regulation by reviewing relevant legislation, policy documents, statements by political actors, and literature. The effects of the regulation are assessed using official statistics. The findings indicate that the regulation addressed long-standing social demands. However, the declining ratio of active contributors to pensioners and the rising share of pension payments in total Social Security Institution (SGK) expenditure indicate structural pressure on the social security system, although no marked deterioration was observed in SGK's overall income-to-expenditure ratio during the period examined. The regulation's adoption ahead of the 2023 elections, after having been explicitly rejected in previous years on grounds of fiscal sustainability, highlights the relationship between political timing and distributive policy choices. The study argues that the EYT regulation is broadly consistent with patterns highlighted in the economic populism literature, particularly the tension between short-term distributive gains and long-term costs. At the same time, it should also be assessed in light of perceptions of a loss of rights stemming from earlier reforms, social demands and considerations of social sustainability.

Keywords: Economic populism; Emeklilikte Yaşa Takılanlar (EYT); retirement policy; fiscal sustainability.

GİRİŞ

Bu çalışmanın temel araştırma sorusu, "2023 EYT düzenlemesi, iktisadi popülizm kavramı çerçevesinde nasıl değerlendirilebilir; bu çerçeve vakayı açıklamak için yeterli midir?" şeklindedir. Dornbusch ve Edwards, iktisadi popülizmi, sürdürülebilir büyüme yerine geçici refah artışını seçen ve maliyeti uzun vadede yine topluma yükleyen döngüsel bir makroekonomik başarısızlık modeli olarak tarif etmiştir (Dornbusch ve Edwards, 1990). İktidarların seçimleri gözeterek ekonomik kazanımların zamanlamasını ve dağılımını etkileyebildiğine dikkat çeken "seçimsel ekonomik döngü" literatüründe ise transfer ödemeleri ve vergi indirimleri gibi ekonomik faydaları kısa sürede görünür hale getirebilen araçların seçim öncesindeki kullanımı önem taşımaktadır (Tufte, 1978: 4, 9–10). Bununla birlikte, bir politikanın seçim döneminde uygulanması, tek başına seçim amacıyla benimsendiğini kanıtlamamaktadır (Tufte, 1978: 28). Dolayısıyla, çalışmada EYT düzenlemesinin analiz çerçevesi de yalnızca seçim öncesindeki zamanlama ve belirli bir kesime sağlanan görünür maddi kazanımlarla sınırlanmamakta, EYT'lilerin uzun vadeye yayılan hak kaybı algısı ve seçim öncesi yıllara dayanan örgütlü kitlesel mücadeleyle birlikte değerlendirilmektedir.

İlerleyen bölümlerde araştırma sorusu çerçevesinde EYT düzenlemesinin siyasal, sosyal ve mali sonuçları bir arada değerlendirilmeye çalışılacak ve bu doğrultuda genel bir bilanço denemesi yapılacaktır. Böylece çalışmanın hazırlandığı tarih itibarıyla henüz kısa sayılabilecek bir geçmişi olan EYT düzenlemesine ilişkin daha ileri araştırmalara ışık tutabilecek bir çerçeve sunulması hedeflenmektedir. Bu kapsamda çalışmanın yöntemsel çerçevesi tanımlandıktan sonra, emeklilik şartlarında 1990'ların başlarından itibaren gerçekleşen dönüşüm aktarılarak EYT düzenlemesinin önceki emeklilik reformlarına göre temsil ettiği politika kırılmasına ve bu kırılmanın politik zamanlama boyutuna dikkat çekilecektir. Ardından sosyal güvenlik sistemine ilişkin temel resmi istatistiklerin EYT düzenlemesiyle eş zamanlı gelişimi analiz edilerek düzenlemenin mali sürdürülebilirlik boyutuna etkilerinin olası yansımaları ele alınacaktır. Bu aşamalarda elde edilen bulgular üzerinden EYT düzenlemesinin iktisadi popülizm çerçevesinde ele alınmasını analitik açıdan destekleyen ve sınırlayan unsurlar sonuç bölümünde değerlendirilmeye çalışılacaktır.

YÖNTEM VE YAKLAŞIM

Bu çalışmada araştırma sorusunun yanıtlanması amacıyla ilgili mevzuat, politika belgeleri, siyasal aktörlerin açıklamaları ve mevcut literatür incelenmekte; ayrıca resmi istatistiklerden yararlanılmaktadır. Bu kapsamda ilk olarak emeklilik mevzuatındaki temel düzenlemeler ve EYT'ye uzanan politika süreci ele alınmaktadır. EYT düzenlemesinin iktisadi popülizm literatürüyle bağlantısı ise ilgili toplumsal kesime sağlanan kısa vadeli maddi kazanımlar, seçim öncesinde gerçekleşen köklü politika değişikliğinin zamanlaması ve seçimlerin hem öncesinde hem de sonrasında siyasi aktörler arasında süren popülizm tartışmaları üzerinden kurulmaktadır. Bu değerlendirmede EYT talebinin geçmişi ve toplumsal örgütlenme boyutu da dikkate alınmaktadır. Ardından Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan resmî istatistikler kullanılarak düzenleme sonrasında sosyal güvenlik sisteminin mali göstergeleri ile aktüeryal sürdürülebilirliği açısından önem taşıyan gelişmeler değerlendirilecektir.

Çalışmanın yaklaşımı, EYT düzenlemesinin tek boyutlu bir sınıflandırma çerçevesiyle sınırlandırılması yerine siyasal, sosyal ve mali sonuçlarıyla birlikte değerlendirilerek iktisadi popülizm kavramının bu düzenlemeyi açıklama imkânlarının ve sınırlarının ortaya konulmasıdır. Bu bağlamda, EYT düzenlemesine uzanan politika süreci ve düzenleme sonrasında ortaya çıkan sonuçlar birlikte incelenmeye çalışılmaktadır.

EMEKLİLİK REFORMLARININ MALİ, TOPLUMSAL VE SİYASAL BAĞLAMI

Toplumlarda ortalama yaşam sürelerinin uzaması, doğurganlığın azalması ve yaşlı bağımlılık oranlarında gözlenen artış, özellikle gelişmiş ülkelerin emeklilik sistemleri üzerinde oluşan mali ve aktüeryal baskılar bağlamında sosyal politika tartışmalarının önemli bir alt başlığını oluşturmaktadır (van Nimwegen, 2013). Bu nedenle birçok ülkede ekonomi yönetimleri yasal emeklilik yaşının artırılması, emekliliğe hak kazanma şartlarında cinsiyete dayalı farklılıkların azaltılması, erken emeklilik şartlarının sıkılaştırılması, emeklilerin çalışma yaşamına katılımının teşvik edilmesi gibi amaçlar doğrultusunda reformlar gerçekleştirmektedir (OECD, 2025: 10–17).

Türkiye'de de ekonomik ve yapısal faktörler, kadınların artan eğitim ve işgücüne katılım düzeyi, kültürel değişim, bireyselleşme gibi birçok unsurla birlikte doğurganlık oranlarında düşüş gözlenmektedir. Yaşlı nüfusun payının yükselmesi ve uzun vadede çalışma çağındaki nüfusun göreli ağırlığının azalması olasılığı, sosyal güvenlik ve emeklilik sisteminin aktüeryal dengesi ile sürdürülebilirliğini önemli bir tartışma konusu haline getirmektedir. Kaba doğum hızının azalmasına karşılık, beklenen yaşam süresinin artmasıyla birlikte yaşlı nüfusun toplam nüfusa oranı, medyan yaş ve yaşlı bağımlılık oranı da yükselmektedir.

Bu demografik eğilimler, sosyal güvenlik sisteminin finansal sürdürülebilirliği üzerinde oluşan baskı üzerinden emeklilik yaşı ve emekliye ayrılma şartları gibi konulardaki tartışmalara zemin oluşturmaktadır (Güner, 2015: 70–71).

Bununla birlikte, emeklilik yaşını yükseltmeye yönelik reformlar toplumsal tepkilere neden olabilmektedir. Özellikle bölüşüm ve eşitsizlik alanında yoğunlaşan "sosyal sürdürülebilirlik" endişeleri, emeklilik sisteminin finansal sürdürülebilirliğine yönelik reformların meşruiyetini zayıflatabilmektedir (Börsch-Supan vd. 2023: 2918–2919). Mali sürdürülebilirlik hedefleriyle toplumsal talepler arasındaki bu gerilim, yakın dönemde ülke örneklerinde farklı biçimlerde gözlenmektedir. 2023 yılında Fransa'da yaşanan ve milyonlarca kişinin katıldığı protestolar bunun örneklerindendir (Béroud 2023). Son yıllarda sayıları giderek artan sağ kanat popülist eğilimli hükümetler de sıkılaşan emeklilik koşullarına karşı yükselen hoşnutsuzlukları siyasal stratejilerinin bir parçası haline getirebilmektedir. Polonya'da emeklilik koşullarını sıkılaştıran 2012 düzenlemesi, 2015'te iktidara gelen Hukuk ve Adalet Partisi (PiS) hükümeti tarafından 2017'de tersine çevrilmiştir. Bu adımın, yaşlanan nüfusun emeklilik sistemi üzerindeki yükü artıracağına ilişkin göstergelere rağmen hayata geçirilmesi literatürde PiS hükümetinin geniş sağ popülist politika repertuarının bir bileşeni olarak değerlendirilmiştir (Żuk ve Żuk, 2018; Wysocki, Wójcik ve Freytag, 2022). Emekliliğe hak kazanma koşullarını sıkılaştırıcı reformların siyasal istikrarsızlığa neden potansiyeli dolayısıyla bu reformların şekillendirilmesinde ülkelerin özgül iktisadi ve toplumsal yapılarının da dikkate alınması gerektiği yönünde görüşler bulunmaktadır (Stowell, Zeng ve Kugler, 2026: 2).

Türkiye'nin Emeklilik Reformları ve EYT'ye Uzanan Siyasal Süreç

EYT düzenlemesinin iktisadi popülizm tartışmaları bağlamında değerlendirilmesi için öncelikle bu düzenlemenin emeklilik politikaları açısından ifade ettiği yön değişikliği ele alınmalıdır. Tablo 1'de 1992–2023 arasında gerçekleştirilen temel emeklilik düzenlemeleri kapsamında erkek ve kadın sigortalılar için belirlenen emeklilik şartları özetlenmiş ve bir önceki mevzuata göre gerçekleştirilen politika değişikliğinin yönü belirtilmiştir. Dönemsel tutarlılık sağlamak amacıyla tablonun kapsamı 4/a sigortalıları ile sınırlı tutulmuştur.

Tablo 1: Türkiye'de 4/a Sigortalıları İçin Seçilmiş Emeklilik Düzenlemeleri ve Politika Değişikliklerinin Yönü

Yıl / Kanun	Kapsam	Erkeklerde emeklilik koşulları	Kadınlarda emeklilik koşulları	Politika değişikliğinin yönü
1992 / 3774	Temel emeklilik koşulları	25 yıl sigortalılık + 5000 prim günü	20 yıl sigortalılık +5000 prim günü	**Gevşeme:** Yaş şartının kaldırılması
1999 / 4447	9 Eylül 1999–30 Nisan 2008 arasında ilk kez sigortalı olanlar	**Seçenek 1:** 60 yaş + 7000 prim günü **Seçenek 2:** 60 yaş + 25 yıl sigortalılık + 4500 prim günü	**Seçenek 1:** 58 yaş + 7000 prim günü **Seçenek 2:** 58 yaş + 25 yıl sigortalılık + 4500 prim günü	**Sıkılaşma:** Yaş şartının getirilmesi ve temel emeklilik seçeneğinde prim gününün artırılması
2008 / 5510	1 Mayıs 2008 ve sonrasında ilk kez sigortalı olanlar	60 yaş + 7200 prim günü[1]	58 yaş + 7200 prim günü[1]	**Sıkılaşma:** Prim koşullarının artırılması ve uzun vadede emeklilik yaşının yükseltilmesi
2023 / 7438	8 Eylül 1999 ve öncesinde ilk kez sigortalı olan EYT kapsamındakiler	**Yaş şartı aranmaz** 25 yıl sigortalılık + 5000–5975 prim günü[2]	**Yaş şartı aranmaz** 20 yıl sigortalılık + 5000–5975 prim günü[2]	**Kısmi gevşeme:** Belirli sigortalılar için yaş şartının kaldırılması

Kaynak: Erdoğmuş (2024: 83)'ten hareketle; SGK (2024) ve Resmî Gazete (3 Mart 2023) kullanılarak yazarlar tarafından derlenmiştir.
Kapsam: Tabloda, seçilmiş düzenlemelerin temel 4/a sigortalıları için geçerli koşulları karşılaştırılmaktadır. Kısmi emeklilik, istisnai uygulamalar ve 1999 öncesi sigortalıların 2002 tarihli 4759 sayılı Kanun kapsamında yeniden düzenlenen kademeli geçiş ayrıntıları gösterilmemiştir.
[1] 2008 düzenlemesinde gösterilen yaş koşulları, 7200 prim gününün 31.12.2035 tarihine kadar tamamlanması durumunda geçerlidir. Sonraki yıllarda emeklilik yaşı kademeli artarak 2048'den itibaren kadın ve erkeklerde 65'e ulaşmaktadır.
[2] EYT kapsamındaki 4/a sigortalıları için gereken prim ödeme gün sayısı, ilk sigortalılık tarihine göre 5000 ile 5975 gün arasında değişmektedir. 7438 sayılı Kanun'la yaş şartı kaldırılmış, sigortalılık süresi ve prim koşulları değiştirilmemiştir.

Tabloda gösterildiği üzere 1992'de yürürlüğe giren 3774 sayılı Kanun'la emeklilikte yaş şartı tamamen kaldırılmış, erkeklerde 25 yıl, kadınlarda 20 yıl sigortalı kalma şartına bağlı olarak 5.000 prim gününün tamamlanması emekli aylığına hak kazanmak için yeterli sayılmıştır. 1999'da yürürlüğe giren 4447 sayılı Kanun'da ise yaş şartı, sisteme yeni dahil olan erkekler için 60 yaş ve 7.000 prim günü, kadınlarda 58 yaş ve 7.000 prim gününe bağlanmıştır (25 yıl sigortalılık şartını karşılayanlar için yaş şartları aynı olmakla birlikte prim ödeme şartı 4.500 gün ile sınırlıdır). Öte yandan, mevcut durumda 506 sayılı Sosyal Sigortalar Kanunu, 5434 sayılı T.C. Emekli Sandığı Kanunu ve 1479 sayılı Bağ-Kur Kanunu kapsamında uygulanan emeklilik sisteminde sigortalılık süresi ve prim ödeme gün sayısı temel belirleyici unsurlar iken, 4447 sayılı Kanun ile bu koşullara ek olarak emeklilik için yaş şartı da eklenmiştir (Resmî Gazete, 8 Eylül 1999: 1–13). Bu nedenle sigortalılık kapsamında geçirilen yıl şartını veya prim ödeme günü sayısı şartını sağlayan bireyler, yalnızca yaş şartını sağlayamadıkları için emekli aylığından yararlanamama durumuyla karşılaşmıştır (Erdoğmuş 2024: 82–83). 4447 sayılı Kanun ile getirilen ve emeklilik koşullarını ani biçimde değiştiren yaş şartına ilişkin bazı hükümler, 2001'de Anayasa Mahkemesi tarafından iptal edilmiştir.

Bunun ardından 2002 yılında çıkarılan 4759 sayılı Kanun ile emeklilikte yaş şartı kademeli hale getirilmiştir. Ancak bu süreçte de 8 Eylül 1999 tarihinden önce işe başlayan sigortalılar yönünden prim gün sayısının yaklaşık 16,5 yıllık bir çalışma süresi içinde tamamlanabilmesine rağmen yaş şartının eklenmesi, emekliliğe hak kazanmak için gereken süreyi 20-25 yıla kadar uzatmıştır (Ceyhun 2020: 302–303).

2008'de uygulamaya geçen 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu ile 30 Nisan 2008 tarihinden sonra ilk kez sigortalı olan 4/a kapsamındaki çalışanlar için kadınlarda 58, erkeklerde 60 olan başlangıç yaş şartları korunmuş, ancak normal emeklilik için gereken prim ödeme gün sayısı 7.200'e yükseltilmiştir. Ayrıca prim ödeme gün sayısı koşulunun tamamlandığı tarihe bağlı olarak emeklilik yaşının 2036'dan itibaren kademeli biçimde artırılması ve 2048'de her iki cinsiyet için de 65'e ulaşması öngörülmüştür (Aslan 2024: 1131, SGK, 2024).

4447 sayılı Kanun'la mevzuata eklenen (4759 sayılı Kanun'la kademeli hale getirilen) yaş şartı nedeniyle emekliliğe fiili erişim süreci geciken sigortalılar "Emeklilikte Yaşa Takılanlar" adıyla örgütlenme sürecine girmiştir (Güllü 2022: 20). Bu kesimin dernekler, platformlar ve sosyal medya grupları aracılığıyla kamuoyu oluşturma çabalarıyla görünürlük kazanan talepleri 2018 yılında muhalefetin de gündemine girmiştir (Tosun, 22 Ekim 2018). 2022'nin ikinci yarısından itibaren EYT'lilerin yaş sınırı sorununun çözümü yalnızca muhalefet değil, iktidar kanadı tarafından da bir seçim vaadi olarak dile getirilmeye başlamıştır (Aslan 2024: 1131–1132). Bu süreç, sosyal güvenlik reformlarının neden olduğu hak kaybı algılarının geniş toplumsal kesimleri mobilize ederek siyasi otoriteye baskı yapma gücüne kavuşmasının önemli bir örneğini oluşturmaktadır (Bülbül 2023: 14). Nitekim muhalefet partileri, düzenlemenin iktidar tarafından hayata geçirilmesinde yaklaşmakta olan seçimin etkili olduğunu öne sürmüştür. Cumhuriyet Halk Partisi sözcüleri, partinin EYT'lilerin mücadelesine verdiği desteğin iktidarı adım atmaya zorladığını belirtmiştir (Bayır, Timur ve Özgenç, 29 Aralık 2022).

4447 ve 5510 sayılı Kanunlarla birlikte yaklaşık çeyrek yüzyıl boyunca emeklilik şartları belirgin biçimde sıkılaştırıldıktan sonra 7438 sayılı Kanun'la belirli bir kesim için yaş şartının kaldırılması, politika çerçevesinde keskin bir yön değişikliği anlamına gelmiştir. Zira, EYT düzenlemesine ilişkin talepler başlangıçta iktidar tarafından kesin olarak reddedilmiş; kamuya mali yük getirme ve sürdürülebilirlik sorunları yaratma riski taşıyan bir düzenlemenin "seçim kaybetmek pahasına da olsa" kısa vadeli siyasi hesaplarla hayata geçirilmeyeceği vurgulanmıştır (T.C. Cumhurbaşkanlığı, 16 Kasım 2019). Ancak 2022'nin son günlerinde EYT düzenlemesi için hazırlık yapıldığı ve bu kapsamda 9 Eylül 1999 tarihi öncesinde sigorta kaydı yapılmış olan 2 milyon 250 bin kişinin yaş sınırı gözetilmeksizin emeklilik hakkı elde edeceği duyurulmuştur (Akan ve Altaş, 28 Aralık 2022). EYT düzenlemesinin 14 Mayıs 2023 seçimlerinden kısa süre önce yürürlüğe girmesi, gerçekleştirilen politika değişikliğinin siyasal zamanlama boyutunu gündeme getirmektedir.

Kamuoyunda "EYT düzenlemesi" olarak bilinen 7438 sayılı "Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu ile 375 Sayılı Kanun Hükmünde Kararnamede Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun", 3 Mart 2023 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu Kanun uyarınca 5510 Sayılı Kanun'a eklenen Geçici 95. Madde ile belirli sigortalı gruplarının yaş haricindeki şartları taşımaları ve talep etmeleri halinde emekli aylığından yararlanabilmeleri düzenlenmiştir. Böylece 8 Eylül 1999 ve öncesinde ilk defa sigortalı olanlardan ilgili sigortalılık süresi ve prim ödeme gün sayısı koşullarını sağlayanlar için emeklilikte yaş şartı kaldırılmıştır (Resmî Gazete 2023, 3 Mart).

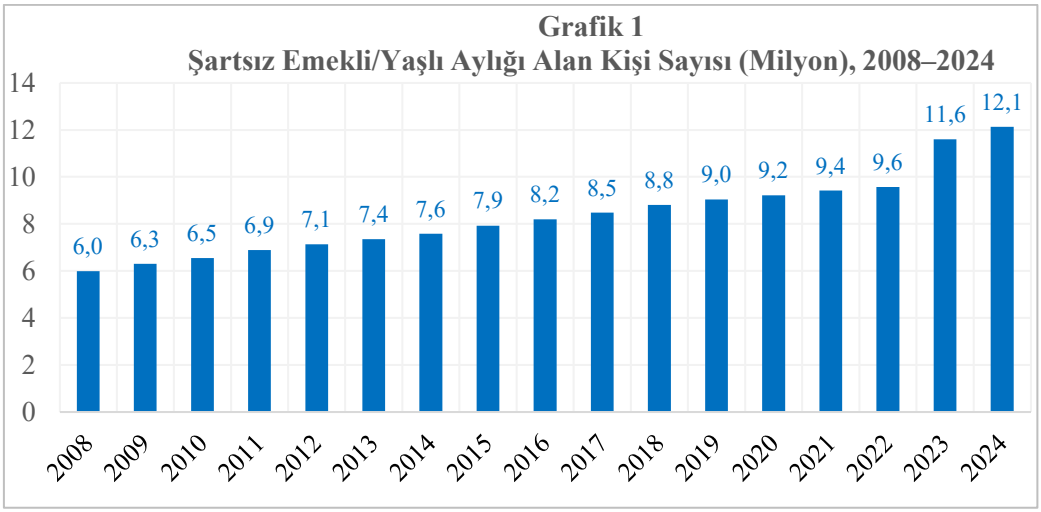
EYT'nin Sosyal ve Mali Bilançosu

EYT düzenlemesinin yürürlüğe girmesiyle birlikte, uzun süredir devam eden bir toplumsal talep karşılanmış, ancak emeklilik koşullarına ilişkin tartışmalar farklı kulvarlardan devam etmiştir. Bu bağlamda düzenlemenin uzun vadeli mali ve aktüeryal etkilerinin yanı sıra kapsam dışında kalan sigortalılar açısından ortaya çıkan yeni adalet talepleri tartışma konusu olmuştur. Birincisi, EYT yasası, sosyal güvenlik sisteminin uzun vadeli aktüeryal dengesini olumsuz etkileyeceği, sosyal güvenlik sistemine mali yük getireceği ve işgücü piyasasında arz talep dengesini nitelikli işgücü arzı aleyhine bozacağı değerlendirmelerine konu olmuştur (Erdoğmuş, 2024: 83–85). İkinci olarak, yaş şartını kaldıran düzenlemenin 8 Eylül 1999 ve öncesinde sigortalılığı başlayan kesimlerle sınırlı kalması, bu tarihten yalnızca bir gün sonra sigortalı olanlarla EYT kapsamındakiler arasında, bireysel koşullara bağlı olarak erkeklerde 17, kadınlarda 20 yıla kadar ulaşabilen emekliliğe erişim farklılıklarını beraberinde getirmiştir. Dolayısıyla EYT düzenlemesinden yararlanmayan kesimler açısından yeni bir hak kaybı algısı ortaya çıkmış ve "emeklilikte adalet" kavramı üzerinden yeni bir örgütlü hak mücadelesi ortaya çıkmıştır (Bülbül ve Gayaker, 2025: 105–106). Söz konusu hak kaybı algısı, akademik literatürde kuşaklar arası çatışma/dayanışma ve yatay adalet kavramları ekseninde ampirik çalışmalarla da ortaya konulmuştur (Aslan, 2024: 1158–1159).

EYT düzenlemesi, 2023 seçimlerinden kısa bir süre önce hayata geçirilmesine rağmen, yürürlüğe girmesini takip eden yıllarda yalnızca muhalefetten değil, iktidar çevrelerinden gelen açıklamalarda da özellikle maliyet problematiği üzerinden olumsuz yorumlara konu olmuştur. 2023 Haziran'da Hazine ve Maliye Bakanı olarak atanan Mehmet Şimşek, muhalefetin baskısıyla hayata geçirilmiş popülist bir politika olarak nitelediği EYT düzenlemesinin 2024'te 724 milyar TL maliyete neden olduğunu, bunun GSYH'nin yaklaşık %2'sine tekabül ettiğini belirtmiştir (Yıldırım 2024, 1 Temmuz). AK Parti Genel Başkan Vekili Mustafa Elitaş, yasanın 5 yıllık maliyetinin 300 milyar dolar olduğunu ileri sürmüştür (Euronews 2024, 23 Temmuz). Bilal Erdoğan ise EYT düzenlemesinin, "kirli muhalefet anlayışıyla, siyasetin popülizme zorlanmasıyla" mümkün hale geldiğini belirtmiş ve EYT düzenlemesini "büyük bir felaket" olarak nitelemiştir (Karar 2024, 16 Eylül).

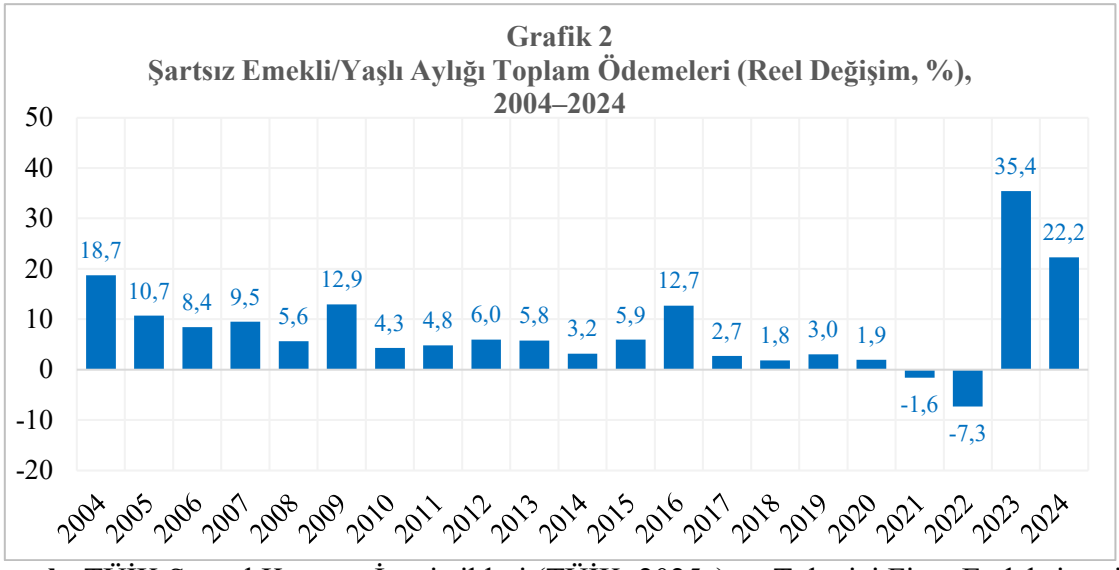
Bu bölümde, söz konusu tartışmalar çerçevesinde EYT düzenlemesinin sosyal ve mali boyutlarını değerlendirmek amacıyla, emekli/yaşlı aylığı alan kişi sayısı, emekli aylığı ödemelerinin gelişimi ve sosyal güvenlik sisteminin mali ve aktüeryal sürdürülebilirliği açısından önem taşıyan istatistiksel göstergeler incelenecektir.

Grafik 1
Şartsız Emekli/Yaşlı Aylığı Alan Kişi Sayısı (Milyon), 2008–2024



Kaynak: TÜİK, Sosyal Koruma İstatistikleri (TÜİK, 2025a).

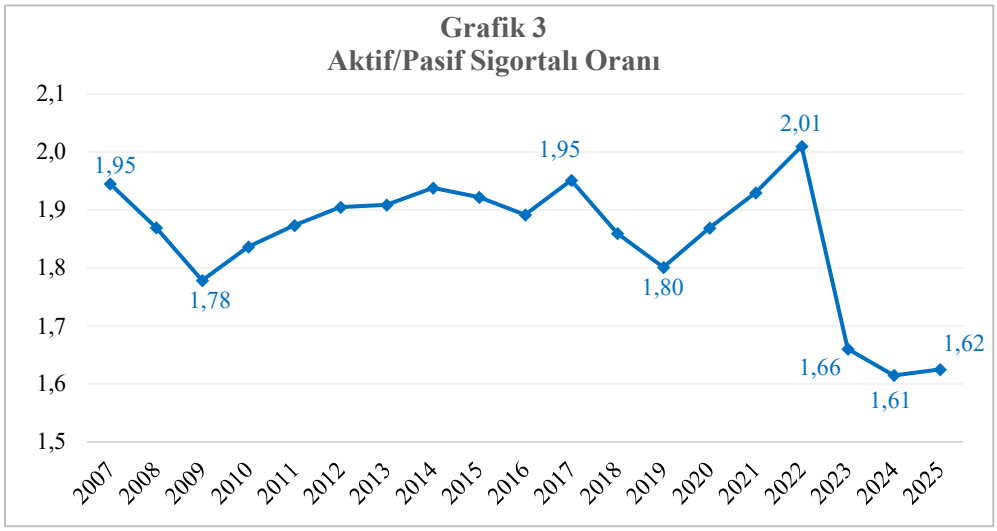
Grafik 1'de TÜİK tarafından yayımlanan Sosyal Koruma İstatistikleri kapsamında yıllara göre devletten şartsız emekli/yaşlı aylığı alan kişi sayısı verilmektedir. Buradaki "şartsız" ifadesi, yapılan ödemenin, "yararlanıcının gelirinin ve/veya varlıklarının belirli bir seviyenin altında olmasına açıkça veya dolaylı olarak bağlı" olmadığı anlamına gelmektedir (TÜİK, 2025b). 2008–2022 döneminde emekli sayısı düzenli bir artışla 6 milyondan 9,6 milyona yükselmiş, bu dönemde yıllık bileşik ortalama artış hızı %3,4 olmuştur. EYT düzenlemesinin yürürlüğe girdiği 2023'te ise bu sayı bir önceki yıla göre %21,2 (yaklaşık 2 milyon kişi) artarak 11,6 milyona ulaşmıştır. 2024'te şartsız emekli/yaşlı maaşı alan kişi sayısı %4,5 (527 bin kişi) artarak 12,1 milyona yükselmiştir. Söz konusu sayılar EYT düzenlemesine ihtiyaç duymaksızın emekli olanları da kapsamakla birlikte, emekli nüfusta yapısal bir sıçramaya işaret etmektedir.



Kaynak: TÜİK Sosyal Koruma İstatistikleri (TÜİK, 2025a) ve Tüketici Fiyat Endeksi verileri kullanılarak yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

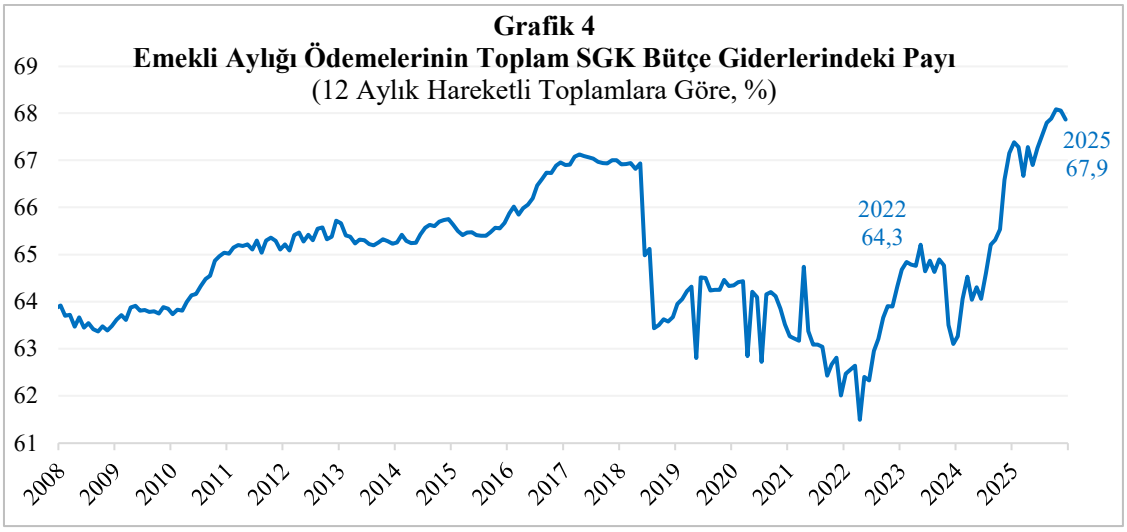
Emekli/yaşlı aylığı alan kişi sayısında yaşanan artışa paralel olarak, bu kapsamda yapılan toplam ödemelerde de belirgin bir artış kaydedilmiştir. Grafik 2'de TÜİK Sosyal Koruma İstatistikleri kapsamında 2004–2024 döneminde şartsız emekli/yaşlı aylığı ödemelerinin Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE) enflasyonu kullanılarak hesaplanmış yıllık reel değişimlerine yer verilmiştir. Söz konusu toplam ödemeler 2021 ve 2022'de yüksek enflasyonun etkisiyle yaşanan reel düşüşlerin ardından 2023'te %35,4 ve 2024'te %22,2 oranında reel artışlar göstermiştir. Bu gelişme, EYT düzenlemesi sonrasında sosyal güvenlik sistemi üzerinde baskı oluştuğu değerlendirmesini desteklemektedir.

Grafik 1 ve Grafik 2 birlikte değerlendirildiğinde, EYT düzenlemesinin yürürlüğe girdiği dönemde emekli/yaşlı aylığı alan kişi sayısında ve bu kapsamda yapılan reel ödemelerde belirgin bir artış görülmektedir. Bu gelişmeler, EYT düzenlemesinin geniş bir toplumsal kesime sağladığı maddi kazanımlarla uyumlu olmakla birlikte, söz konusu artışların EYT düzenlemesine doğrudan atfedilebilecek kısmı mevcut verilerle ayrıştırılamamaktadır.



Kaynak: SGK, İstatistik Yıllıkları.

Grafik 3'te verilen aktif/pasif sigortalı oranı, sosyal sigorta sistemine prim ödeyen aktif sigortalıların sayısı ile sistemden gelir ve aylık alan pasif sigortalıların (dosya) sayısı arasındaki orandır (SGK, 2016: 12). 2022 yılı sonunda 2,01 olan bu oran, EYT düzenlemesinin devreye girdiği 2023 sonunda 1,66'ya, 2024 sonunda 1,61'e gerilemiş, 2025'te ise önemli bir değişim göstermeksizin 1,62 olarak gerçekleşmiştir. 2023'te yaşanan düşüş, EYT düzenlemesinin devreye girdiği dönemde aktif sigortalılar ile pasif sigortalılar arasındaki dengenin kısa sürede belirgin biçimde değiştiğini göstermektedir. Literatürde bu gelişmenin sosyal sigorta sisteminin uzun vadeli finansal sürdürülebilirliği açısından yapısal bir risk oluşturduğu yönünde değerlendirilmeler bulunmaktadır (Günaltay vd., 2025: 1103–1105).

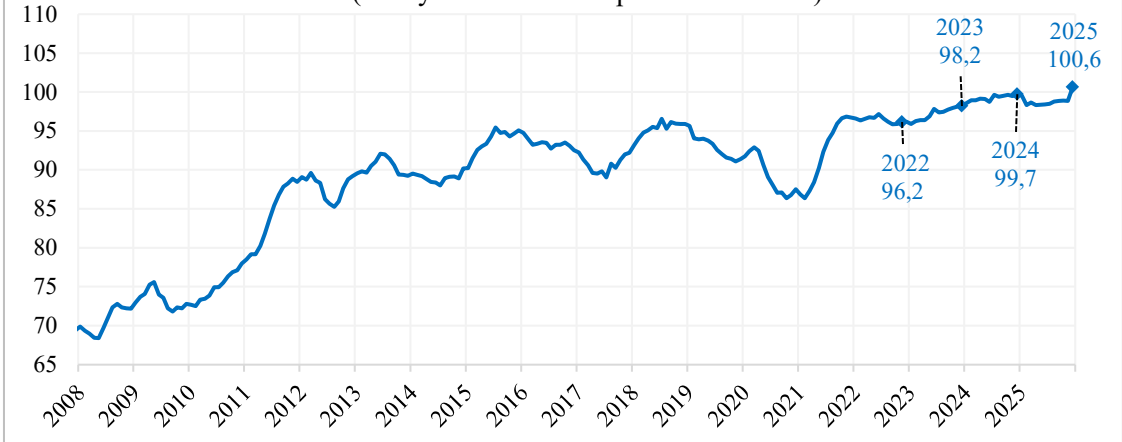


Kaynak: Sosyal Güvenlik Kurumu Veri Uygulamasından temin edilen verilerle yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

SGK'nın temel mali göstergelerdeki değişimlerin incelenmesi ise EYT düzenlemesinin maliyetlere etkisine ilişkin tartışmalara ışık tutması bakımından önemlidir. Grafik 4'te emekli aylığı ödemelerinin toplam giderler içindeki payı 12 aylık hareketli toplamlar üzerinden gösterilmiştir. Söz konusu pay Aralık 2022'de %64,3 iken Aralık 2023'te %63,1'e gerilemiş; ardından Aralık 2024'te %67,2'ye ve Aralık 2025'te %67,9'a yükselmiştir.

Dolayısıyla EYT'nin yürürlüğe girdiği 2023 yılında bu oranda eş zamanlı bir sıçrama görülmemekle birlikte, düzenlemenin tam yıl etkisini içeren 2024'ten itibaren emekli aylığı ödemelerinin SGK giderleri içindeki ağırlığı belirgin biçimde artmıştır (Grafik 4). Bununla birlikte söz konusu yükselişin yalnızca EYT'ye atfedilebileceği de tartışmalı görünmektedir. Zira oranın gelişimi, emekli sayısındaki artışın yanı sıra aylıklara yapılan düzenlemeler ve diğer gider kalemlerinin seyrinden de etkilenmektedir.

Grafik 5
SGK Gelirlerinin Giderleri Karşılama Oranı
(12 Aylık Hareketli Toplamlara Göre %)



Kaynak: Sosyal Güvenlik Kurumu Veri Uygulamasından temin edilen verilerle yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

Grafik 5 ise emekli aylığı ödemelerinin artan ağırlığına SGK'nın gelir-gider dengesinde bir bozulmanın eşlik etmediğini göstermektedir. SGK gelirlerinin giderleri karşılama oranı Aralık 2022'de %96,2'den Aralık 2023'te %98,2'ye ve Aralık 2024'te %99,7'ye yükselmiş; Aralık 2025'te ise %100,6 olarak gerçekleşmiştir. Bununla birlikte bu oran, yalnızca prim gelirlerine değil, devlet katkısı ve diğer gelir kalemlerini de içeren toplam SGK gelirlerine dayanmaktadır. Bağlı (2026), SGK'ya yönlendirilen bütçe kaynaklarının yasal devlet katkısının yanında prim teşvikleri, prim ödeme gücü olmayanların genel sağlık sigortası primleri ve ikramiyeler gibi farklı politika araçlarını da kapsadığını; bu nedenle toplam bütçe transferlerinin doğrudan kurumun aktüeryal açığı olarak okunamayacağını belirtmektedir (Bağlı, 2026: 8–10). Dolayısıyla veriler, EYT'nin maliyetsiz olduğunu veya uzun vadeli sürdürülebilirlik sorunu yaratmadığını göstermemekle birlikte, SGK'nın gerçekleşen gelir-gider dengesinde incelenen dönem itibarıyla belirgin bir bozulma yaşandığı sonucunu da desteklememektedir.

SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

2023'te hayata geçirilen EYT düzenlemesi, demografik dönüşümün yarattığı reform baskısı ile sosyal politika alanında ortaya çıkan siyasal talepler arasındaki gerilimin spesifik bir örneğini oluşturmaktadır. Düzenleme kapsamında 9 Eylül 1999'dan önce sigorta sistemine dahil olanlar için yaş şartının kaldırılması, Avrupa'daki yakın dönem emeklilik reformlarına hakim olan çalışma yaşamını uzatma yönelimine zıt ve "aktif yaşlanma" yaklaşımından ayrışan bir adımla emeklilik hakkına erişimi erkene çekmiştir.

EYT düzenlemesi, uzun zamandır geniş kitlelerce talep edilen, fakat iktidar tarafından karşı çıkılan bir uygulama iken, seçimlere yakın bir dönemde siyasal olarak sahiplenilerek hayata geçirilmiş, böylece geniş bir seçmen grubunu temsil eden önemli bir toplumsal kesime kısa süre içerisinde doğrudan bir maddi fayda sağlanmıştır. Bu unsurlar, sürecin tüm aşamalarında devam eden mali/aktüeryal sürdürülebilirlik tartışmalarıyla birlikte ele alındığında EYT'nin popülist bir iktisat politikası repertuvarı içinde değerlendirilmesine de zemin oluşturmaktadır (Tufte 1978; Dornbusch ve Edwards, 1990). EYT düzenlemesinin yürürlüğe girmesinden sonra iktidar çevrelerinden de düzenlemeyi popülizm kavramıyla ilişkilendiren açıklamaların gelmesi, bu nitelemenin siyasal tartışmalarda karşılık bulduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, EYT düzenlemesinin iktisadi açıdan popülizm çerçevesinde sınıflandırılmasının bazı sınırları da bulunmaktadır. Önceki bölümlerde de aktarıldığı üzere, 4447 sayılı Kanun'la getirilen yaş şartı nedeniyle emekliliğe hak kazanamayan kesimlerin talepleri 2023'ten çok daha eskiye uzanmakta ve kitlesel bir örgütlenmeye dayanmaktadır. Düzenlemenin hayata geçmesi söz konusu kesim açısından mücadeleyle elde edilmiş maddi bir kazanım karakteri de taşımaktadır. Bu bağlamda EYT düzenlemesi yalnızca mali ve aktüeryal sürdürülebilirlikle sınırlı bir çerçevede tartışılmamalı, düzenlemenin 1999 reformlarıyla ortaya çıkan bir kitlesel hak kaybı algısının ürünü olduğu ihmal edilmemelidir. Öte yandan, yasanın 9 Eylül 1999 ve sonrasında sigortalılığı başlayanlar açısından yarattığı yeni mağduriyet algısı, gelecek dönemde de gündemde kalabilecek ve ayrıca değerlendirilmesi gereken konular arasındadır. Dolayısıyla, emeklilik politikasının makroekonomik sürdürülebilirlik ekseniyle sınırlanmaksızın, sosyal sürdürülebilirlik ve adalet boyutlarını da kapsayacak şekilde analiz edilmesi önem taşımaktadır (Aslan, 2024).

Mali göstergeler de ihtiyatlı bir değerlendirmeyi gerektirmektedir. EYT düzenlemesiyle eş zamanlı olarak aktif/pasif oranı gerilemiş ve emekli aylığı ödemelerinin SGK giderleri içindeki ağırlığı artmış olsa da incelenen dönemde SGK gelirlerinin giderleri karşılama oranında belirgin bir bozulma gözlenmemiştir. Bu durum, EYT düzenlemesinin maliyetsiz olduğunu veya uzun vadeli aktüeryal sürdürülebilirlik açısından sorun yaratmadığını göstermemektedir. Öte yandan EYT'ye ilişkin değerlendirmeler SGK'nın mali dengesiyle sınırlandırılmamalı; sürecin gelir ve refah bölüşümü gibi iktisadi ve sosyal boyutları da dikkate alınmalıdır. Bu çerçevede, SGK'nın mali durumuna ilişkin tartışmalarda zaman zaman dile getirilen "kurumun iflas edebileceği" yönündeki değerlendirmelere de ihtiyatla yaklaşılmalıdır. Zira SGK'nın finansmanı yalnızca prim gelirlerine dayanmamakta; devlet katkısı ve diğer kaynakları da kapsamaktadır. Ayrıca kendi para birimini ihraç eden devletlerin bu para birimi cinsinden harcamalarını finanse etme kapasitesine dikkat çeken teorik yaklaşımlar, enflasyon ve reel kaynak kısıtları ile mevcut hukuki ve kurumsal sınırlamalar saklı kalmak üzere, kamusal sosyal güvenlik harcamalarının daha geniş bir kamu finansmanı çerçevesinde değerlendirilmesine de imkân tanımaktadır (Wray, 2019). Diğer taraftan, kamusal emeklilik sisteminin yerine bireysel hesap esaslı modellerin geçirilmesinin kendiliğinden kalıcı bir çözüm sağlayacağı da varsayılamaz. Nitekim uluslararası deneyimler, bazı ülkelerde zorunlu emeklilik sistemlerinin özelleştirilmesinin ardından bu politikaların tersine çevrildiğini göstermektedir (Ortiz vd., 2018). Bu bağlamda düzenlemenin sağladığı maddi ve sosyal kazanımların, sosyal güvenlik sistemi üzerinde oluşturduğu yapısal baskı ve seçimler bağlamındaki siyasal zamanlamasıyla birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Son olarak, çalışmanın bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. EYT düzenlemesinin henüz kısa sayılabilecek bir geçmişe sahip olması ve düzenleme kapsamında emekli olanların incelenen göstergelerdeki değişime katkısının diğer faktörlerden net biçimde ayrıştırılamaması, gözlenen gelişmelerin doğrudan EYT'ye atfedilmesini güçleştirmektedir.

İlerleyen dönemde düzenlemenin uzun vadeli aktüeryal etkilerinin, işgücü piyasası ve gelir bölüşümü üzerindeki sonuçlarının ve 8 Eylül 1999 sonrasında sigortalı olanlar açısından yatay adalet ve kuşaklar arası adalet boyutlarının daha ayrıntılı biçimde incelenmesi, bu çalışmanın ortaya koyduğu değerlendirmelerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Akademik Yayınlar ve Araştırma Raporları

Aslan, H. (2024), "Emeklilikte Yaşa Takılanlar Problemi: Kuşakiçi Dayanışma ve Çatışma Perspektifinden Bir İçerik Analizi", *Çalışma ve Toplum*, 2024/3(82): 1127–1166. doi: 10.54752/ct.1517560

Bağlı, M. S. (2026), "Legalised Fiscal Deviation and Data Fragmentation in Social Protection Systems: Evidence From Turkey", *Social Policy & Administration*: 1–13. doi: 10.1111/spol.70104

Béroud, S. (2023), "The 2023 Mobilisation against Pension Reform in France: Some Elements of Analysis", Notebooks: *The Journal for Studies on Power*, 3/1: 85–99. doi: 10.1163/26667185-bja10047

Börsch-Supan, A., Härtl, K., Leite, D. N., Ludwig, A. (2023), "Preventing reforming unequally", *Journal of Population Economics*, 36/4: 2889–2924. doi: 10.1007/s00148-023-00976-8

Bülbül, O. G. (2023), "Çözümün Getirdiği Yeni Sorun ve Riskler Bağlamında Emeklilikte Yaşa Takılma", *Çimento İşveren*, 37/3: 8–25. https://ceis.org.tr/wp-content/uploads/2023/05/2023-mayis-dergi.pdf

Bülbül, O. G., Gayaker, S. (2025), "Emeklilikte Yaş Şartının Sürdürülebilirliği: "Emeklilikte Yaşa Takılanlar" ve "Emeklilikte Adalet" Kavramlarının Belirginliği Üzerinden Bir Analiz", *Sosyal Güvence,* Özel Sayı, 94–130. doi: 10.21441/sosyalguvence.1691745

Ceyhun, E. (2020), "4447 Sayılı Kanunun Yirminci Yılında Hizmet Akdine Tabi Sigortalılar Yönünden Yaşlılık Aylığına Hak Kazanma Koşulları ve "EYT"", *Mali Çözüm*, 30/159: 205–308. https://archive.ismmmo.org.tr/docs/malicozum/159malicozum/18.PDF

Dornbusch, R., Edwards, S. (1990), "Macroeconomic Populism", *Journal of Development Economics*, 32/2: 247–277. doi: 10.1016/0304-3878(90)90038-D

Erdoğmuş, F. (2024), Türkiye'de Popülizm ve Emeklilik Sistemi, Doktora Tezi, Denizli, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Güllü, G. (2022), "Emeklilikte Yaşa Takılanların (EYT) İşgücü Piyasasına ve Ekonomiye Etkisi", *Toprak İşveren*, 136: 18–25. https://toprakisveren.org.tr/index.php/yayinlar/e-dergi-136-sayi/

Günaltay, M. M., Korkut, G., Oktar, M. N., Işıkçelik, F. (2025), "Türkiye'de Sosyal Sigorta Sisteminin Sürdürülebilirliği: Aktif ve Pasif Sigortalı Nüfusun Gelişimi Üzerinden Bir Değerlendirme", *Istanbul Gelisim University Journal of Social Sciences*, 12/3, 1094–1109. doi: 10.17336/igusbd.1696472

Güner, Z. B. (2015), "Uzun Ömürlülük Riskinin Sosyal Güvenlik Sistemi Dengesine Etkisi", *Sosyal Güvence,* 7: 58–82. doi: 10.21441/SGUZ.2015717912

OECD (2025), *Pensions at a Glance 2025: OECD and G20 Indicator*s, Paris: OECD Publishing. doi: 10.1787/e40274c1-en

Ortiz, I., Durán-Valverde, F., Urban, S., Wodsak, V. ve Yu, Z. (2018), "Reversing Pension Privatization: Rebuilding Public Pension Systems in Eastern European and Latin American Countries (2000–18)", (ILO, ESS Working Paper No. 63). https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40ed_protect/%40soc_sec/documents/publication/wcms_648639.pdf

Stowell, N., Zeng, Y., Kugler, J. (2026), "Retirement challenges amidst demographic changes", *Journal of Public Policy*: 1–19. doi: 10.1017/S0143814X25100986

Tufte, E. R. (1978), *Political Control of the Economy*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

van Nimwegen, N. (2013), "Population change in Europe: Turning challenges into opportunities", *Genus*¸ 69/1: 103–125. doi: 10.4402/GENUS-456.

Wray, L. R. (2019), "Fiscal Reform to Benefit State and Local Governments: The Modern Money Theory Approach" (Levy Economics Institute Working Paper, No. 936). https://www.levyinstitute.org/wp-content/uploads/2024/02/wp_936.pdf

Wysocki, M., Wójcik, C., Freytag, A. (2022), "Populists and Fiscal Policy: The Case of Poland" (CESifo Working Paper, No. 10146), https://www.econstor.eu/bitstream/10419/271790/1/cesifo1_wp10146.pdf

Żuk, P., Żuk, P. (2018), "Retirees without pensions and welfare: The social effects of pension privatization in Poland", *Critical Social Policy*, 38/2: 407-417. doi: 10.1177/0261018317731982

Basın Haberleri ve Köşe Yazıları

Akan, A. K., Altaş, M. (2022, 28 Aralık), "Cumhurbaşkanı Erdoğan EYT düzenlemesini açıkladı", *Anadolu Ajansı*¸ https://www.aa.com.tr/tr/gundem/cumhurbaskani-erdogan-eyt-duzenlemesini-acikladi/2774692 (Erişim tarihi: 1 Ekim 2026).

Bayır, B., Timur, C. ve Özgenç, Ö. (2022, 29 Aralık), "Erdoğan "Seçim kaybetsek de yokum" dediği EYT'de geri adım attı | "Agresif bir seçim ekonomisinin startı verildi"", *Medyascope*, https://medyascope.tv/2022/12/29/erdogan-secim-kaybetsek-de-yokum-dedigi-eytde-geri-adim-atti-agresif-bir-secim-ekonomisinin-starti-verildi (Erişim tarihi: 3 Nisan 2026).

Euronews (2024, 23 Temmuz), "'EYT'nin 5 yıllık maliyeti 300 milyar dolar': AK Parti Genel Başkan Vekili Elitaş", https://tr.euronews.com/2024/07/23/eytnin-5-yillik-maliyeti-300-milyar-dolar-ak-parti-genel-baskan-vekili-elitas (Erişim tarihi: 1 Ekim 2026).

Karar (2024, 16 Eylül), "Bilal Erdoğan'dan EYT'yi zorlayan CHP'ye ağır eleştiri: Kirli muhalefet anlayışıyla bunlar mümkün hale geldi", https://www.karar.com/guncel-haberler/bilal-erdogandan-eytyi-zorlayan-chpye-agir-elestiri-kirli-muhalefet-1893403 (Erişim tarihi: 2 Ekim 2026)

Tosun, M. (2018, 22 Ekim), "CHP 'emeklilikte yaşa takılanlar'a çözüm istiyor", *Anadolu Ajansı*, https://www.aa.com.tr/tr/politika/chp-emeklilikte-yasa-takilanlara-cozum-istiyor-/1289587 (Erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

Yıldırım, A. (2024, 1 Temmuz), "EYT'nin bu yılki maliyeti 724 milyar lira", *Habertürk*. https://www.haberturk.com/ozel-icerikler/abdurrahman-yildirim-1018/3699448-eyt-nin-bu-yilki-maliyeti-724-milyar-lira (Erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

Mevzuat ve Resmi Kurum Yayınları

Resmi Gazete (1999, 8 Eylül), *İşsizlik Sigortası Kanunu* (Kanun No. 4447), https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/23810.pdf

Resmî Gazete (2023, 3 Mart), *Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu ile 375 Sayılı Kanun Hükmünde Kararnamede Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun* (Kanun No. 7438). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/03/20230303-8.htm

SGK (2016), *Sosyal Güvenlik Sözlüğü*, Ankara: T.C. Sosyal Güvenlik Kurumu Başkanlığı. https://ekutuphane.csgb.gov.tr/Media/yrknvm2a/sosyal-g%C3%BCvenlik-s%C3%B6zl%C3%BC%C4%9F%C3%BC.pdf

Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı (2019, 16 Kasım), "Sağlık Sosyal Güvenlik Merkezleri Toplu Açılış Töreninde Yaptıkları Konuşma", https://tccb.gov.tr/konusmalar/353/113560/saglik-sosyal-guvenlik-merkezleri-toplu-acilis-toreninde-yaptiklari-konusma

Veri Kaynakları ve Metaveri

TÜİK (2025a), *Sosyal Koruma İstatistikleri*, 2024, https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/53933

TÜİK (2025b), "Metaveri", *Türkiye İstatistik Kurumu, Sosyal Koruma İstatistikleri*. https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/53933/metadata

TÜİK, *Tüketici Fiyat Endeksi*, https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=84&locale=tr

SGK (2024), 4/*a Hizmet Akdi ile Çalışanlar*, https://www.sgk.gov.tr/Content/Post/785eac3b-d260-47b5-8103-ae591b2ac320/4a-Hizmet-Akdi-ile-Calisanlar-2024-01-11-02-39-38 (Erişim tarihi: 2 Ekim 2026)

SGK, *İstatistik Yıllıkları*, https://www.sgk.gov.tr/istatistik/yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451-ee7500eb1cb4

SGK, *Veri Uygulamas*ı, https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Index/ab1d9b45-c8f8-4aaf-aef0-27210e5dfa14/

SAYISAL ÇÖZÜMLER İÇİN YENİLİKÇİ BİR PARADİGMA: KÜBİK HERMİT EN KÜÇÜK KARELER YAKLAŞIMI

Merve GÜLER
İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü
ORCID: 0009-0007-1895-3191

Prof. Dr. Nuri Murat YAĞMURLU
İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü
ORCID: 0000-0003-1593-0254

ÖZET
Bu çalışma, kübik Hermite temel fonksiyonları kullanılarak oluşturulan güçlü formda bir en küçük kareler formülasyonu aracılığıyla adi diferansiyel denklemlerin (ODE'ler) sayısal çözümünü incelemektedir. İşlemsel adımları, algoritmik uygulamayı ve analitik netliği ortaya koymak amacıyla; homojen sınır koşullarına tabi olan ve kesin bir analitik çözüme sahip, temsili bir referans ODE analiz edilmiştir. Temel formülasyon, çözüm bölgesi üzerinde ağırlıklı bir artık (residual) ifadesi oluşturur; burada ağırlık fonksiyonları, en küçük kareler minimizasyonu ilkesi uyarınca artığın bilinmeyen yaklaşım katsayılarına göre türevlenmesiyle tanımlanır. Uzaysal ayrıklaştırma işlemi, çözüm bölgesinin dört adet kübik Hermite elemanına bölünmesiyle gerçekleştirilir. Belirtilen sınır koşullarının uygulanması, sürekli yapıdaki güçlü form diferansiyel operatörünü, çözülebilir bir doğrusal cebirsel denklem sistemine dönüştürür. Hesaplama süreci MATLAB ortamında yürütülmüş ve elde edilen sayısal performans sistematik bir şekilde değerlendirilmiştir. Doğruluk ve yakınsama davranışı; nicel L2 ve L∞ hata normu metriklerinin yanı sıra tablo ve grafik gösterimler kullanılarak kesin çözümle karşılaştırmalı olarak doğrulanmıştır.
Anahtar kelimeler: Güçlü Form, Kübik Hermite Bazlar, En küçük kareler, Nümerik yaklaşım.

Bu çalışma İnönü Üniversitesi tarafından FYL-2026-4682 numaralı bilimsel araştırma projesi kapsamında desteklenmektedir.

AN INNOVATIVE PARADIGM FOR NUMERICAL SOLUTIONS: A CUBIC HERMITE LEAST SQUARES APPROACH

ABSTRACT
This study investigates the numerical solution of ordinary differential equations (ODEs) using a strong-form least-squares formulation constructed with cubic Hermite basis functions. To demonstrate the procedural steps, algorithmic implementation, and analytical clarity, a representative benchmark ODE subject to homogeneous boundary conditions and possessing an exact analytical solution is analyzed. The governing formulation establishes a weighted residual expression over the solution domain, wherein the weight functions are defined by differentiating the residual with respect to the unknown approximation coefficients in accordance with least-squares minimization. Spatial discretization is performed by partitioning the solution domain into four cubic Hermite elements. Applying the specified boundary conditions reduces the continuous strong-form differential operator to a solvable system of linear algebraic equations. The computational scheme was executed in MATLAB, and the resulting numerical performance was systematically evaluated.

Accuracy and convergence behavior are verified against the exact solution using tabular and graphical representations alongside quantitative L_2 and L_∞ error norm metrics.
Keywords: Strong Form, Cubic Hermite Basis, Least Square, Numerical approximation.

This study is supported by Inonu University Scientific Research Project with project number FYL-2026-4682.

INTRODUCTION

The term “finite element” was first introduced by Clough (1960) in the context of plane stress analysis using triangular and quadrilateral spatial discretizations. The subsequent evolution of high-performance digital computing significantly expanded the computational tractability of the finite element method (FEM), enabling researchers across mathematics and engineering to obtain robust numerical approximations for complex differential equations governing intricate physical systems. The underlying paradigm of FEM relies on domain decomposition, wherein a complex continuous domain is partitioned into a set of geometrically simplified subdomains, termed finite elements, interconnected at discrete nodal points. Rather than attempting to solve the governing differential operator over the entire domain simultaneously, local elemental equations are derived individually and subsequently assembled to form a global system of algebraic equations (Logan, 2007). A major advantage of FEM over point-wise numerical approximations (such as conventional finite difference methods) is its reliance on piecewise continuous approximation functions defined over each element. Consequently, rather than producing discrete solution values restricted exclusively to grid nodes, FEM yields a localized interpolating field that permits numerical evaluation at any arbitrary coordinate within the solution domain. In general, the standard implementation of the finite element procedure follows the systematic framework formulated by Reddy (1993):

1. Domain Discretization: Partitioning the continuous solution domain into a finite set of geometric subdomains (elements) interconnected at discrete nodal points.
2. Elemental Formulation: Deriving local matrix equations (e.g., via weighted residual or variational principles) for a representative elemental domain.
3. Global Assembly: Systematically combining individual elemental matrices into a unified global algebraic system representing the continuous domain.
4. Boundary Condition Enforcement: Incorporating prescribed essential (Dirichlet) and natural (Neumann) boundary conditions into the global matrix equation.
5. Algorithmic Solution & Implementation: Translating the resulting system into a computational solver—preferably within a high-level symbolic programming environment—to compute the unknown numerical approximation coefficients.
6. Post-Processing & Error Analysis: Evaluating and visualizing the computed numerical fields via structured tables and comparative plots to quantify solution fidelity.

In the numerical solution of partial differential equations (PDEs), classical mesh-based methods—specifically finite difference, finite volume, and finite element approaches—fundamentally rely on spatial grids or interconnected nodal meshes. Aligning with these established computational principles, the primary objective of this work is to formulate an efficient, robust, and fully discretized linear numerical scheme for a representative prototype problem. To validate the proposed formulation, the scheme is applied to a benchmark model problem possessing an exact analytical solution. Quantitative error assessments are conducted using the L2 and L∞ error norms, with convergence behaviors and numerical fidelity demonstrated through detailed tabular and graphical comparisons against the exact solution.

LITERATURE SURVEY

This section provides a synthesis of key literature on the finite element method (FEM) and its implementation using cubic Hermite basis functions. Recent research has focused on both the foundational properties and computational applications of cubic Hermite splines. Amat et al. (2023) examined the mathematical singularities associated with cubic Hermite splines. Building upon computational methodologies, Ayebire et al. (2024) introduced a hybrid numerical scheme leveraging cubic Hermite splines to resolve nonlinear problems, validating the stability and accuracy of their formulation through L_2 and L_∞ error norm metrics. Collocation-based finite element formulations incorporating cubic Hermite basis functions have been extensively applied to differential equations. Ganaie and Kukreja (2014) developed a cubic Hermite collocation finite element scheme for the Burgers equation, proving that the proposed algorithm is unconditionally stable in the temporal direction. Subsequently, Ganaie et al. (2016) applied this collocation framework to derive error bounds for semi-discrete solutions, confirming their analytical estimates through numerical testing. Further expanding collocation applications, Kumar (2024) implemented cubic Hermite basis functions to solve differential equations, evaluating numerical convergence via structured tabular and graphical representations. In parallel with collocation strategies, least-squares formulations and spline-based finite element methods have demonstrated strong fidelity across various initial-boundary value problems. Kutluay et al. (2004) solved the Burgers equation using a least-squares finite element approach built on classical quadratic B-splines across three test cases. More recently, Kutluay, Yağmurlu, and Karakaş (2022) applied cubic Hermite bases to the one-dimensional heat equation, confirming numerical reliability via error norm analysis and highlighting the adaptability of cubic Hermite basis functions to a broader class of nonlinear problems in applied mathematics.

THE DERIVATION OF THE HERMITE BASIS FUNCTIONS

The central contribution of this study lies in approximating spatial derivatives at discrete grid points using cubic Hermite basis functions. Incorporating these functions into a Finite Element Method (FEM) framework offers substantial advantages over conventional numerical techniques. In particular, the proposed formulation effectively accommodates complex geometries and irregular boundary conditions, improves spatial accuracy across both uniform and non-uniform meshes, and suppresses numerical perturbations to deliver robust, high-fidelity solutions for nonlinear partial differential equations (PDEs).

This study utilizes a Finite Element Method (FEM) grounded in cubic Hermite basis functions. To establish the mathematical foundation, the derivation procedure for these basis functions is initially presented. The selection of appropriate shape functions is dictated by the order of the governing differential equation, requiring an approximating polynomial of equal or higher degree to satisfy necessary differentiability conditions within the solution domain. Given that the benchmark problem under consideration is governed by a second-order differential equation, a third-order (cubic) polynomial is selected, providing a rigorous justification for adopting cubic basis functions.

For an initial step, a polynomial of degree 3 in the following form given on the closed unit interval [0,1]

$$P(x) = \boldsymbol{a}x^3 + \boldsymbol{b}x^2 + \boldsymbol{c}x + \boldsymbol{d} \qquad (\mathbf{1})$$

is taken into consideration. As it is obviously seen, the considered polynomial involves four unknown coefficients, namely $\boldsymbol{a}, \boldsymbol{b}, \boldsymbol{c}$ and $\mathbf{d}$. Here the main goal is to be able to define these unknown coefficients in terms of the following terms

$$P(0), P'(0), P(1), P'(1).$$

By reformulating the approximating polynomial $P(x)$ in terms of its function values and first-order derivatives at the domain boundaries x in [0,1],, the unknown coefficients are uniquely determined as follows:

The undetermined coefficients of the polynomial under consideration	
$\boldsymbol{a} = 2P(0) + P'(0) - 2\,P(1) + P'(1),$	$\boldsymbol{b} = -3P(0) - 2P'(0) + 3P(1) - P'(1),$
$\boldsymbol{c} = P'(0),$	$\mathbf{d} = P(0).$

Due to the fact that those values also must satisfy the equation itself, when the necessary mathematical operations are performed by substituting them in Equation (**1**), the following form

$$\mathrm{P}(x) = P(0)[1 - 3x^2 + 2x^3] + P'(0)[x - 2x^2 + x^3] + P(1)[3x^2 - 2x^3] + P'(1)[-x^2 + x^3]$$

is obtained. In fact, the coefficients derived through this formulation correspond directly to the cubic Hermite basis functions. For a more comprehensive theoretical treatment and further details on Hermite basis functions, interested readers are referred to Kutluay et al. (2022) and the references cited therein.

The Hermite basis functions for Global Coordinate on solution domain [0,1]	
$H_1 = 1 - 3x^2 + 2x^3$	$H_2 = x - 2x^2 + x^3$
$H_3 = 3x^2 - 2x^3$	$H_4 = -x^2 + x^3$

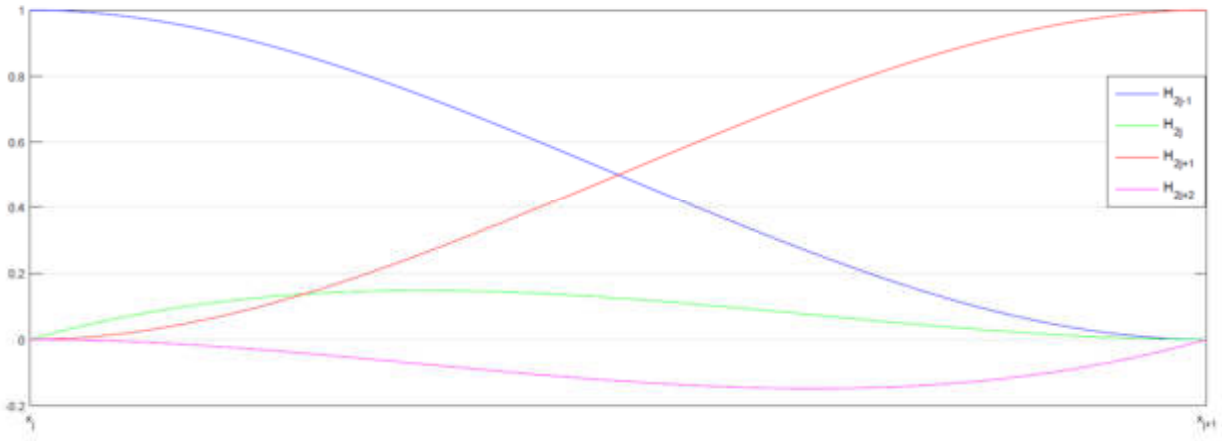


Figure 1. Schematic representation of the four cubic Hermite shape functions defined over a representative element domain.

INTRODUCTION OF THE MODEL PROBLEM AND CUBIC HERMITE THE LEAST SQUARE METHOD

To demonstrate the computational framework of the Finite Element Method (FEM) and the practical implementation of the derived cubic Hermite basis functions, the proposed scheme is first applied to a benchmark prototype problem. This illustrative implementation establishes a systematic foundation for extending the method to higher-order ordinary, partial, and fractional differential equations.

Once the core numerical steps and underlying mechanics are established on this model problem, the approach can be readily generalized to a broader class of initial- and boundary-value problems. For this purpose, the prototype equation given below

$$\frac{d^2U}{dx^2} + U = sinx$$

having the following Dirichlet type boundary conditions is going to be considered.

$$U(0) = 0, \qquad U\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0.$$

The exact solution of this Boundary Value Problem (BVP) is found as follows

$$u(x) = -\left(\frac{x}{2}\right)cosx$$

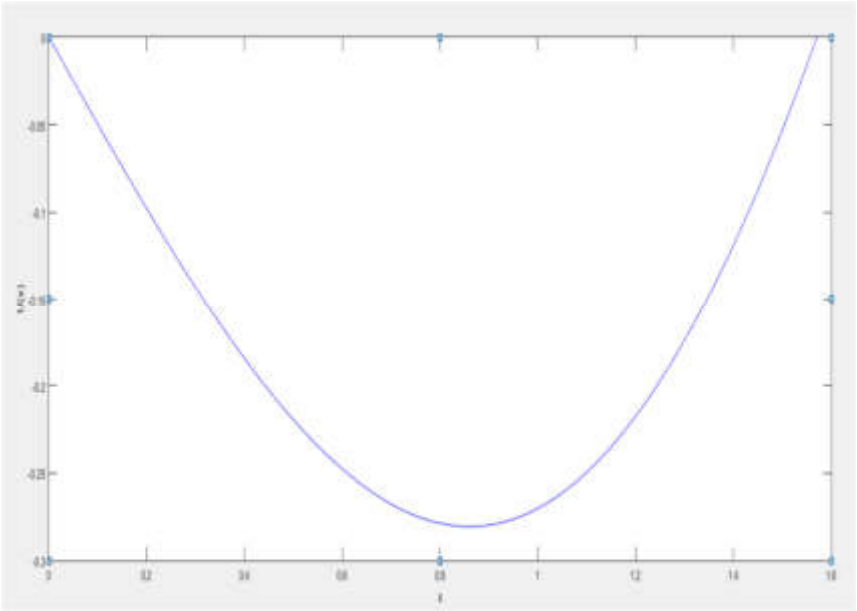


Figure 2. The analytical solution of the present boundary value problem defined on the domain

First, the weighted residual formulation of the model problem is established. This is achieved by defining the residual of the governing differential equation and taking its inner product with suitable weighting (test) functions over the problem domain, expressed as follows:

$$\int_0^1 \left[\frac{d^2U}{dx^2} + U - sinx\right] w_j dx = 0$$

At this stage, the specific formulation of the Finite Element Method (FEM) depends on the weight function chosen for the weighted residual scheme. In the present study, the weight function is defined as

$$w_j = \frac{\partial R}{\partial_{a_{j+2k-2}}}$$

and therefore the method becomes the least square finite element method. Then after some basic mathematical operations, one obtains

$$\int_0^1 \left[\frac{d^2U}{dx^2} + U - sinx\right] \frac{\partial R}{\partial_{a_{j+2k-2}}} dx = 0.$$

In the preceding equation, the exact solution is replaced by a numerical approximation formulated in terms of cubic Hermite basis functions for j = 1,.,,4, taking the following form: $U_M(x) = \sum_{j=1}^{4} a_{j+2k-2} H_j$.
Is going to be utilized. In a more explicit way, the approximation itself, its first order and second derivative are given as

$$U_M(x) = a_{2k-1}H_1 + a_{2k}H_2 + a_{2k+1}H_3 + a_{2k+2}H_4$$
$$hU_M{}'(x) = a_{2k-1}A_1 + a_{2k}A_2 + a_{2k+1}A_3 + a_{2k+2}A_4$$
$$h^2U_M{}''(x) = a_{2k-1}B_1 + a_{2k}B_2 + a_{2k+1}B_3 + a_{2k+2}B_4$$

For a more comprehensive exposition of cubic Hermite basis functions, interested readers are referred to Ganaie and Kukreja (2014) and Kutluay et al. (2022). When those approximations are placed in their corresponding exact terms, one obtains the following system of equations

$$\int_0^1 \left[\frac{a_{2k-1}B_1 + a_{2k}B_2 + a_{2k+1}B_3 + a_{2k+2}B_4}{h^2} + a_{2k-1}H_1 + a_{2k}H_2 + a_{2k+1}H_3 + a_{2k+2}H_4\right]\left(\frac{B_c}{h^2} + H_c\right) dx = \int_0^1 \left(\frac{B_c}{h^2} + H_c\right) x^2 dx$$

In this context, the index c $\in\{1, 2, 3, 4\}$ represents the cubic Hermite basis functions supported within the given interval.
Following algebraic simplification and the application of the prescribed homogeneous boundary conditions, the formulation yields a solvable system of algebraic equations. In accordance with standard finite element discretization principles, the continuous differential equation is thus reduced to an equivalent algebraic problem. To evaluate the model, the computational algorithm for this algebraic system was implemented in a symbolic programming environment. Numerical simulations were conducted across various grid refinements characterized by the partition parameter M. The resulting numerical solutions for selected values of M are summarized in the tables below.

Table 1. L_2 and L_∞ error norms of the approximate solutions U_M computed across various spatial grid partitions M.

M	L_2	L_∞
4	4.9477e-05	4.4531e-05
8	3.1245e-06	2.8145e-06
16	1.9641e-07	1.7637e-07
32	1.2321e-08	1.1031e-08
64	7.3603e-10	6.5906e-10

As presented in Table 1, evaluating the L_2 and L_∞ error norms across increasing partition numbers M demonstrates a clear spatial convergence trend up to a critical threshold. Specifically, the numerical errors decrease monotonically as the spatial partition increases up to a specific point, confirming the theoretical consistency of the method. Beyond a specific point, however, further grid refinement results in a noticeable degradation of accuracy, with error norms eventually exceeding those recorded at coarser resolutions (e.g., M = 4). This loss of precision is primarily driven by the accumulation of floating-point round-off errors inherent in high-resolution computer arithmetic, coupled with method-dependent truncation errors.

Table 2. L_2 and L_∞ error norms of the numerical approximation U_M across selected spatial grid partition parameters M.

M	L_2	L_∞
10	1.2814e-06	1.1543e-06
20	8.0656e-08	7.2262e-08
40	5.0415e-09	4.5162e-09
50	2.0659e-09	1.8496e-09
100	1.6309e-11	1.2521e-11

Similarly, the average L_2 and maximum L_∞ error norms were evaluated across varying partition numbers M to assess numerical behavior under spatial grid refinement. As illustrated in Table 2, reducing the spatial step size (i.e., increasing M) initially yields a consistent decrease in both error metrics. However, consistent with the trends reported in Table 1, further refinement beyond a critical partition threshold fails to improve accuracy, as accumulated floating-point round-off errors gradually degrade the solution quality.

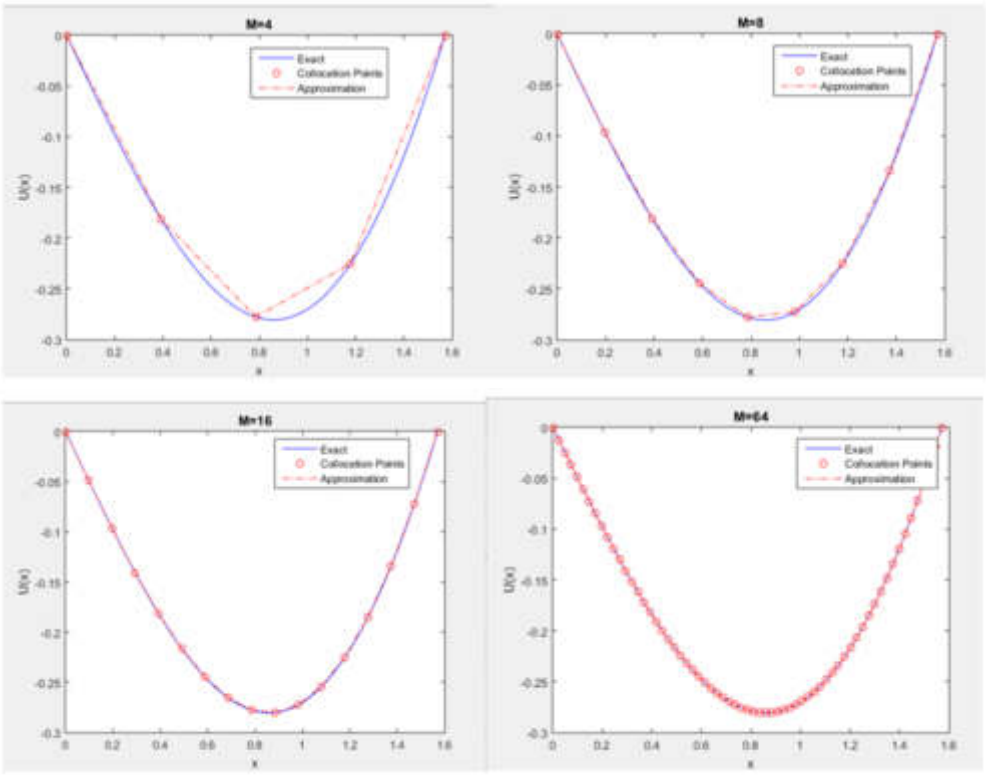


Figure 3. Graphical comparison between computed numerical approximations and exact analytical solutions across different spatial grid partition parameters M.

Figure 3 illustrates a comparative visualization of the computed numerical and exact analytical solutions across four subplots corresponding to different spatial partition parameters M. As demonstrated across these subfigures, the numerical approximations exhibit near-perfect agreement with the analytical profiles, rendering the curves virtually indistinguishable. This close correspondence highlights the exceptional accuracy and computational robustness of the proposed finite element scheme. This figure illustrates the progressive spatial convergence of the numerical approximation toward the exact analytical solution for M = 4, 8, and 16. As the spatial mesh is systematically refined, the discrepancy between the computed and exact profiles diminishes continuously. At a resolution of M = 64, the approximate solution achieves near-perfect alignment with the analytical solution, rendering the two curves visually indistinguishable.

CONCLUSION

In this study, a robust, fully discretized linear numerical scheme based on the Least Squares Finite Element Method (LSFEM) with cubic Hermite basis functions was developed and successfully applied to a benchmark ordinary differential equation subject to homogeneous boundary conditions. To rigorously assess the accuracy and stability of the proposed approach, numerical simulations were conducted on a test problem with a known analytical solution, evaluating performance via the L_2 and L_∞ error norms. The resulting error metrics demonstrate strong spatial convergence and numerical stability under mesh refinement. Consequently, the present methodology provides an efficient framework for solving a wide array of differential equations arising in applied sciences and engineering. Future research will focus on extending this scheme to higher-order, partial, and fractional differential equations, as well as multi-dimensional domains with uniform and non-uniform discretization.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is supported by Inonu University Scientific Research Project with project number FYL-2026-4682.

REFERENCES

Amat S., Li Z., Alvarez J.R., Solano C., Trillo J.C. (2023) Adapting Cubic Hermite Splines to the Presence of Singularities Through Correction Terms, Journal of Scientific Computing, https://doi.org/10.1007/s10915-023-02191-9

Ayebire A.M., Kaur I., Alemar D.A., Manshahia M.S., Arora S., (2024) A robust technique of cubic Hermite splines to study the non-linear reaction-diffusion equation with variable coefficients, AIMS Mathematics, 9(4) 8192–8213.

Clough, R. (1960). The Finite Element Method in Plane Stress Analysis, Proceedings of American Society of Civil Engineers, 2nd Conference on Electronic Computation, Pittsburgh, PA,Sept., 23, 345–378.

Ganaie I.A., Kukreja V.K. (2014). Numerical solution of Burgers' equation by cubic Hermite collocation method, Applied Mathematics and Computation 237 571–581. http://dx.doi.org/10.1016/j.amc.2014.03.102

Ganaie I.A., Arora S., Kukreja V.K. (2016). Cubic Hermite collocation solution of Kuramoto–Sivashinsky equation 93:1, 223-235 DOI: 10.1080/00207160.2014.999052

Kumar H. (2024) Numerical Study of Differential Equations Via Cubic Hermite Collocation Technique, NATURALISTA CAMPANO, 28(1)

Kutluay, S., Esen A., Dag I. (2004). Numerical solutions of the Burgers' equation by the least-squares quadratic B-spline finite element method, Journal of Computational and Applied Mathematics 167 21–33.

Kutluay S., Yağmurlu N.M., Karakaş A.S. (2022) An Effective Numerical Approach Based on Cubic Hermite B-spline Collocation Method for Solving the 1D Heat Conduction Equation, 10(4), 20-31. http://dx.doi.org/10.20852/ntmsci.2022.485

Reddy, J.N. (1993). An introduction to the finite element method, McGraw-Hill, New York.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

QUALITY IMPROVEMENT IN THE TRANSFORMATION OF NEUTROSOPHIC GRAY IMAGE AND TRANSFER OF COLOR IMAGE INTO NEUTROSOPHIC PLANE

Hasan Suay TANIN
Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics
ORCID: 0009-0006-1330-5577

Davut KESEN
Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics
ORCID: 0000-0002-2096-462X

Prof. Dr. Memet ŞAHİN
Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics
ORCID: 0000-0002-1066-1641

ABSTRACT
Transferring images from the spatial domain into the neutrosophic domain is an advanced image-processing operation. This study aims to show that the T, I and F components of an image transferred to the neutrosophic domain are not pure: each contains the others in certain proportions. Based on this idea, the truth-set formula was modified, visibly improving the quality of grayscale images in the neutrosophic domain, and the knowledge obtained was used to transfer color images channel by channel. The idea that the components are not pure also offers a form of expression for applying neutrosophy to social phenomena and is believed to make the concept of consciousness easier to explain in artificial intelligence.
Keywords: Neutrosophic set, neutrosophic image, image enhancement, color image, image transformation.

NÖTROSOFİK GRİ GÖRÜNTÜ DÖNÜŞÜMÜNDE KALİTE İYİLEŞTİRME VE RENKLİ GÖRÜNTÜNÜN NÖTROSOFİK DÜZLEME AKTARIMI

ÖZET
Görüntülerin uzamsal alandan nötrosofik alana aktarılması ileri düzey bir görüntü işleme işlemidir. Bu çalışma, nötrosofik alana aktarılan bir görüntünün T, I ve F bileşenlerinin saf olmadığını, her bileşenin belirli oranlarda diğerlerini de içerdiğini göstermeyi amaçlamaktadır. Bu fikirden hareketle doğruluk kümesi formülü değiştirilmiş, gri tonlamalı görüntülerin nötrosofik alandaki kalitesinde gözle görülür bir iyileşme sağlanmış ve elde edilen bilgiler renkli görüntülerin kanal bazında aktarılmasında kullanılmıştır. Bileşenlerin saf olmadığı fikri, nötrosofinin sosyal olaylara uygulanması için bir ifade biçimi sunmakta ve bilinç kavramının yapay zekâ bağlamında daha kolay açıklanmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.
Anahtar kelimeler: Nötrosofik küme, nötrosofik görüntü, görüntü iyileştirme, renkli görüntü, görüntü dönüşümü.

1. INTRODUCTION
The logic generally attributed to Aristotle, who defended the laws of non-contradiction and excluded middle, described reality in only two states, true and false, and asserted the impossibility of a third state; this view long remained orthodox in Western thought [1].

Later thinkers in the dialectical tradition, such as Hegel and his successors Marx and Engels, held that reality itself may be contradictory and thus questioned this strictly two-valued view [1], but it was Łukasiewicz who first offered a systematic alternative to Aristotle's bivalent logic. In 1920, Łukasiewicz introduced a third truth value, "possible" [2], and later, together with Tarski, studied many-valued logics with any finite or even infinite number of truth values between "true" and "false" [3]. Although Łukasiewicz and the mathematicians who followed him expressed these values numerically, infinite-valued logic remained largely unsuccessful in practice until 1965, when Lotfi A. Zadeh, in his seminal paper "Fuzzy sets" [4], expressed degrees of membership as numbers in the interval [0,1].

Definition 1.1 [4]. Let X be a non-empty set. A set $A = \{(x, \mu_A(x)) : x \in X\}$, characterized by a membership function $\mu_A : X \to [0,1]$ that assigns to each element x its degree of membership $\mu_A(x)$, is called a *fuzzy set* in X.

Over time, owing to the limitations of Zadeh's fuzzy set concept, Atanassov introduced the intuitionistic fuzzy set in 1986, extending Zadeh's fuzzy sets by a degree of non-membership and a degree of hesitation [5].

Definition 1.2 [5]. Let X be a non-empty set. A set $A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) : x \in X\}$, where the functions $\mu_A, \nu_A : X \to [0,1]$ give the degree of membership and the degree of non-membership of each element x and satisfy $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$ for every $x \in X$, is called an *intuitionistic fuzzy set* in X; the number $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$ is called the *hesitation degree* of x, so that the three degrees add up to 1.

Neutrosophy was introduced by Florentin Smarandache as a new branch of philosophy, according to which the world can be described in terms of truths, indeterminacies and falsehoods; it was first presented in book form in 1998 [6]. According to this idea, every proposition has three independent components, each with its own degree of membership: truth (T), indeterminacy (I) and falsity (F); each of these can take any value in the non-standard unit interval $]^{-}0, 1^{+}[$, that is, a value between slightly less than 0 and slightly more than 1 [7].

Definition 1.3 [6]. Let X be a non-empty set. A set $A = \{(x, T_A(x), I_A(x), F_A(x)) : x \in X\}$, where $T_A, I_A, F_A : X \to]^{-}0, 1^{+}[$ are the truth-, indeterminacy- and falsity-membership functions, which are independent of each other and satisfy $^{-}0 \leq \sup T_A(x) + \sup I_A(x) + \sup F_A(x) \leq 3^{+}$, is called a *neutrosophic set* in X.

1.1 Image Processing

Image processing is the processing of data for a predetermined purpose, where the input is an image, a set of images or a video; its output can be an image or a set of features or parameters related to the image. In a broader sense, image processing refers to the analysis and manipulation of images by a computer, for example for face recognition [8].

The fundamental concept in images is the pixel (picture element), an information-carrying element. Pixels are stored in image files as matrices; image processing can therefore be thought of as processing matrices whose elements are pixels. In 8-bit grayscale images, each element of the matrix represents a shade of gray between black and white, with values ranging from 0 to 255, where 0 is black and 255 is white. In color images, each element of the matrix represents shades of red, green and blue, and a color is created by combining these three values in specific proportions [8].

1.2 Neutrosophic Image

Definition 1.4 [9]. A pixel P of an image is represented in the neutrosophic domain as $P(T, I, F)$, meaning that the pixel is T% true, I% indeterminate and F% false. Transforming each pixel value $g(i,j)$ of an image in the spatial (Cartesian) domain into the neutrosophic pixel $P_{NS}(i,j) = \{T(i,j), I(i,j), F(i,j)\}$ yields the *neutrosophic image*, whose components T, I and F form three separate images, called the truth, indeterminacy and falsity images.

1.3 Transforming a Grayscale Image from the Spatial Domain into the Neutrosophic Domain

A grayscale image in the spatial domain is converted into the neutrosophic domain pixel by pixel, which yields three image files.

Definition 1.5 [9]. For a grayscale image with intensity values $g(i,j)$ and a window of size w, the membership values of the neutrosophic image are defined as

$$T(i,j) = \frac{\overline{g}(i,j) - \overline{g}_{\min}}{\overline{g}_{\max} - \overline{g}_{\min}} \tag{1}$$

$$\overline{g}(i,j) = \frac{1}{w \times w} \sum_{m=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{n=j-w/2}^{j+w/2} g\,(m,n) \tag{2}$$

$$I(i,j) = \frac{\delta(i,j) - \delta_{\min}}{\delta_{\max} - \delta_{\min}} \tag{3}$$

$$\delta(i,j) = |g(i,j) - \overline{g}(i,j)| \tag{4}$$

$$F(i,j) = 1 - T(i,j) \tag{5}$$

where $\overline{g}(i,j)$ is the local mean of the intensity over the window and $\delta(i,j)$ is the absolute difference between the intensity $g(i,j)$ and its local mean $\overline{g}(i,j)$; the same formulas are used in [10].

1.4 Improving the Quality of the Transformation

When an image is transformed from the spatial domain into the neutrosophic domain, the values of the truth set do not appear to be fully consistent. Therefore, in this study, the image quality was improved by working on the truth-set values. The results obtained were first applied to grayscale images and then to color images, and the experimental results are presented below. In the transformation, the window size w used in Eq. (2) was increased to 4, and the truth-set formula of Eq. (1) was modified. This modification aims to reduce the influence of the indeterminacy and falsity values on the truth set. The truth set proposed in this study is defined as

$$T_{\text{new}}(i,j) = 2\,T(i,j) - 1.55\,I(i,j) - 0.03\,F(i,j) \tag{6}$$

and the changes were implemented in the MATLAB software given in Appendix 1.

1.5 Experimental Results

Figures 1–4 show, for four grayscale test images, the original image, the truth set obtained by the classical transformation of Definition 1.5 and the truth set obtained by the proposed method of Eq. (6).



Figure 1. Grayscale test image 1: (a) original image in the spatial domain, (b) truth set obtained by the classical transformation and (c) truth set obtained by the proposed method.

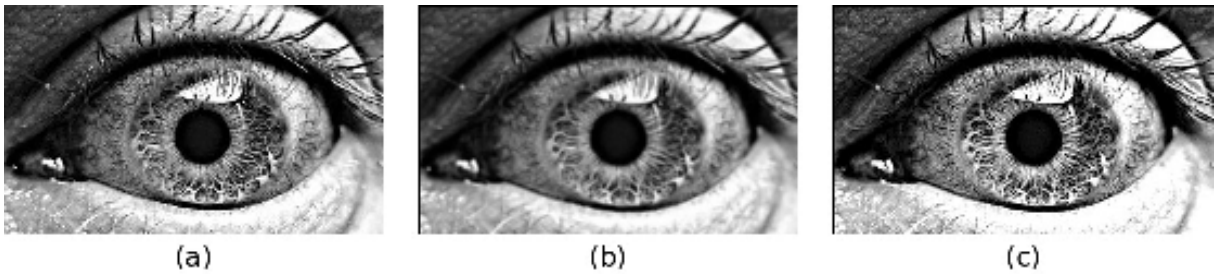


Figure 2. Grayscale test image 2: (a) original image in the spatial domain, (b) truth set obtained by the classical transformation and (c) truth set obtained by the proposed method.



Figure 3. Grayscale test image 3: (a) original image in the spatial domain, (b) truth set obtained by the classical transformation and (c) truth set obtained by the proposed method.



Figure 4. Grayscale test image 4: (a) original image in the spatial domain, (b) truth set obtained by the classical transformation and (c) truth set obtained by the proposed method.

2. APPLICATION OF THE OBTAINED INFORMATION TO THE TRANSFORMATION OF COLOR IMAGES FROM THE SPATIAL DOMAIN INTO THE NEUTROSOPHIC DOMAIN

In grayscale image files, the image information is expressed as a pixel matrix of single numbers representing gray levels, where 0 is black and 255 is white. In color images, each element $m(i,j)$ of the matrix carries three different values, called RGB (red–green–blue). The value of each component ranges from 0 to 255, with 0 representing the darkest and 255 the lightest shade of the respective color; other colors are obtained from specific combinations of these three values [8].

Therefore, when a color image is converted from the spatial domain into the neutrosophic domain, the operation performed on each pixel of a grayscale image is carried out separately for each color channel.

After the transformation, the image information expressed in the spatial domain by the (red, green, blue) values of a pixel is expressed in the neutrosophic domain by three subsets, T(red, green, blue), I(red, green, blue) and F(red, green, blue). A neutrosophic pixel of the image is thus defined as $P_{NS}(i,j) = \{P_{\text{red}}(T,I,F), P_{\text{green}}(T,I,F), P_{\text{blue}}(T,I,F)\}$ and is stored in the element $m(i,j)$ of the matrix. For each channel, the truth set is computed with Eq. (6); in the implementation for color images (Appendix 2), the coefficients 1.57 and 0.032 are used instead of 1.55 and 0.03, with the window size $w = 4$.

2.1 Applications of Color Image Transformation from the Spatial Domain into the Neutrosophic Domain

Color images were transferred from the spatial domain into the neutrosophic domain using software developed with the knowledge and experience gained from the transformation of grayscale images (Appendix 2). Figures 5–8 show, for four color test images, the original image in the spatial domain and the resulting image in the neutrosophic domain, together with the indeterminacy and false images.



Figure 5. Color test image 1: (a) original image in the spatial domain, (b) image in the neutrosophic domain obtained with the proposed truth set, (c) indeterminacy image and (d) false image.

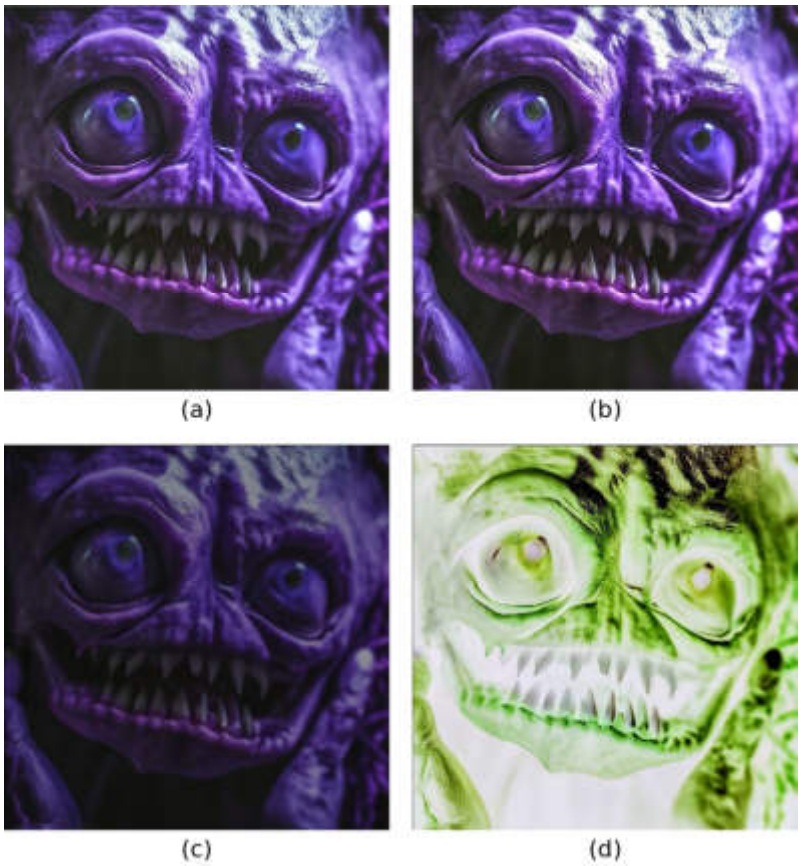


Figure 6. Color test image 2: (a) original image in the spatial domain, (b) image in the neutrosophic domain obtained with the proposed truth set, (c) indeterminacy image and (d) false image.

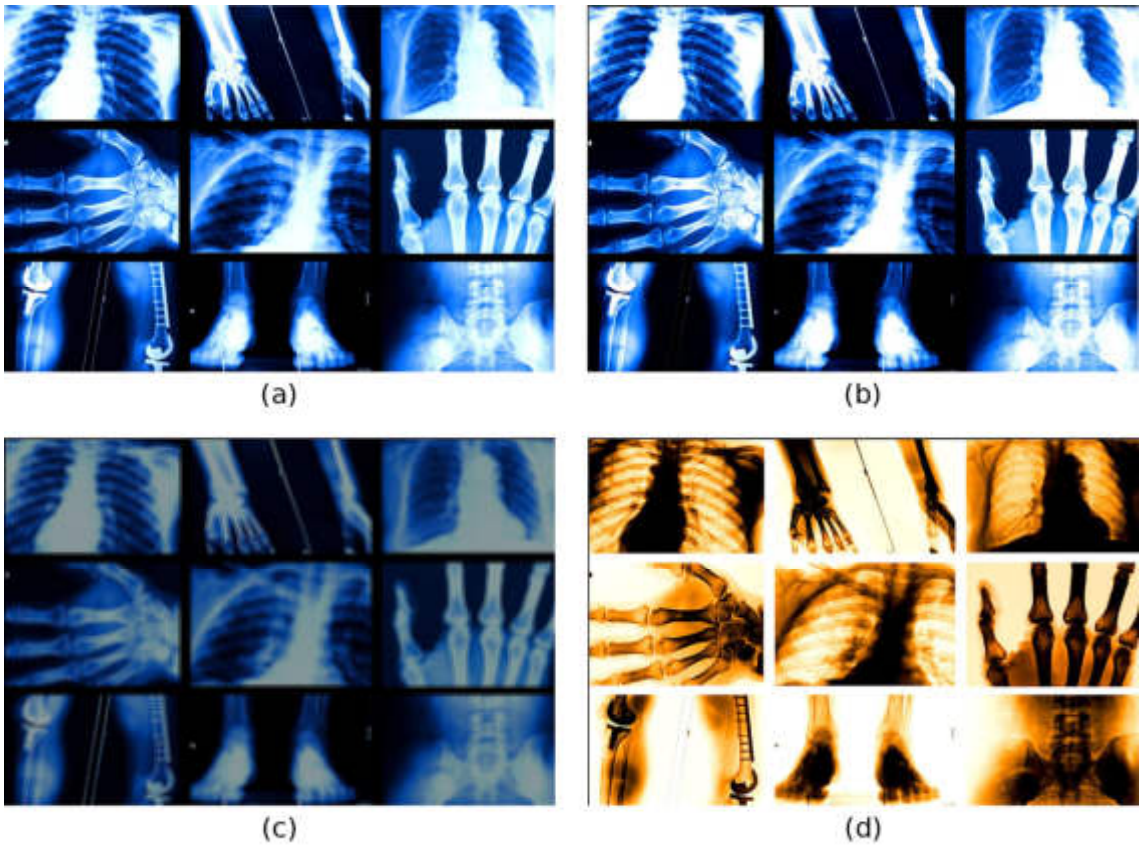


Figure 7. Color test image 3: (a) original image in the spatial domain, (b) image in the neutrosophic domain obtained with the proposed truth set, (c) indeterminacy image and (d) false image.

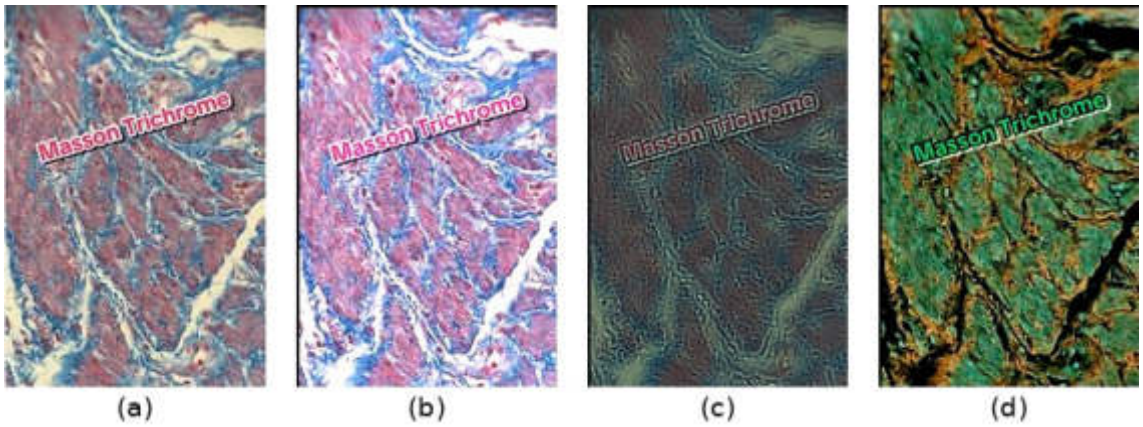


Figure 8. Color test image 4: (a) original image in the spatial domain, (b) image in the neutrosophic domain obtained with the proposed truth set, (c) indeterminacy image and (d) false image.

3. CONCLUSION

It is crucial to apply developments in the basic sciences to technology. Today, image transformation is a very important and highly developed field, and it is important to adapt developments in neutrosophy to technology.

The results of this study indicate that treating the T, I and F components as not pure, i.e. allowing each component to contain the others in certain proportions, visibly improves the quality of the truth image obtained in the neutrosophic domain, and that the same approach can be applied channel by channel to color images. Establishing a usable, high-quality image representation within neutrosophy paves the way for applying these developments to technology.

REFERENCES

[1] Priest, G. (2004). Dialetheism. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2004 ed.). https://plato.stanford.edu/archives/sum2004/entries/dialetheism/

[2] Łukasiewicz, J. (1920). O logice trójwartościowej [On three-valued logic]. *Ruch Filozoficzny, 5*, 170–171.

[3] Łukasiewicz, J., & Tarski, A. (1930). Untersuchungen über den Aussagenkalkül [Investigations into the sentential calculus]. *Comptes Rendus des Séances de la Société des Sciences et des Lettres de Varsovie, Classe III, 23*, 30–50.

[4] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control, 8*(3), 338–353. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X

[5] Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems, 20*(1), 87–96. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3

[6] Smarandache, F. (1998). *Neutrosophy: Neutrosophic probability, set, and logic*. American Research Press.

[7] Smarandache, F. (2002). An introduction to neutrosophy, neutrosophic logic, neutrosophic set, and neutrosophic probability and statistics. In F. Smarandache (Ed.), *Proceedings of the First International Conference on Neutrosophy, Neutrosophic Logic, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability and Statistics* (University of New Mexico, Gallup, 1–3 December 2001). Xiquan. https://doi.org/10.48550/arXiv.math/0306384

[8] Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital image processing* (4th ed.). Pearson.

[9] Guo, Y., & Cheng, H. D. (2009). New neutrosophic approach to image segmentation. *Pattern Recognition, 42*(5), 587–595. https://doi.org/10.1016/j.patcog.2008.10.002

[10] Newiser, S., El Ghawalby, H., & Salama, A. A. (2015). *From image to neutrosophic image*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/323538168

APPENDIX 1. MATLAB CODE FOR THE TRANSFORMATION OF A GRAYSCALE IMAGE FROM THE SPATIAL DOMAIN INTO THE NEUTROSOPHIC DOMAIN

```
close all; clear all; clc;
spatialImage = imread('input_gray_image.jpg');
g = rgb2gray(spatialImage);
imshow(spatialImage);
title('Original image in SPATIAL DOMAIN');
g = double(g);
w = 4;
for i = 3:size(g,1) - 2
    for j = 3:size(g,2) - 2
        s = 0;
        for m = i-round(w/2):i+round(w/2)
            for n = j-round(w/2):j+round(w/2)
                s = s + g(m,n);
            end % n
        end % m
        g1(i,j) = s / (w * w);
        segma(i,j) = abs(g(i,j) - g1(i,j));
    end % j
end % i
g1min = min(min(g1));
g1max = max(max(g1));
segmamin = min(min(segma));
segmamax = max(max(segma));
for i = 3:size(g,1) - 2
    for j = 3:size(g,2) - 2
        T(i,j) = ((g1(i,j) - g1min)./(g1max - g1min));
        I(i,j) = ((segma(i,j) - segmamin)./(segmamax - segmamin));
        F(i,j) = 1 - T(i,j);
        G(i,j) = T(i,j) + T(i,j) - 1.55*I(i,j) - 0.03*F(i,j);
        E(i,j) = F(i,j) + I(i,j);
    end % j
end % i
figure, imshow(T), title('PREVIOUS NEUTROSOPHIC DOMAIN');
figure, imshow(I), title('INDETERMINACY DOMAIN');
figure, imshow(F), title('FALSE DOMAIN');
figure, imshow(G), title('PROPOSED NEUTROSOPHIC DOMAIN');
```

APPENDIX 2. MATLAB CODE FOR THE TRANSFORMATION OF A COLOR IMAGE FROM THE SPATIAL DOMAIN INTO THE NEUTROSOPHIC DOMAIN

```
close all; clear all; clc;
spatialImage = imread('input_color_image.jpg');
imshow(spatialImage);
title('ORIGINAL IMAGE IN SPATIAL DOMAIN');
g = double(spatialImage);
matris_x = size(g,1);
matris_y = size(g,2);
w = 4;
%%%% Processing the R, G and B components
for i = 3:matris_x - 2
   for j = 3:matris_y - 2
      sR = 0;
      sG = 0;
      sB = 0;
      for m = i-round(w/2):i+round(w/2)
         for n = j-round(w/2):j+round(w/2)
            sR = sR + g(m,n,1);
            sG = sG + g(m,n,2);
            sB = sB + g(m,n,3);
         end % n
      end % m
      g1R(i,j) = sR / (w * w);
      segmaR(i,j) = abs(g(i,j,1) - g1R(i,j));
      g1G(i,j) = sG / (w * w);
      segmaG(i,j) = abs(g(i,j,2) - g1G(i,j));
      g1B(i,j) = sB / (w * w);
      segmaB(i,j) = abs(g(i,j,3) - g1B(i,j));
   end % j
end % i
g1minR = min(min(g1R));
g1maxR = max(max(g1R));
segmaminR = min(min(segmaR));
segmamaxR = max(max(segmaR));
g1minG = min(min(g1G));
g1maxG = max(max(g1G));
segmaminG = min(min(segmaG));
segmamaxG = max(max(segmaG));
g1minB = min(min(g1B));
g1maxB = max(max(g1B));
segmaminB = min(min(segmaB));
segmamaxB = max(max(segmaB));
for i = 3:matris_x - 2
   for j = 3:matris_y - 2
      TR(i,j) = ((g1R(i,j) - g1minR)./(g1maxR - g1minR));
      TG(i,j) = ((g1G(i,j) - g1minG)./(g1maxG - g1minG));
      TB(i,j) = ((g1B(i,j) - g1minB)./(g1maxB - g1minB));
```

```
        IR(i,j) = ((segmaR(i,j) - segmaminR)./(segmamaxR - segmaminR));
        IG(i,j) = ((segmaG(i,j) - segmaminG)./(segmamaxG - segmaminG));
        IB(i,j) = ((segmaB(i,j) - segmaminB)./(segmamaxB - segmaminB));
        TNeut(i,j,1) = TR(i,j);
        TNeut(i,j,2) = TG(i,j);
        TNeut(i,j,3) = TB(i,j);
        INeut(i,j,1) = IR(i,j);
        INeut(i,j,2) = IG(i,j);
        INeut(i,j,3) = IB(i,j);
        FSON(i,j,1) = 1 - TNeut(i,j,1);
        FSON(i,j,2) = 1 - TNeut(i,j,2);
        FSON(i,j,3) = 1 - TNeut(i,j,3);
        SON(i,j,1) = TNeut(i,j,1) + TNeut(i,j,1) ...
           - 1.57*INeut(i,j,1) - 0.032*FSON(i,j,1);
        SON(i,j,2) = TNeut(i,j,2) + TNeut(i,j,2) ...
           - 1.57*INeut(i,j,2) - 0.032*FSON(i,j,2);
        SON(i,j,3) = TNeut(i,j,3) + TNeut(i,j,3) ...
           - 1.57*INeut(i,j,3) - 0.032*FSON(i,j,3);
        FSON(i,j,1) = 1 - SON(i,j,1);
        FSON(i,j,2) = 1 - SON(i,j,2);
        FSON(i,j,3) = 1 - SON(i,j,3);
    end % j
end % i
figure, imshow(INeut), title('INDETERMINACY IMAGE IN NEUTROSOPHIC
DOMAIN');
figure, imshow(FSON), title('FALSE IMAGE IN NEUTROSOPHIC DOMAIN');
figure, imshow(SON), title('IMAGE IN NEUTROSOPHIC DOMAIN');
```

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

HILBERT SPACES: A FRAMEWORK FROM THE FOUNDATIONS OF FUNCTIONAL ANALYSIS TO QUANTUM COMPUTING APPLICATIONS

Hasan Suay TANIN
Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics
ORCID: 0009-0006-1330-5577

Davut KESEN
Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics
ORCID: 0000-0002-2096-462X

Prof. Dr. Memet ŞAHİN
Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics
ORCID: 0000-0002-1066-1641

ABSTRACT
This paper constructs the Hilbert space systematically from the vector space axioms through the inner product, norm and completeness, and examines its counterpart in quantum mechanics and quantum computing. The projection, Riesz representation and spectral theorems are presented as the mathematical basis of measurement and observables, while tensor products, the Schmidt decomposition and the Bell states describe multi-qubit systems and entanglement. The correspondence between the Dirac–von Neumann postulates and the Hilbert space formalism is shown and verified numerically with Qiskit 2.x. The quantum circuit model thus emerges as a direct realization of linear algebra on a finite-dimensional Hilbert space.
Keywords: Hilbert space, functional analysis, inner product spaces, spectral theory, quantum computing, Qiskit.

HİLBERT UZAYLARI: FONKSİYONEL ANALİZ TEMELLERİNDEN KUANTUM HESAPLAMA UYGULAMALARINA BİR ÇERÇEVE

ÖZET
Bu bildiride Hilbert uzayı, vektör uzayı aksiyomlarından başlanarak iç çarpım, norm ve tamlık kavramları ve kuantum mekaniği ile kuantum hesaplamadaki karşılığı incelenmektedir. Projeksiyon, Riesz temsil ve spektral teoremleri ölçümün ve gözlemlenebilirlerin matematiksel temeli olarak sunulmakta; tensör çarpımları, Schmidt ayrışımı ve Bell durumlarıyla çok kübitli sistemler ve dolanıklık ele alınmaktadır. Dirac-von Neumann postülatları ile Hilbert uzayı formalizmi arasındaki örtüşme gösterilmekte ve Qiskit 2.x ile sayısal olarak doğrulanmaktadır. Böylece kuantum devre modeli, sonlu boyutlu bir Hilbert uzayındaki doğrusal cebirin doğrudan bir gerçekleşmesi olarak ortaya çıkmaktadır.
Anahtar kelimeler: Hilbert uzayı, fonksiyonel analiz, iç çarpım uzayları, spektral teori, kuantum hesaplama, Qiskit.

1. INTRODUCTION
Hilbert spaces, shaped in the early twentieth century by the work of mathematicians such as David Hilbert, John von Neumann, Erhard Schmidt and Frigyes Riesz, are among the central concepts of functional analysis [1, 2]. A Hilbert space is a vector space endowed with an inner product that is complete with respect to the metric induced by this inner product (Definition 2.4) [3, 4].

The combination of linear structure, inner product and completeness makes it possible to carry the geometric intuition of finite-dimensional Euclidean spaces (length, angle, orthogonality and projection) over to infinite-dimensional spaces.

The aim of this paper is to present the theory of Hilbert spaces concisely, starting from the basic axioms and proceeding to bounded operators, spectral theory and tensor products, and then to show the counterpart of this mathematical structure in quantum mechanics and quantum computing within a framework that can be verified with the current Qiskit (2.x) release. The study proceeds in four layers: (i) algebraic and topological foundations, (ii) the geometric structure of the Hilbert space, (iii) operator theory and (iv) the Hilbert space in quantum information processing.

A particularly noteworthy aspect of this framework is that none of the abstract concepts of functional analysis is relaxed or intuitively simplified when it is used in the context of quantum computing: the state of a qubit is, in the full sense, a vector of a Hilbert space; a quantum gate is, in the full sense, a unitary operator; and a measurement is, in the full sense, a spectral decomposition [5]. This one-to-one correspondence allows theoretical physics and numerical verification (with tools such as Qiskit) to share the same mathematical language and provides a common ground for interdisciplinary research.

2. ALGEBRAIC AND GEOMETRIC FOUNDATIONS OF THE HILBERT SPACE

2.1 Vector Space and Inner Product Axioms

Definition 2.1 [6]. Let $\mathbb{F}$ be a field ($\mathbb{F} = \mathbb{R}$ or $\mathbb{F} = \mathbb{C}$), and let V be a non-empty set equipped with an addition $+: V \times V \to V$ and a scalar multiplication $\cdot: \mathbb{F} \times V \to V$. The set V is called a *vector space* over $\mathbb{F}$ if the following axioms hold for all $u, v, w \in V$ and all $\alpha, \beta \in \mathbb{F}$:

(V1) $u + v = v + u$, that is, addition is commutative.

(V2) $(u + v) + w = u + (v + w)$, that is, addition is associative.

(V3) There exists an additive identity $0 \in V$ such that $v + 0 = v$ for every $v \in V$.

(V4) For every $v \in V$ there exists an additive inverse $-v \in V$ such that $v + (-v) = 0$.

(V5) $\alpha(\beta v) = (\alpha\beta)v$, that is, scalar multiplication is compatible with multiplication in $\mathbb{F}$.

(V6) $1v = v$, where 1 is the multiplicative identity of $\mathbb{F}$.

(V7) $\alpha(u + v) = \alpha u + \alpha v$, that is, scalar multiplication distributes over vector addition.

(V8) $(\alpha + \beta)v = \alpha v + \beta v$, that is, scalar multiplication distributes over scalar addition.

Since the natural language of quantum computing is that of complex vector spaces, the scalar field is taken to be $\mathbb{F} = \mathbb{C}$ throughout this paper [5].

Definition 2.2 [5]. Let V be a complex vector space. A map $\langle \cdot, \cdot \rangle: V \times V \to \mathbb{C}$ is called an *inner product* on V, and the pair $(V, \langle \cdot, \cdot \rangle)$ is called an *inner product space*, if the following axioms hold for all $u, v, w \in V$ and all $\alpha, \beta \in \mathbb{C}$:

(IP1) $\langle v, v \rangle \geq 0$, and $\langle v, v \rangle = 0$ if and only if $v = 0$, that is, the inner product is positive definite.

(IP2) $\langle u, \alpha v + \beta w \rangle = \alpha \langle u, v \rangle + \beta \langle u, w \rangle$, that is, the inner product is linear in its second argument.

(IP3) $\langle u, v \rangle = \overline{\langle v, u \rangle}$, that is, the inner product is conjugate symmetric (Hermitian).

Axioms (IP2) and (IP3) together imply conjugate linearity in the first argument, $\langle \alpha u + \beta v, w \rangle = \overline{\alpha} \langle u, w \rangle + \overline{\beta} \langle v, w \rangle$. Linearity in the second argument is the convention of quantum mechanics and of the Dirac notation [5, 7]; in the mathematical literature, linearity in the first argument is also common, and the two conventions differ only by interchanging the arguments [3].

Definition 2.3 [3]. Let V be a complex vector space. A map $\|\cdot\|: V \to \mathbb{R}$ is called a *norm* on V, and $(V, \|\cdot\|)$ is called a *normed space*, if the following axioms hold for all $u, v \in V$ and all $\alpha \in \mathbb{C}$:
(N1) $\|v\| \geq 0$, and $\|v\| = 0$ if and only if $v = 0$.
(N2) $\|\alpha v\| = |\alpha|\|v\|$, that is, the norm is absolutely homogeneous.
(N3) $\|u + v\| \leq \|u\| + \|v\|$, that is, the norm satisfies the triangle inequality.
Theorem 2.1 [3]. Let V be an inner product space and let $\|v\| = \sqrt{\langle v, v\rangle}$ for $v \in V$. Then the Cauchy–Schwarz inequality $|\langle u, v\rangle| \leq \|u\|\|v\|$ holds for all $u, v \in V$, with equality if and only if u and v are linearly dependent. Consequently, $\|\cdot\|$ satisfies (N1)–(N3); it is called the *norm induced by the inner product*, and $d(u, v) = \|u - v\|$ defines a metric on V.

2.2 Completeness and Basic Examples of Hilbert Spaces

Definition 2.4 [3]. A sequence (v_k) in a normed space V is called a *Cauchy sequence* if for every $\varepsilon > 0$ there exists N such that $\|v_k - v_m\| < \varepsilon$ for all $k, m \geq N$. A normed space in which every Cauchy sequence converges to an element of the space is called *complete*; a complete normed space is called a *Banach space*, and an inner product space that is complete with respect to the norm induced by its inner product is called a *Hilbert space*.
Every Hilbert space is therefore a Banach space, but the converse is not true in general [3]. The basic reference examples in quantum computing are the finite-dimensional space $\mathbb{C}^n$, the space ℓ^2 of square-summable sequences, the space L^2 of square-integrable functions [4] and, in particular, the n-qubit state space $\mathbb{C}^{2^n}$ [5]. Being finite-dimensional, this last example is both the simplest mathematically and the direct working space of the quantum circuit model. The computational basis of an n-qubit system, $\{|0\cdots0\rangle, |0\cdots01\rangle, \ldots, |1\cdots1\rangle\}$, has 2^n elements and forms the standard orthonormal basis of $\mathbb{C}^{2^n}$ [5]; its direct generation in Qiskit for $n = 2$ is shown in Listing 1.

Listing 1. Construction of the computational basis in Qiskit ($n = 2$ qubits).

```
from qiskit.quantum_info import Statevector
import numpy as np

n = 2
basis_states = []
for i in range(2**n):
    vec = np.zeros(2**n, dtype=complex)
    vec[i] = 1.0
    sv = Statevector(vec)
    basis_states.append(sv)
    print(f"|{i:0{n}b}> =", sv.data)
```

Output:

```
|00> = [1.+0.j 0.+0.j 0.+0.j 0.+0.j]
|01> = [0.+0.j 1.+0.j 0.+0.j 0.+0.j]
|10> = [0.+0.j 0.+0.j 1.+0.j 0.+0.j]
|11> = [0.+0.j 0.+0.j 0.+0.j 1.+0.j]
```

The four vectors obtained form the standard basis of $\mathbb{C}^4$; each has unit norm and they are pairwise orthogonal, so their Gram matrix is equal to the identity matrix. This output is a concrete realization, for $n = 2$ qubits, of the orthonormal basis of Definition 2.5, and it also shows directly the basis with respect to which the Born rule (Postulate 5.3) is defined.

2.3 An Example: Orthogonality in the Space L²

As an illustration of these concepts, consider a classical example: for the functions $f(x) = \sin x$ and $g(x) = \cos x$ in the space $L^2[-\pi, \pi]$, whose inner product is the integral of $\overline{f(x)}\, g(x)$ over $[-\pi, \pi]$ [4], one obtains

$$\langle f, g \rangle = \int_{-\pi}^{\pi} \overline{f(x)}\; g(x)\, dx = \int_{-\pi}^{\pi} \sin x \cos x\, dx = 0,$$

so the two functions are orthogonal to each other. This simple computation is the conceptual ancestor both of the Fourier expansions of Theorem 2.2 and of the orthogonality of the computational basis of the n-qubit space $\mathbb{C}^{2^n}$ described in Section 2.2: in both cases, orthogonality means that the inner product of two objects is zero, i.e. that they have no overlap with each other.

2.4 Orthogonality, Projection and Riesz Representation

Definition 2.5 [3]. A subset $\{e_i\}$ of a Hilbert space $\mathcal{H}$ is called an *orthonormal set* if $\langle e_i, e_j \rangle = \delta_{ij}$ for all i, j, where δ_{ij} is the Kronecker delta; a maximal orthonormal set is called an *orthonormal basis* of $\mathcal{H}$.

Theorem 2.2 [3]. If $\{e_i\}$ is an orthonormal basis of a Hilbert space $\mathcal{H}$, then every $v \in \mathcal{H}$ has the *Fourier expansion* $v = \sum_i \langle e_i, v \rangle e_i$, where the series converges in norm, and Parseval's identity $\|v\|^2 = \sum_i |\langle e_i, v \rangle|^2$ holds.

Such an orthonormal set can be obtained from any linearly independent set by the Gram–Schmidt orthogonalization process [6].

Definition 2.6 [3]. For a subset M of a Hilbert space $\mathcal{H}$, the set $M^{\perp} := \{v \in \mathcal{H} : \langle v, m \rangle = 0 \text{ for all } m \in M\}$ is called the *orthogonal complement* of M.

Theorem 2.3 [3]. The projection theorem states that if M is a closed subspace of a Hilbert space $\mathcal{H}$, then every $v \in \mathcal{H}$ can be written uniquely as $v = m + m^{\perp}$ with $m \in M$ and $m^{\perp} \in M^{\perp}$; moreover, m is the point of M closest to v, that is, $\|v - m\| = \min_{x \in M} \|v - x\|$. The map $P_M : v \mapsto m$ is called the *orthogonal projection* onto M.

This theorem forms the mathematical basis of the quantum measurement process: the projection onto an eigen-subspace of an observable describes, after normalization, the collapse of the post-measurement state onto that subspace [5].

Theorem 2.4 [2]. The Riesz representation theorem states that for every bounded linear functional f on a Hilbert space $\mathcal{H}$ there exists a unique vector $u_f \in \mathcal{H}$ such that $f(v) = \langle u_f, v \rangle$ for all $v \in \mathcal{H}$; moreover, $\|f\| = \|u_f\|$.

This theorem provides the mathematical justification of the bra–ket pairing introduced by Dirac, in which the bra $\langle u|$ denotes the bounded linear functional $v \mapsto \langle u, v \rangle$ [5, 7].

3. BOUNDED OPERATORS AND SPECTRAL THEORY

Definition 3.1 [3]. A linear operator $T : \mathcal{H} \to \mathcal{H}$ on a Hilbert space $\mathcal{H}$ is called *bounded* if its *operator norm* $\|T\| := \sup\{\|Tv\| : \|v\| \leq 1\}$ is finite.

Theorem 3.1 [3]. A linear operator between normed spaces is bounded if and only if it is continuous.

Theorem 3.2 [4]. For every bounded operator T on a Hilbert space $\mathcal{H}$ there exists a unique bounded operator T^*, called the *adjoint* of T, such that $\langle Tu, v \rangle = \langle u, T^* v \rangle$ for all $u, v \in \mathcal{H}$.

Definition 3.2 [4]. A bounded operator T on $\mathcal{H}$ is called *Hermitian* or *self-adjoint* if $T^* = T$, *unitary* if $T^*T = TT^* = I$, and *normal* if $T^*T = TT^*$.

In quantum mechanics, Hermitian operators correspond to observables, and unitary operators to time evolution and quantum gates [5]; normal operators form the wider class, containing both, to which the spectral theorem applies [6].

Theorem 3.3 [6]. The spectral theorem for finite-dimensional spaces states that every normal operator A on a finite-dimensional Hilbert space, in particular every Hermitian operator, can be diagonalized in an orthonormal eigenbasis and written as $A = \sum_a a\, P_a$, where P_a is the orthogonal projection onto the eigen-subspace corresponding to the eigenvalue a.

Theorem 3.4 [4]. The spectral theorem for bounded self-adjoint operators states that for every bounded self-adjoint operator A on a Hilbert space $\mathcal{H}$ there exists a unique projection-valued measure E on the spectrum $\sigma(A)$ such that $A = \int_{\sigma(A)} \lambda \; dE(\lambda)$.

The expectation value of an observable A in a state $|\psi\rangle$ is $\langle A\rangle = \langle\psi|A|\psi\rangle = \sum_a a\; p(a)$, where $p(a) = \langle\psi|P_a|\psi\rangle$ [5]. The functional calculus makes it possible to define functions of operators, in particular the operator exponential $U(t) = e^{-iHt/\hbar}$, where H is the Hamiltonian; this is the fundamental expression describing the time evolution of closed quantum systems [4, 8].

4. TENSOR PRODUCT SPACES AND MULTI-QUBIT SYSTEMS

Definition 4.1 [4]. The *tensor product* $\mathcal{H}_1 \otimes \mathcal{H}_2$ of two Hilbert spaces $\mathcal{H}_1$ and $\mathcal{H}_2$ is the completion of the linear span of the vectors $\psi \otimes \varphi$ ($\psi \in \mathcal{H}_1, \varphi \in \mathcal{H}_2$) with respect to the inner product $\langle \psi_1 \otimes \varphi_1, \psi_2 \otimes \varphi_2\rangle = \langle \psi_1, \psi_2\rangle\langle \varphi_1, \varphi_2\rangle$; in finite dimensions it is simply this span, and its dimension is $\dim(\mathcal{H}_1) \cdot \dim(\mathcal{H}_2)$. A state $|\Psi\rangle \in \mathcal{H}_1 \otimes \mathcal{H}_2$ is called *separable*, or a *product state*, if $|\Psi\rangle = |\psi\rangle \otimes |\varphi\rangle$ for some $|\psi\rangle \in \mathcal{H}_1$ and $|\varphi\rangle \in \mathcal{H}_2$, and *entangled* otherwise.

Theorem 4.1 [5]. The Schmidt decomposition theorem states that for every unit vector $|\Psi\rangle \in \mathcal{H}_1 \otimes \mathcal{H}_2$ of two finite-dimensional Hilbert spaces there exist orthonormal sets $\{e_i\} \subset \mathcal{H}_1$ and $\{f_i\} \subset \mathcal{H}_2$ and non-negative real numbers s_i with $\sum_i s_i^2 = 1$, called the *Schmidt coefficients*, such that $|\Psi\rangle = \sum_i s_i\, |e_i\rangle \otimes |f_i\rangle$. The state is separable if exactly one Schmidt coefficient is non-zero and entangled if more than one is non-zero.

Definition 4.2 [5]. The four two-qubit states

$$|\Phi^{\pm}\rangle = \frac{|00\rangle \pm |11\rangle}{\sqrt{2}}, \qquad |\Psi^{\pm}\rangle = \frac{|01\rangle \pm |10\rangle}{\sqrt{2}}$$

are called the *Bell states*; they form an orthonormal basis of $\mathbb{C}^4 = \mathbb{C}^2 \otimes \mathbb{C}^2$, and each of them is maximally entangled, with Schmidt coefficients $s_1 = s_2 = 1/\sqrt{2}$.

5. POSTULATES OF QUANTUM MECHANICS AND THE HILBERT SPACE

The mathematical framework constructed in the previous sections connects directly to the axiomatic formulation of quantum mechanics that goes back to Dirac and von Neumann [1, 9]; in the form commonly used in quantum computing, this formulation consists of the following four postulates [5]:

Postulate 5.1 [5]. According to the state space postulate, every isolated physical system is associated with a complex Hilbert space $\mathcal{H}$, and the system is completely described by a unit vector $|\psi\rangle \in \mathcal{H}$.

Postulate 5.2 [5]. According to the evolution postulate, the evolution of a closed system is described by a unitary transformation, $|\psi(t_2)\rangle = U(t_1, t_2)|\psi(t_1)\rangle$, which in continuous time corresponds to the Schrödinger equation.

Postulate 5.3 [5]. According to the measurement postulate, a measurement is described by a set of measurement operators $\{M_m\}$ satisfying $\sum_m M_m^\dagger M_m = I$, and the probability of the outcome m is $p(m) = \langle\psi|M_m^\dagger M_m|\psi\rangle$; for a projective measurement in an orthonormal basis $\{|e_i\rangle\}$, this reduces to the Born rule, $p(i) = |\langle e_i|\psi\rangle|^2$.

Postulate 5.4 [5]. According to the composite system postulate, the state space of a system composed of n subsystems is the tensor product $\mathcal{H} = \mathcal{H}_1 \otimes \cdots \otimes \mathcal{H}_n$ of the state spaces of the subsystems.

When the pure state of a single qubit is parametrized as $|\psi\rangle = \cos(\theta/2)|0\rangle + e^{i\varphi}\sin(\theta/2)|1\rangle$, the pair (θ, φ) obtained by ignoring the global phase provides a geometric representation on the unit sphere $S^2 \subset \mathbb{R}^3$, called the Bloch sphere; the coordinates (x, y, z) on the sphere correspond to the expectation values $(\langle X\rangle, \langle Y\rangle, \langle Z\rangle)$ of the Pauli operators [5]. When pure states are not sufficient, for example for a subsystem of an entangled system, the density operator formalism is used.

Definition 5.1 [5]. If a quantum system is in the state $|\psi_i\rangle$ with probability p_i, the operator $\rho = \sum_i p_i\,|\psi_i\rangle\langle\psi_i|$ is called its *density operator*. For a composite system with density operator ρ_{AB}, the *reduced density operator* of subsystem A is $\rho_A = \mathrm{Tr}_B(\rho_{AB})$, obtained by the *partial trace* over B. A state is called *pure* if $\mathrm{Tr}(\rho^2) = 1$ and *mixed* if $\mathrm{Tr}(\rho^2) < 1$.

The whole structure presented so far has been restricted to finite-dimensional Hilbert spaces, the working domain of quantum computing; quantum mechanics itself, however, is also formulated on infinite-dimensional Hilbert spaces. The space $L^2(\mathbb{R})$ and the wave functions on it, the canonical commutation relation $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ between position and momentum together with the associated Heisenberg uncertainty principle, and the harmonic oscillator as an infinite-dimensional example with a discrete spectrum show that the same axiomatic framework (vector space, inner product and completeness) remains consistent when it is extended to infinite dimensions [8]. In this setting the position and momentum operators are unbounded, so their rigorous treatment requires the theory of unbounded self-adjoint operators [4].

The concepts presented in Sections 2–5 and their counterparts in quantum computing are summarized in Table 1.

Table 1. Hilbert space concepts and their counterparts in quantum computing (compiled from [5]).

Hilbert space concept	**Counterpart in quantum computing**
Unit vector $\|\psi\rangle$ (Postulate 5.1)	Pure quantum state
Orthonormal basis $\{e_i\}$ (Definition 2.5)	Computational basis $\{\|0\rangle, \|1\rangle, \dots\}$
Unitary operator, $T^*T = TT^* = I$ (Definition 3.2)	Quantum gate
Hermitian operator, $T^* = T$ (Definition 3.2)	Observable
Spectral decomposition $A = \sum_a a\, P_a$ (Theorem 3.3)	Outcomes and probabilities of a projective measurement
Tensor product $\mathcal{H}_1 \otimes \mathcal{H}_2$ (Definition 4.1)	Composite multi-qubit system
Schmidt decomposition with more than one non-zero coefficient (Theorem 4.1)	Entanglement
Orthogonal projection P_M (Theorem 2.3)	Post-measurement state collapse

6. APPLICATION: NUMERICAL VERIFICATION WITH QISKIT 2.x

Every structure presented in the theoretical framework can be verified numerically with the modern interfaces of the qiskit.quantum_info module (Statevector, Operator, DensityMatrix, Pauli, SparsePauliOp) together with qiskit_aer or the reference primitives of qiskit.primitives (StatevectorSampler, StatevectorEstimator); the execute() function, which has been removed from Qiskit, is no longer needed [11, 12]. For example, inner product and norm computations on a Statevector object test the inner product axioms of Definition 2.2 directly, and checking the unitarity ($U^\dagger U = I$) of an Operator object verifies the linear-algebraic character of quantum gates on the Hilbert space. As a concrete example, generating a Bell state (Definition 4.2) with a circuit and then reducing it to a subsystem with the partial_trace function provides, in Listing 2, a numerical demonstration of the Schmidt decomposition and entanglement concepts of Section 4.

Listing 2. Generating a Bell state with a Qiskit circuit and verifying entanglement via the partial trace.

```
from qiskit import QuantumCircuit
from qiskit.quantum_info import Statevector, partial_trace, DensityMatrix
import numpy as np

qc = QuantumCircuit(2)
qc.h(0)
qc.cx(0, 1)  # CNOT: control = q0, target = q1
psi = Statevector.from_instruction(qc)
print("Bell state |Phi+> =", np.round(psi.data, 4))

# Separability test: inspect the reduced density matrix (partial trace)
rho_full = DensityMatrix(psi)
rho_q0 = partial_trace(rho_full, [1])  # trace out q1, keep q0
print("Reduced density matrix of q0:", np.round(rho_q0.data, 4))

# Pure or mixed? Tr(rho^2) = 1 for a pure state, < 1 for a mixed state
purity = np.trace(rho_q0.data @ rho_q0.data).real
print("Purity Tr(rho_q0^2) =", round(purity, 4))
```

Output:

```
Bell state |Phi+> = [0.7071+0.j 0.    +0.j 0.    +0.j 0.7071+0.j]
Reduced density matrix of q0: [[0.5+0.j 0. +0.j]
 [0. +0.j 0.5+0.j]]
Purity Tr(rho_q0^2) = 0.5
```

Although the whole system $|\Phi^+\rangle$ is in a pure state ($\mathrm{Tr}(\rho_{\mathrm{full}}^2) = 1$), the reduced density matrix of q0 turns out to be maximally mixed ($\rho = I/2$). Since the global state is pure, this result is precisely the signature of entanglement (Definition 5.1): the subsystems cannot individually be described by a definite pure state, and only the whole system carries complete information. It is the direct numerical counterpart of the Schmidt decomposition of Theorem 4.1 ($s_1 = s_2 = 1/\sqrt{2}$, Schmidt rank 2). Similarly, computing the expectation value of a SparsePauliOp observable with StatevectorEstimator provides a numerical verification of the spectral theorem (Theorem 3.3) and of the Born rule (Postulate 5.3).

This verification chain can be demonstrated in full on an end-to-end quantum circuit, including state preparation, unitary gate applications, measurement and the statistical evaluation of the results. In this way, each component of Hilbert space theory (vector, inner product, completeness, operator, spectrum and tensor product) ceases to be an abstract mathematical object and becomes a concrete component of an executable quantum program.

7. CONCLUSION

In this paper, the concept of Hilbert space has been treated systematically: from its algebraic foundation (the vector space axioms), through the geometric and topological structure given by the inner product and completeness, to analytic depth with operator theory and the spectral theorem, and finally to many-particle systems by means of tensor products.

At each stage, the counterpart of the relevant mathematical structure in quantum mechanics and quantum computing has been shown, and it has been discussed how these counterparts can be verified numerically with the current Qiskit (2.x) API. The main result is the following: the circuit model of quantum computing, with its qubits, gates and measurements, is not an abstract formalism but a direct and faithful realization of linear algebra (unit vectors, unitary operators, Hermitian observables and tensor products) on a finite-dimensional Hilbert space. A solid command of Hilbert space theory is therefore indispensable for understanding why quantum algorithms work and within which limits they are valid. In future work, this framework is planned to be extended to parametrized quantum circuits (VQE, QAOA) and quantum machine learning models.

REFERENCES

[1] von Neumann, J. (1955). *Mathematical foundations of quantum mechanics* (R. T. Beyer, Trans.). Princeton University Press.

[2] Riesz, F., & Sz.-Nagy, B. (1990). *Functional analysis* (L. F. Boron, Trans.). Dover Publications.

[3] Conway, J. B. (2007). *A course in functional analysis* (2nd ed., Graduate Texts in Mathematics, Vol. 96). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4383-8

[4] Reed, M., & Simon, B. (1980). *Methods of modern mathematical physics I: Functional analysis* (Rev. and enl. ed.). Academic Press.

[5] Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum computation and quantum information* (10th anniversary ed.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511976667

[6] Halmos, P. R. (1974). *Finite-dimensional vector spaces* (2nd ed.). Springer.

[7] Dirac, P. A. M. (1939). A new notation for quantum mechanics. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 35*(3), 416–418. https://doi.org/10.1017/S0305004100021162

[8] Sakurai, J. J., & Napolitano, J. (2017). *Modern quantum mechanics* (2nd ed.). Cambridge University Press.

[9] Dirac, P. A. M. (1958). *The principles of quantum mechanics* (4th ed.). Clarendon Press.

[10] Preskill, J. (1998). *Lecture notes for Physics 229: Quantum information and computation*. California Institute of Technology. https://www.preskill.caltech.edu/ph229/

[11] Javadi-Abhari, A., Treinish, M., Krsulich, K., Wood, C. J., Lishman, J., Gacon, J., Martiel, S., Nation, P. D., Bishop, L. S., Cross, A. W., Johnson, B. R., & Gambetta, J. M. (2024). *Quantum computing with Qiskit* (arXiv:2405.08810). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.08810

[12] Qiskit Development Team. (2025). *Qiskit documentation: qiskit.quantum_info, qiskit.primitives and Qiskit Aer*. IBM Quantum. Retrieved September 18, 2026, from https://quantum.cloud.ibm.com/ docs

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

OBTAINING IMAGE NEGATION AND HYBRID QUANTUM EDGE DETECTION WITH QUANTUM PROGRAMMING: A TECHNICAL FRAMEWORK

Hasan Suay TANIN
Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics
ORCID: 0009-0006-1330-5577

Davut KESEN
Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics
ORCID: 0000-0002-2096-462X

Prof. Dr. Memet ŞAHİN
Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics
ORCID: 0000-0002-1066-1641

ABSTRACT
This study presents a hybrid pipeline, implemented in Python with Qiskit, that performs pixel-level arithmetic on genuine quantum circuits without encoding the whole image as a quantum state (FRQI/NEQR). The negative of a grayscale or RGB image is obtained by applying Pauli-X gates to the eight qubits encoding each pixel, which reproduces $p' = 255 - p$; a quantum look-up table (QLUT) fixes the cost at 256 circuit runs regardless of the image size and the number of channels. For edge detection, pixel differences are computed by an 18-qubit reversible subtractor derived from the Cuccaro adder, which reproduced $|A - B|$ for all 39 tested pairs; a cache of unique pixel pairs limits the number of quantum calls.
Keywords: Quantum image processing, image negation, quantum edge detection, reversible quantum subtractor, Qiskit.

KUANTUM PROGRAMLAMA İLE GÖRÜNTÜ NEGATİFİ ALMA VE HİBRİT KUANTUM KENAR TESPİTİ: TEKNİK ALTYAPI

ÖZET
Bu çalışmada, görüntünün tamamını bir kuantum durumuna (FRQI/NEQR) kodlamadan piksel düzeyindeki aritmetiği gerçek kuantum devrelerinde gerçekleştiren, Python/Qiskit ile uygulanmış hibrit bir hat sunulmaktadır. Gri tonlamalı veya RGB görüntünün negatifi, her pikseli kodlayan sekiz kübite Pauli-X kapısı uygulanarak $p' = 255 - p$ biçiminde elde edilmekte; kuantum arama tablosu (QLUT), maliyeti görüntü boyutundan ve kanal sayısından bağımsız olarak 256 devre çalıştırmasına sabitlemektedir. Kenar tespitinde piksel farkları, Cuccaro toplayıcısından türetilen 18 kübitlik tersinir bir çıkarıcıyla hesaplanmakta ve test edilen 39 çiftin tamamında $|A - B|$ doğru elde edilmektedir; önbellek kuantum çağrı sayısını sınırlamaktadır.
Anahtar kelimeler: Kuantum görüntü işleme, görüntü negatifi, kuantum kenar tespiti, tersinir kuantum çıkarıcı, Qiskit.

1. INTRODUCTION

Quantum image processing (QIP) is a field that investigates the realization of digital image-processing operations within the quantum computing paradigm [1]. This study addresses two basic operations: (i) obtaining the negative of a grayscale or colour (RGB) image [2] by applying a Pauli-X gate to the bits of each pixel value, and (ii) an edge-detection method based on computing the difference between neighbouring pixel values [2] with a reversible quantum subtractor circuit.

Both methods deliberately avoid well-known quantum image representations such as NEQR (Novel Enhanced Quantum Representation) and FRQI (Flexible Representation of Quantum Images), which encode the entire image in a single quantum state [3, 4]. Instead, a hybrid architecture is adopted: the pixel matrix of the image is kept in classical memory as a NumPy array [5], and only the pixel-level arithmetic (computing the negative of a value or the difference of two values) is delegated to a real quantum circuit executed with Qiskit and its Aer simulator [6]. The rationale for this design choice and its relation to existing quantum image representations are discussed in Section 2.

2. RELATED WORK: QUANTUM IMAGE REPRESENTATIONS

The main methods proposed in the literature for encoding an image into a quantum state are the following [1]:

FRQI (Flexible Representation of Quantum Images): The intensity of a pixel is encoded as an angle θ in the amplitude of a single colour qubit, while the pixel position is represented by computational-basis states [3].

NEQR (Novel Enhanced Quantum Representation): Unlike FRQI, the pixel intensity is stored in the basis state of a qubit sequence rather than in an amplitude; different grey levels can therefore be distinguished, and the image can be retrieved exactly [4].

QPIE and Hadamard-based methods: The image is placed in an amplitude-encoded state vector; the QHED (Quantum Hadamard Edge Detection) algorithm computes the differences between neighbouring pixel amplitudes with a single global operation, a Hadamard gate applied to the least significant qubit, i.e. with $O(1)$ gate complexity independent of the image size [7].

The QLUT-negative and hybrid edge-detection methods in this study use none of the above representations: the image is not prepared as an NEQR- or FRQI-type quantum state; instead, a separate, small and reversible quantum circuit is executed for each possible pixel value (0–255) or pixel pair, and the result is written back to classical memory. What this approach shares with QHED is that the edge information is derived from the difference between neighbouring pixels [7]; the difference is that QHED keeps the whole image in a single amplitude-encoded quantum state and computes the differences with a global Hadamard operation, whereas here the difference is computed pair by pair with a basis-encoded reversible arithmetic circuit (see Section 3.3).

3. METHOD

3.1 Preliminaries: The Pauli-X Gate and Reversible Encoding

Definition 3.1 [8]. The single-qubit unitary operator whose matrix in the computational basis is

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \qquad X|0\rangle = |1\rangle, \qquad X|1\rangle = |0\rangle,$$

is called the *Pauli-X gate*; it is the quantum counterpart of the classical NOT operation.

A pixel value $p \in \{0,1,\dots,255\}$ is encoded, through its 8-bit binary expansion $b_7 b_6 \dots b_1 b_0$, into an $n = 8$-qubit computational-basis state, $|p\rangle = |b_7\rangle \otimes \cdots \otimes |b_0\rangle$ [8]. Applying Pauli-X to each qubit separately inverts (NOTs) the bit carried by that qubit:

$$(X \otimes X \otimes \cdots \otimes X)|b_7 b_6 \dots b_0\rangle = |\bar{b}_7 \bar{b}_6 \dots \bar{b}_0\rangle.$$

The decimal value of the resulting binary string coincides exactly with the classical negative of an 8-bit grayscale image [2]:

$$p' = 255 - p.$$

The circuit uses 8 qubits and 8 classical bits: X gates are first applied to the qubits whose corresponding bit of p is 1 (to prepare the state $|p\rangle$), then 8 Pauli-X gates are applied to compute the negative, and finally all qubits are measured.

3.2 QLUT: Image Negation with a Quantum Look-Up Table

Since the Pauli-X negative is a pointwise transformation (it takes into account neither the position of a pixel nor its neighbours), it suffices to compute the result once for each of the 256 possible input values and to store it in a look-up table (LUT):

$$\text{QLUT}: \{0,1,\dots,255\} \to \{0,1,\dots,255\}, \qquad \text{QLUT}(v) = \mathcal{M}\left(X^{\otimes 8}|v\rangle\right),$$

where $\mathcal{M}(\cdot)$ denotes measurement in the computational basis. This table is built by executing exactly 256 quantum circuits (one shot each, since each circuit maps a basis state to a basis state). The negation of an image of size $H \times W$ is then carried out without calling the quantum circuit again, by vectorized array indexing (fancy indexing) [5]:

$$P'(i,j) = \text{QLUT}[P(i,j)], \qquad \forall\, i \in \{1,\dots,H\},\ j \in \{1,\dots,W\}.$$

For RGB (three-channel) images, since the negative transformation is the same channel-independent function defined on 0–255, a single QLUT is shared by all three channels:

$$P'_k(i,j) = \text{QLUT}[P_k(i,j)], \qquad k \in \{R,G,B\}.$$

In this way, the quantum call cost remains fixed at 256 circuits regardless of the number of channels (Figure 1).



Figure 1. Hybrid quantum QLUT-based image negation: original RGB image (left) and its negative computed with the quantum look-up table (right).

3.3 Pixel Difference with a Quantum Ripple-Carry Subtractor (Cuccaro-Based)

Edge detection requires computing the difference $|A - B|$ between two neighbouring pixel values $A, B \in \{0, \dots, 255\}$. This is achieved by converting the linear-depth reversible ripple-carry adder with a single ancilla qubit proposed by Cuccaro, Draper, Kutin and Moulton [9] into a subtractor. For n-bit registers A and B, the adder uses a carry-in qubit (c) and a carry-out qubit (z), together with two basic gate blocks applied to each bit.

Definition 3.2 [9]. For three qubits a, b and c, the gate sequences

$$\mathrm{MAJ}(c, b, a)\colon\ \mathrm{CNOT}(a, b) \to \mathrm{CNOT}(a, c) \to \mathrm{CCNOT}(c, b, a),$$
$$\mathrm{UMA}(c, b, a)\colon\ \mathrm{CCNOT}(c, b, a) \to \mathrm{CNOT}(a, c) \to \mathrm{CNOT}(c, b)$$

are called the *majority* (MAJ) and *unmajority-and-add* (UMA) blocks, respectively; here $\mathrm{CNOT}(x, y)$ denotes a controlled-NOT gate with control x and target y, and $\mathrm{CCNOT}(x, y, t)$ a Toffoli gate with controls x, y and target t [8].

For $n = 8$ bits, the circuit uses c_0 (1 qubit), the a-register (8 qubits), the b-register (8 qubits) and z (1 qubit), i.e. 18 qubits in total. Following the construction in [9], the addition is applied in the following order:

$$\mathrm{MAJ}(c_0, b_0, a_0) \to [\mathrm{MAJ}(a_{i-1}, b_i, a_i)]_{i=1,\dots,7} \to \mathrm{CNOT}(a_7, z)$$
$$\to [\mathrm{UMA}(a_{i-1}, b_i, a_i)]_{i=7,\dots,1} \to \mathrm{UMA}(c_0, b_0, a_0).$$

At the end of the operation, the b-register holds $(a + b)$ mod 256 and the z qubit holds the carry-out. Subtraction is reduced to addition by the two's complement method: the bits of register B are inverted (with X gates) before the circuit is built, and the carry-in qubit is initialized to 1:

$$A - B \ (\mathrm{mod}\ 256) = A + \overline{B} + 1 = A + (255 - B) + 1.$$

In this case, the measurement of the b-register gives $D = (A - B)$ mod 256, and the z qubit gives the borrow information: if $z = 1$, then $A \geq B$ (no borrow, and D is directly $A - B$); if $z = 0$, then $A < B$ (a borrow has occurred), and the true difference is recovered as follows:

$$|A - B| = \begin{cases} D, & \text{if } z = 1\ (A \geq B), \\ 256 - D, & \text{if } z = 0\ (A < B). \end{cases}$$

The circuit was tested on 39 random and boundary value pairs with $A, B \in \{0, \dots, 255\}$, and all results agreed exactly with the classical value $|A - B|$.

3.4 Hybrid Quantum Edge Detection Algorithm

The horizontal and vertical gradients of the image are defined as differences between neighbouring pixels, i.e. by a simple first-order forward-difference operator, similar in spirit to the Roberts operator but using horizontal and vertical instead of diagonal neighbours [2]:

$$G_x(i, j) = \left|A_{\mathrm{diff}}\big(P(i, j),\ P(i, j + 1)\big)\right|, \qquad G_y(i, j) = \left|A_{\mathrm{diff}}\big(P(i, j),\ P(i + 1, j)\big)\right|,$$

where $A_{\mathrm{diff}}(\cdot,\cdot)$ denotes the quantum subtractor circuit defined in Section 3.3. As in classical gradient-based edge detection [2], the gradient magnitude and the binary edge map are computed classically:

$$M(i, j) = \sqrt{G_x(i, j)^2 + G_y(i, j)^2},$$
$$E(i, j) = \begin{cases} 255, & \text{if } M(i, j) > T, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

The threshold T is determined experimentally (values in the range $T \approx 20$–50 were used in practice). For RGB images, the channels are combined with the Euclidean norm:

$$M(i, j) = \sqrt{G_{x,R}^2 + G_{y,R}^2 + G_{x,G}^2 + G_{y,G}^2 + G_{x,B}^2 + G_{y,B}^2},$$

where all gradient components are evaluated at pixel (i, j). To limit the number of quantum calls, instead of all $256 \times 256 = 65{,}536$ possible (A, B) pairs, the circuit is executed only once for each unique neighbouring pixel pair that actually occurs in the image, and the result is kept in a cache; when the same pair occurs again, the quantum circuit is not re-executed. For RGB images, this cache is also shared by the three channels, since the function A_{diff} is channel-independent (Figure 2).



Figure 2. Hybrid quantum edge extraction on an RGB image: original image (left), combined gradient magnitude (R+G+B) (middle) and hybrid quantum edge map (right).

3.5 Complexity Analysis

In the QLUT-negative method, the number of quantum circuit calls is constant and independent of the image size, $O(1)$ (256 circuits of 8 qubits each). In hybrid edge detection, the number of calls depends on the number of unique neighbouring pixel pairs in the image and can reach $256^2 = 65{,}536$ circuits in the worst case; in practice, this number remains much lower because of the local spatial smoothness of natural images. Each subtraction circuit uses 18 qubits ($2n + 2$ for $n = 8$ bits). In contrast to approaches that require the entire image of size $2^k \times 2^k$ to be encoded in a single quantum state of $2k + 1$ (FRQI) or $2k + 8$ (NEQR) qubits [3, 4], this design keeps the number of qubits constant and independent of the image size; the price is that a larger number of small circuits must be executed sequentially across the quantum–classical interface.

3.6 Applications

The two methods were applied to an RGB and a grayscale test image. Figure 3 shows, from left to right, the original RGB image, its negative obtained with the QLUT, the gradient magnitude and the quantum edge map. Figure 4 shows the edge-detection pipeline applied to a grayscale image: the original image, the gradient magnitude and the binary edge map obtained with the hybrid quantum subtractor.

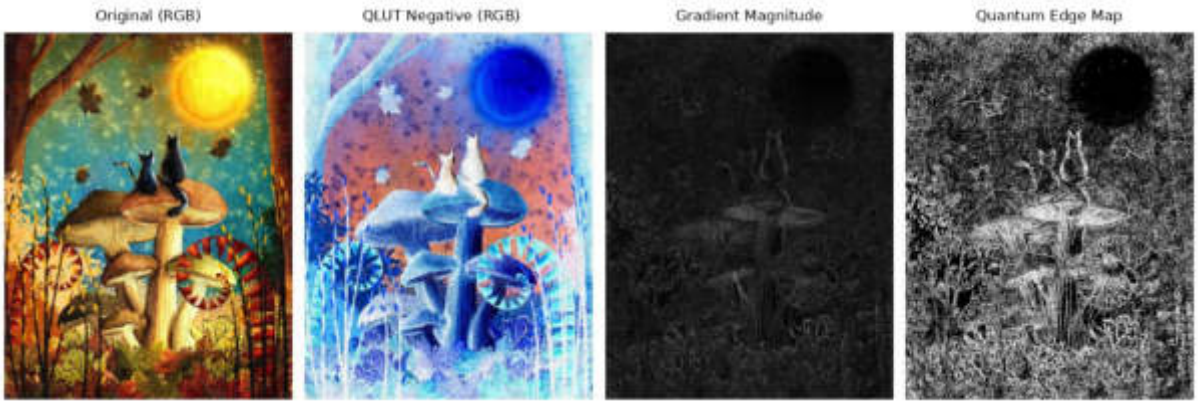


Figure 3. Application 1: original RGB image, QLUT negative (RGB), gradient magnitude and quantum edge map (from left to right).

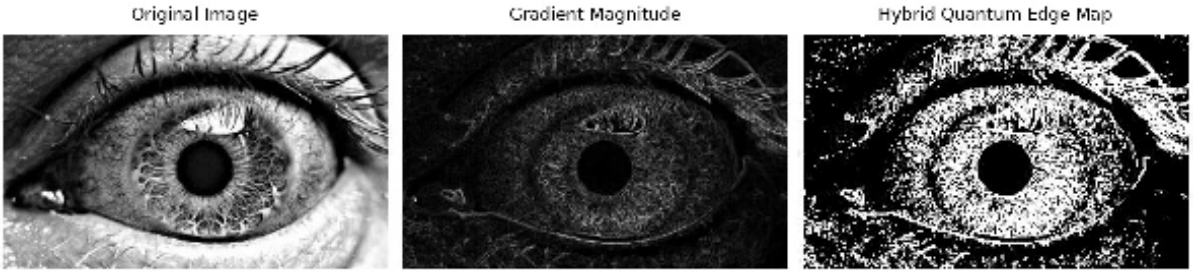


Figure 4. Application 2: original grayscale image, gradient magnitude and hybrid quantum edge map (from left to right).

4. CONCLUSION

In this technical framework, a hybrid image-processing pipeline was defined that uses genuine quantum circuits at the pixel level (Pauli-X-based negation, and edge detection with a Cuccaro-type reversible subtractor) without resorting to a full quantum image representation such as NEQR or FRQI. The methods were extended to both grayscale and RGB images by means of shared cache and QLUT strategies that do not multiply the number of quantum calls by the number of channels.

REFERENCES

[1] Yan, F., Iliyasu, A. M., & Venegas-Andraca, S. E. (2016). A survey of quantum image representations. *Quantum Information Processing, 15*(1), 1–35. https://doi.org/10.1007/s11128-015-1195-6

[2] Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital image processing* (4th ed.). Pearson.

[3] Le, P. Q., Dong, F., & Hirota, K. (2011). A flexible representation of quantum images for polynomial preparation, image compression, and processing operations. *Quantum Information Processing, 10*(1), 63–84. https://doi.org/10.1007/s11128-010-0177-y

[4] Zhang, Y., Lu, K., Gao, Y., & Wang, M. (2013). NEQR: A novel enhanced quantum representation of digital images. *Quantum Information Processing, 12*(8), 2833–2860. https://doi.org/10.1007/s11128-013-0567-z

[5] Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., Berg, S., Smith, N. J., Kern, R., Picus, M., Hoyer, S., van Kerkwijk, M. H., Brett, M., Haldane, A., del Río, J. F., Wiebe, M., Peterson, P., . . . Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature, 585*(7825), 357–362. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2

[6] Qiskit contributors. (2024). *Qiskit: An open-source framework for quantum computing* [Computer software]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2573505

[7] Yao, X.-W., Wang, H., Liao, Z., Chen, M.-C., Pan, J., Li, J., Zhang, K., Lin, X., Wang, Z., Luo, Z., Zheng, W., Li, J., Zhao, M., Peng, X., & Suter, D. (2017). Quantum image processing and its application to edge detection: Theory and experiment. *Physical Review X, 7*(3), 031041. https://doi.org/10.1103/PhysRevX.7.031041

[8] Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum computation and quantum information* (10th anniversary ed.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511976667

[9] Cuccaro, S. A., Draper, T. G., Kutin, S. A., & Moulton, D. P. (2004). *A new quantum ripple-carry addition circuit* (arXiv:quant-ph/0410184). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.quant-ph/0410184

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

QUANTUM MACHINE LEARNING BASED ON QISKIT 2.x: FUNDAMENTAL CONCEPTS, APPLICATIONS AND LIMITATIONS

Hasan Suay TANIN
Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics
ORCID: 0009-0006-1330-5577

Davut KESEN
Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics
ORCID: 0000-0002-2096-462X

Prof. Dr. Memet ŞAHİN
Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics
ORCID: 0000-0002-1066-1641

ABSTRACT
Quantum machine learning (QML) exploits superposition and entanglement to complement classical machine learning. Based on Qiskit 2.x, this study examines data encoding, quantum feature maps (ZFeatureMap, ZZFeatureMap), variational circuits, quantum neural networks and the variational quantum classifier (VQC), and an Iris binary classification example shows how a VQC is trained with COBYLA. Owing to the limited qubit counts and noise of NISQ hardware, QML currently relies on hybrid classical–quantum architectures, and barren plateaus severely limit trainability. QML is practical for research in the 10–25-qubit range, whereas genuine quantum advantage is expected only with fault-tolerant hardware beyond about 40 qubits.
Keywords: Quantum machine learning, Qiskit, variational quantum circuits, quantum neural networks, NISQ.

QISKIT 2.x TABANLI KUANTUM MAKİNE ÖĞRENMESİ: TEMEL KAVRAMLAR, UYGULAMALAR VE SINIRLILIKLAR

ÖZET
Kuantum makine öğrenmesi (QML), süperpozisyon ve dolanıklıktan yararlanarak klasik makine öğrenmesini tamamlamayı amaçlar. Qiskit 2.x temel alınarak veri kodlama, öznitelik haritaları (ZFeatureMap, ZZFeatureMap), varyasyonel devreler, kuantum sinir ağları ve varyasyonel kuantum sınıflandırıcı (VQC) incelenmiş; Iris veri kümesiyle VQC'nin COBYLA ile eğitimi gösterilmiştir. NISQ donanımlarının sınırlı kübit sayısı ve gürültüsü nedeniyle QML bugün hibrit klasik-kuantum mimarilere dayanmakta, kısır düzlükler ise eğitilebilirliği ciddi biçimde sınırlamaktadır. QML 10–25 kübit aralığında araştırma amaçlı uygulanabilir; kuantum avantajı ancak hataya dayanıklı donanımlarla 40 kübitin üzerinde beklenebilir.
Anahtar kelimeler: Kuantum makine öğrenmesi, Qiskit, varyasyonel kuantum devreleri, kuantum sinir ağları, NISQ.

1. INTRODUCTION
Classical machine learning has achieved remarkable success in recent years in pattern recognition, classification and regression problems on large datasets. However, for certain classes of problems, such as implicit feature mapping in high-dimensional Hilbert spaces, particular combinatorial optimization problems or the direct simulation of quantum systems, the computational cost of classical methods can grow exponentially [1].

Quantum machine learning (QML) is a rapidly developing research field that aims to provide a potential computational advantage for such problems by exploiting quantum-mechanical properties such as superposition and entanglement [1, 2].

Currently available quantum hardware is at a stage referred to in the literature as the noisy intermediate-scale quantum (NISQ) era and still operates under constraints such as noise and a limited number of qubits [3]. For this reason, most QML research has concentrated on hybrid algorithms in which classical and quantum components work together. The variational quantum circuits and quantum neural networks (QNNs) considered in this study represent exactly this hybrid approach [4].

Qiskit, developed by IBM, is one of the most widely used open-source quantum programming frameworks [5]. With Qiskit SDK v2.0, released in 2025, the library underwent a major architectural transition: further core data structures were ported to a performance-oriented Rust core, a first C-language application programming interface (API) was introduced, and components deprecated during the 1.x series, including the V1 primitives, were removed, leaving the V2 primitives (EstimatorV2 and SamplerV2) as the standard execution interfaces [6]. The former qiskit.algorithms module had already been separated from the Qiskit core before the 2.x series and is maintained as the independent community package qiskit-algorithms; since version 0.8, the qiskit-machine-learning library [7] also ships the optimizers it requires in its own qiskit_machine_learning.optimizers module [8].

The aim of this study is to address the fundamental concepts of QML systematically through the Qiskit 2.x ecosystem (qubit encoding, feature maps, variational circuits and quantum neural networks), to show the practical counterpart of these concepts with an end-to-end application example, and to discuss the main limitations imposed by current NISQ hardware (barren plateaus, noise and scalability). The study aims to give a reader unfamiliar with the subject a holistic perspective, from the basic concepts to concrete applications in an up-to-date quantum software framework.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1 The Qiskit 2.x Ecosystem and the QML Workflow

In the QML literature, four basic paradigms are distinguished according to whether the data and the information-processing device are classical or quantum: classical–classical (CC, standard deep learning), classical–quantum (CQ, processing classical data with a quantum circuit), quantum–classical (QC, analysing data obtained from a quantum experiment with classical methods) and quantum–quantum (QQ, fully quantum data-processing pipelines) [2]. This study focuses mainly on the CQ paradigm, in which classical datasets are encoded into quantum circuits, variational operations are applied on the quantum circuit, and the result is mapped back to the classical domain (a class label or a regression value).

A typical QML workflow consists of the following steps: (i) collecting the classical data and scaling it, typically to the interval $[0,2\pi]$ or $[-\pi,\pi]$; (ii) selecting an encoding circuit (feature map); (iii) appending a variational circuit (ansatz) with trainable parameters; (iv) defining a measurement strategy; (v) specifying a classical loss function; and (vi) updating the parameters with a classical optimizer such as COBYLA [9], SPSA [10] or Adam [11]. This loop forms the common basis of variational quantum algorithms (VQAs); the variational quantum eigensolver (VQE) [12], the quantum approximate optimization algorithm (QAOA) [13] and the VQC/QNN models on which this study focuses are special cases of this general framework [4].

2.2 Encoding Classical Data into Quantum States

There are three basic ways of mapping a classical data vector to a quantum state [2]:

Definition 2.1 [2]. Let $b = (b_1, \dots, b_n) \in \{0,1\}^n$ be a classical bit string. The encoding that maps b to the n-qubit computational-basis state $|b_1 b_2 \cdots b_n\rangle$ is called *basis encoding*.

Definition 2.2 [2]. Let $x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$ be a feature vector. The encoding that maps x to the product state $|\psi(x)\rangle = \bigotimes_{j=1}^{n} R_Y(x_j)|0\rangle$, in which each feature value is used as the rotation angle of a single-qubit gate, is called *angle encoding*.

Definition 2.3 [2]. Let $x = (x_0, \dots, x_{2^n-1}) \in \mathbb{C}^{2^n}$ be a vector with $\|x\| = 1$. The encoding that maps x to the n-qubit state $|\psi_x\rangle = \sum_{i=0}^{2^n-1} x_i\,|i\rangle$, which stores the components of x in the amplitudes of the state, is called *amplitude encoding*.

Basis encoding requires n qubits for n bits of data and does not exploit superposition; angle encoding is the most frequently preferred method because it is directly compatible with parametric circuits. Amplitude encoding provides exponential compression, but the circuit depth required for state preparation is in general exponential, which limits its practical use [2]. Quantum feature maps generalize angle encoding by adding entangling layers while the data are encoded.

Definition 2.4 [14]. Let $U_\Phi(x)$ be a data-dependent unitary circuit acting on n qubits. The map $x \mapsto |\Phi(x)\rangle = U_\Phi(x)|0\rangle^{\otimes n}$ is called a *quantum feature map*, and the function $k(x, x') = |\langle\Phi(x)|\Phi(x')\rangle|^2$ is called the associated *quantum kernel*.

Qiskit's circuit library offers ready-made feature maps such as ZFeatureMap and ZZFeatureMap [6]. ZFeatureMap encodes each feature value with a layer of Hadamard gates followed by R_Z-type phase rotations and does not generate entanglement between qubits; it is therefore a comparatively weak feature map that serves as a baseline. ZZFeatureMap additionally contains two-qubit interaction terms and yields a kernel that has been conjectured to be hard to estimate classically [14]. Since Qiskit 2.1, these class-based constructors have been deprecated in favour of the equivalent functions z_feature_map and zz_feature_map, and they are scheduled for removal in Qiskit 3.0 [6].

2.3 Variational Circuits and Quantum Neural Networks

A feature map is followed by a variational circuit (ansatz) with trainable parameters [4]. Qiskit provides ready-made ansätze such as TwoLocal, EfficientSU2 and RealAmplitudes, which have been deprecated as classes since Qiskit 2.1 in favour of the functions n_local, efficient_su2 and real_amplitudes [6]; they consist of repeated rotation and entanglement layers, and their reps and entanglement parameters allow the user to tune the trade-off between the expressive power and the depth of the circuit. In qiskit-machine-learning, combining the feature map with the ansatz and computing an expectation value with respect to an observable is realized by the EstimatorQNN class, whereas the SamplerQNN class uses the bit-string probabilities directly [7]. Combining these components with a loss function and a classical optimizer yields the variational quantum classifier (VQC) and the variational quantum regressor (VQR) [7, 14].

2.4 Application: Binary Classification on the Iris Dataset

As a concrete application of the concepts discussed above, an end-to-end binary classification example was implemented using the first two classes of the Iris dataset [15] and its first two features (sepal length and sepal width), so that each sample is encoded into two qubits. The data were loaded, scaled to the interval $[0,2\pi]$ and split into training (80%) and test (20%) sets with scikit-learn [16]; ZZFeatureMap was chosen as the feature map, RealAmplitudes as the ansatz and COBYLA [9] as the optimizer.

Listing 1 shows how the model is defined with the VQC class of the qiskit-machine-learning package [7], trained, and evaluated on the test data.

Listing 1. End-to-end VQC training on the Iris dataset (Qiskit 2.x / qiskit-machine-learning).

```
from qiskit_machine_learning.algorithms import VQC
from qiskit_machine_learning.optimizers import COBYLA
from qiskit.circuit.library import ZZFeatureMap, RealAmplitudes
from sklearn.datasets import load_iris
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
import numpy as np

# First two Iris classes (binary task) and first two features (2 qubits)
X, y = load_iris(return_X_y=True)
mask = y < 2
X, y = X[mask][:, :2], y[mask]
X = MinMaxScaler((0, 2 * np.pi)).fit_transform(X)
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    X, y, test_size=0.2, random_state=42)

feature_map = ZZFeatureMap(feature_dimension=2, reps=2)
ansatz = RealAmplitudes(num_qubits=2, reps=2)
optimizer = COBYLA(maxiter=150)

vqc = VQC(feature_map=feature_map, ansatz=ansatz, optimizer=optimizer)
vqc.fit(X_train, y_train)

print("Training accuracy:", vqc.score(X_train, y_train))
print("Test accuracy:    ", vqc.score(X_test, y_test))
```

Different metrics are recommended for evaluating model performance depending on the type of task: accuracy, F1-score and ROC-AUC for binary classification; macro-averaged F1 and the confusion matrix for multi-class classification; and the mean squared error (MSE) and R^2 for regression, all of which are available in scikit-learn [16]. To reduce the effect of the statistical variance arising from quantum measurements (shot noise), a repeated-measurement (multi-shot) strategy is recommended, particularly for regression tasks (Table 1).

Table 1. Recommended evaluation metrics for QML task types.

Task type	Recommended metrics	Note
Binary classification	Accuracy, F1-score, ROC-AUC	Under class imbalance, accuracy alone can be misleading
Multi-class classification	Macro-averaged F1, confusion matrix	The qubit/measurement mapping strategy affects the results
Regression	Mean squared error (MSE), R^2	Quantum noise can increase the variance; multiple shots are recommended

2.5 Limitations: Barren Plateaus, Noise and Scalability

The findings show that one of the most important obstacles to QML applications is the barren plateau phenomenon [17].

Definition 2.5 [17]. Let $C(\theta)$ be the cost function of a parametrized quantum circuit acting on n qubits, with parameters $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_m)$. The cost landscape is said to exhibit a *barren plateau* if the variance of its partial derivatives vanishes exponentially in n, that is, $\mathrm{Var}[\partial_k C] \in O(b^{-n})$ for some $b > 1$.

In a barren plateau, gradient-based optimizers become ineffective in practice, because resolving the vanishingly small gradients requires an exponentially large number of measurements [17, 18]. The main causes of barren plateaus include very deep and highly entangling ansätze, the use of global observables and random (Haar-like) parameter initialization [17, 18]. Mitigation strategies proposed in the literature include layer-wise training [19], near-identity initialization [20] and the preference for local observables [18].

The second important limitation is that real quantum hardware is noisy because of gate errors, measurement errors and decoherence. Qiskit Aer helps to predict how an algorithm will perform on real hardware by providing simulation with realistic noise models [6]. Although error mitigation techniques such as zero-noise extrapolation [21] and measurement error mitigation [22] attempt to correct noisy results statistically, they are no substitute for fault-tolerant quantum error correction, which remains the fundamental limitation of the NISQ era [3].

Finally, the scalability assessment is summarized in Table 2. Systems of up to about ten qubits can be run instantly and at low cost on classical simulators (Aer), the 25–40-qubit range requires high-performance computing (HPC) resources, and full state-vector simulation of systems with more than 40 qubits becomes practically infeasible because of memory limits. Genuine quantum advantage is expected to emerge in this upper regime once fault-tolerant hardware becomes available [3].

Table 2. Scalability assessment by number of qubits.

Number of qubits	**Classical simulation (Aer)**	**Real NISQ hardware**
≤ 10	Instant; easy on a laptop	High fidelity; low impact of noise
10–25	Seconds to minutes; a workstation or server may be needed	Moderate impact of noise; error mitigation recommended
25–40	Very large memory/HPC resources required	Hardware-dependent; severe impact of noise
> 40	Practically infeasible (classical memory limit)	Limited and experimental; the regime in which genuine quantum advantage is expected

3. CONCLUSION

In this study, the fundamental components of quantum machine learning (data-encoding methods, feature maps, variational circuits and quantum neural networks) were examined conceptually and practically on the basis of the Qiskit 2.x ecosystem. The end-to-end VQC example on the Iris dataset concretely demonstrated how the hybrid CQ paradigm, in which classical and quantum components work together, is set up in practice.

The findings show that, owing to the limited number of qubits and the noise levels of current NISQ hardware, QML is for now largely confined to research purposes and to small- and medium-scale problems (approximately 10–25 qubits), and that the barren plateau phenomenon severely restricts trainability, especially for deep and highly entangling ansätze. Strategies such as layer-wise training, near-identity initialization and the preference for local observables can alleviate this constraint to some extent. On the other hand, with the development of noise-handling and error mitigation techniques, QML is expected to produce increasingly reliable results, particularly in supervised learning tasks such as classification and regression.

In conclusion, although quantum machine learning does not yet offer a proven and general advantage over classical methods, the tools provided by mature software frameworks such as Qiskit 2.x are making it an increasingly accessible field of application for researchers. It is recommended that future studies focus, in parallel with the maturation of fault-tolerant hardware, on larger-scale problems and on new architectural solutions to the barren plateau problem.

REFERENCES

[1] Biamonte, J., Wittek, P., Pancotti, N., Rebentrost, P., Wiebe, N., & Lloyd, S. (2017). Quantum machine learning. *Nature, 549*(7671), 195–202. https://doi.org/10.1038/nature23474

[2] Schuld, M., & Petruccione, F. (2021). *Machine learning with quantum computers* (2nd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83098-4

[3] Preskill, J. (2018). Quantum computing in the NISQ era and beyond. *Quantum, 2*, 79. https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79

[4] Cerezo, M., Arrasmith, A., Babbush, R., Benjamin, S. C., Endo, S., Fujii, K., McClean, J. R., Mitarai, K., Yuan, X., Cincio, L., & Coles, P. J. (2021). Variational quantum algorithms. *Nature Reviews Physics, 3*(9), 625–644. https://doi.org/10.1038/s42254-021-00348-9

[5] Javadi-Abhari, A., Treinish, M., Krsulich, K., Wood, C. J., Lishman, J., Gacon, J., Martiel, S., Nation, P. D., Bishop, L. S., Cross, A. W., Johnson, B. R., & Gambetta, J. M. (2024). *Quantum computing with Qiskit* (arXiv:2405.08810). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.08810

[6] Qiskit Development Team. (2025). *Qiskit SDK v2.x documentation and release notes*. IBM Quantum. Retrieved September 18, 2026, from https://quantum.cloud.ibm.com/docs

[7] Sahin, M. E., Altamura, E., Wallis, O., Wood, S. P., Dekusar, A., Millar, D. A., Imamichi, T., Matsuo, A., & Mensa, S. (2025). *Qiskit Machine Learning: An open-source library for quantum machine learning tasks at scale on quantum hardware and classical simulators* (arXiv:2505.17756). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.17756

[8] Qiskit Machine Learning contributors. (2025). *Qiskit Machine Learning* (Version 0.8 and later) [Computer software]. GitHub. https://github.com/qiskit-community/qiskit-machine-learning

[9] Powell, M. J. D. (1994). A direct search optimization method that models the objective and constraint functions by linear interpolation. In S. Gomez & J.-P. Hennart (Eds.), *Advances in optimization and numerical analysis* (pp. 51–67). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-015-8330-5_4

[10] Spall, J. C. (1992). Multivariate stochastic approximation using a simultaneous perturbation gradient approximation. *IEEE Transactions on Automatic Control, 37*(3), 332–341. https://doi.org/10.1109/9.119632

[11] Kingma, D. P., & Ba, J. (2015). Adam: A method for stochastic optimization. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations (ICLR 2015)*. https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.6980

[12] Peruzzo, A., McClean, J., Shadbolt, P., Yung, M.-H., Zhou, X.-Q., Love, P. J., Aspuru-Guzik, A., & O'Brien, J. L. (2014). A variational eigenvalue solver on a photonic quantum processor. *Nature Communications, 5*, 4213. https://doi.org/10.1038/ncomms5213

[13] Farhi, E., Goldstone, J., & Gutmann, S. (2014). *A quantum approximate optimization algorithm* (arXiv:1411.4028). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1411.4028

[14] Havlíček, V., Córcoles, A. D., Temme, K., Harrow, A. W., Kandala, A., Chow, J. M., & Gambetta, J. M. (2019). Supervised learning with quantum-enhanced feature spaces. *Nature, 567*(7747), 209–212. https://doi.org/10.1038/s41586-019-0980-2

[15] Fisher, R. A. (1936). The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics, 7*(2), 179–188. https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02137.x

[16] Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research, 12*, 2825–2830.

[17] McClean, J. R., Boixo, S., Smelyanskiy, V. N., Babbush, R., & Neven, H. (2018). Barren plateaus in quantum neural network training landscapes. *Nature Communications, 9*(1), 4812. https://doi.org/10.1038/s41467-018-07090-4

[18] Cerezo, M., Sone, A., Volkoff, T., Cincio, L., & Coles, P. J. (2021). Cost function dependent barren plateaus in shallow parametrized quantum circuits. *Nature Communications, 12*(1), 1791. https://doi.org/10.1038/s41467-021-21728-w

[19] Skolik, A., McClean, J. R., Mohseni, M., van der Smagt, P., & Leib, M. (2021). Layerwise learning for quantum neural networks. *Quantum Machine Intelligence, 3*(1), 5. https://doi.org/10.1007/s42484-020-00036-4.

MADEN İŞYERLERİNDE İSTATİSTİKSEL PERFORMANS ANALİZİ

Şükrü ŞAFAK
Maden Yüksek Mühendisi, Eskşehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0009-0008-0859-8154

Prof. Dr. Mustafa ÖNDER
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Rektör Yardımcısı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0002-9267-1543

ÖZET
Dünyada madencilik sektöründe; ruhsat sahipleri tarafından yapılan madencilik faaliyetleri için ruhsat sahiplerine performans sicil kaydı gibi derecelendirmeler yapılmakta ve kanun ve yönetmeliklere uygun olarak faaliyette bulunan maden işletmecilerine teşvik uygulamaları (Çevresel Etki Değerlendirme'den (ÇED) belli süreliğine muafiyet, öncelik hakkı vb.), uygun bulunmayanlara ise zorlayıcı tedbirler getirilmektedir.
Ülkemizde de yapılan madencilik faaliyetlerinin, Maden Kanunu ve ilgili yönetmelikler kapsamında gerçekleştirilmemesi halinde maden işletme ruhsat sahiplerine idari para cezaları uygulanmaktadır. Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) tarafından yapılan mahallinde denetimler sonucunda uygulanan bu idari yaptırımlar bir veya birden fazla olabilmekte ve denetleme sıklığına göre değişkenlik gösterebilmektedir.
Bu bildiride, ülkemizde uygulanan idari para ceza sayısı veya miktarları göz önüne alınarak ve istatistiksel veri analizi yöntemleri kullanılarak, maden işletmecileri için performans kriterleri belirlenmesi ve işletmeci performans sicil kaydı oluşturulması ve 3213 sayılı Maden Kanunu ve Maden Yönetmeliğine uygun olarak faaliyette bulunan işletmeciler ile kanun ve yönetmeliklere uygun faaliyette bulunmayan işletmecilerin ayırt edilmesi ve uygun faaliyette bulunmayan işletmecilere yönelik alınacak tedbir önerilerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir.
Anahtar Kelimeler: Madencilik, istatistik, performans.

STATISTICAL PERFORMANCE ANALYSIS IN MINING OPERATIONS

ABSTRACT
In the global mining sector, license holders have ratings or performance records, based on their mining activities. Mining operators, who conduct their operations in compliance with laws and regulations, benefit from incentive measures (such as temporary exemptions from Environmental Impact Assessment (EIA) requirements and priority rights), whereas those found non-compliant face enforcement measures.
Mining license holders could be face to penalty When mining activities are not operated in accordance with the Mining Law and relevant regulations in Türkiye. Penalties, which are applied to license holders as a consequence of the inspection of mining sites by the inspector of the General Directorate of Mining and Petroleum Affairs (MAPEG), can be one or multiple and vary depending on the frequency of inspections.
In this paper, it is aimed to determine the performance criteria for mine operators by using statistical data analysis methods with considering the number or amount of penalties applied to mining operators.

Moreover it is aimed to It is aimed to distinguish between operators operating in compliance with Mining Law No. 3213 and the Mining Regulation and those not acting in compliance with the laws and regulations, and to develop proposals for measures to be taken against non-compliant operators.
Keywords: Mining, statistics, performance.

GİRİŞ

Ülkemizde madencilik faaliyetlerinde maden hukuku, çevre hukuku, iş hukuku, iş sağlığı ve iş güvenliği kanunu kapsamında gerekli denetim ve incelemeler yapılmakta ve yapılan denetim ve inceleme sonucunda mevzuata aykırı durumların tespiti halinde yaptırımlar uygulanmaktadır.

Madencilik sektöründe yaptırımları karşılaştırırken ilk olarak şu ayrımı yapmak gerekir:

- Madencilik hukukuna özgü idari para cezaları: Ruhsatsız üretim, ruhsat şartlarının ihlali, üretim bildirimlerinin yapılmaması, denetimin engellenmesi vb.
- Çevre hukukundan kaynaklanan idari para cezaları: Su kirliliği, atık yönetimi, habitat/biyoçeşitlilik, emisyon, çevre izinleri ve ÇED şartlarının ihlali vb.
- İş sağlığı ve güvenliği cezaları: İş güvenliği, havalandırma, patlatma, kişisel koruyucu donanım, acil durum ve işyeri güvenliği ihlalleri.
- Mali kaynaklı cezalar: Devlet hakkının ödenmemesi, eksik bildirilmesi veya geç ödenmesi.
- Ruhsata ilişkin yaptırımlar: Ruhsatın iptali, iptali veya tenement/lease forfeiture.
- Müsadere: Kaçak çıkarılan madenin, ekipmanın veya elde edilen gelirin kamuya geçirilmesi.
- Ceza hukuku yaptırımları: İşletme projesine uygun faaliyet yapılmaması veya çevresel zararlar bakımından hapis ve adli para cezaları.
- İyileştirme/rehabilitasyon yaptırımları: Sahanın rehabilite edilerek eski haline getirilmemesi.

Ülkemizde madencilik faaliyetleri, başlıca 3213 sayılı Maden Kanunu, Maden Yönetmeliği ve ilgili diğer kanun ve yönetmelikler kapsamında yürütülmektedir. Madencilik faaliyetlerinin Maden Kanunu ve ilgili yönetmelikler kapsamında gerçekleştirilmemesi halinde ülkemizde de maden işletme ruhsat sahiplerine yaptırımlar veya idari para cezaları uygulanmaktadır. Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) tarafından yapılan mahallinde denetimler sonucunda uygulanan bu idari yaptırımlar bir veya birden fazla olabilmekte ve denetleme sıklığına göre değişkenlik gösterebilmektedir.

3213 sayılı Maden Kanunu gereğince düzenlenmiş mali ve teknik belgeler ile ihbar ve şikayetler dahil tüm madencilik faaliyetleri ile bu faaliyetleri etkileyen hususların, inceleme ve denetimi MAPEG tarafından görevlendirilen heyet tarafından yerinde yapılmaktadır.

Maden işletmeleri, Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü denetim elemanları tarafından risk gruplarına göre belli periyotlarda denetim ve incelemeye tabi tutulmaktadır. Bu denetim ve incelemeler genel, mali, resen ve talep denetimi olmak üzere dört ana başlık altında yürütülmektedir. İhtiyaç halinde birden fazla denetim türü aynı anda uygulanabilmektedir. Somut bilgi ve belgelere dayanan ihbarlar üzerine, ruhsat sahibi şirketlere önceden bildirim yapılmaksızın baskın niteliğinde "resen denetimler"de gerçekleştirilebilmektedir.

İnceleme ve denetim sırasında teknik ve mali belgeler ile bu belgelerin hazırlanmasına esas teşkil eden işletme projesinin uygulanması ile ilgili hususlar; madencilik faaliyetlerinin işletme projesine uygunluğu, ruhsat sahasında verilen izinler (işletme izni, Çevresel Etki Değerlendirme izni, mülkiyet izni vb.) dahilinde faaliyet yapılıp yapılmadığı, üretim yöntemi, üretim miktarı, üretilen madenin kullanım alanı, sevk fişleri, faturalar, satış belgeleri gibi Kanun ve diğer mevzuat gereği ilgili belgeler incelenmektedir. Her türlü denetimde çevre ile uyum planına uygun çalışılıp çalışılmadığı kontrol edilmektedir.
Mahallinde yapılan denetimlerde Maden Kanununun özellikle 7., 10., 12., 14., 24., 29., 31.ve 36. maddeleri gereği mahallinde denetimler gerçekleştirilmektedir.
Bu önemli maddeler;

- Madde 7. Alınan izinler (ÇED, GSM, mülkiyet vb.) dahilinde faaliyetleri kontrolü (7/21-gsm, ÇED veya mülkiyet izni olmadan faaliyette bulunulması)
- Madde 10. Genel Müdürlüğe sunulan beyanların kontrolü, beyanlardaki eksikliklerin 2 ay içinde tamamlanmaması(10/4 ipc+faaliyet durdurma), haksız yere hak iktisabının kontrolü(10/7- gerçek dışı beyan ile haksız yere hak iktisabı), daimi nezaretçi defteri kontrolü,
- Madde 12. İşletme ve ruhsat sınırları dahilinde faaliyetlerin kontrolü,
- Madde 14. Devlet hakkı tutarının kontrolü,
- Madde 24. işletme ruhsat ve temdit taleplerinin kontrolü, 5 yıl içinde 3 yıl üretim miktarının kontrolü (24/12), 7. Madde izinlerinin alınıp alınmadığının kontrolü, işletme projesi eksikliklerinin verilen sürede tamamlanmaması (24/1), gerekli 7. madde izinlerinin alınarak MAPEG'e süresinde verilmemesi (24/11)
- Madde 29. madencilik faaliyetlerinin projeye uygunluğunun kontrolü 29(1), 29. Madde belgelerinin verilmemesi (29/4)
- Madde 31. Daimi nezaretçi ataması kontrolü
- Madde 36. imalat haritalarında pasa ve bakiyelerin kontrolü şeklinde sıralanabilir.

Ülkemizde madenlerin ruhsatlandırılması sürecinde, kum, çakıl, killer, agrega, hazır beton ve asfalt yapımında kullanılan kayaçlar, endüstriyel hammaddeler, enerji hammaddeleri, metalik madenler, radyoaktif mineraller vb. madenler gruplandırılarak ruhsatlandırılmaktadır. Tablo 1'de 3213 sayılı Maden Kanununun ikinci maddesine göre sınıflandırılan maden grupları gösterilmiştir.(1)

Tablo 1. Maden Grupları

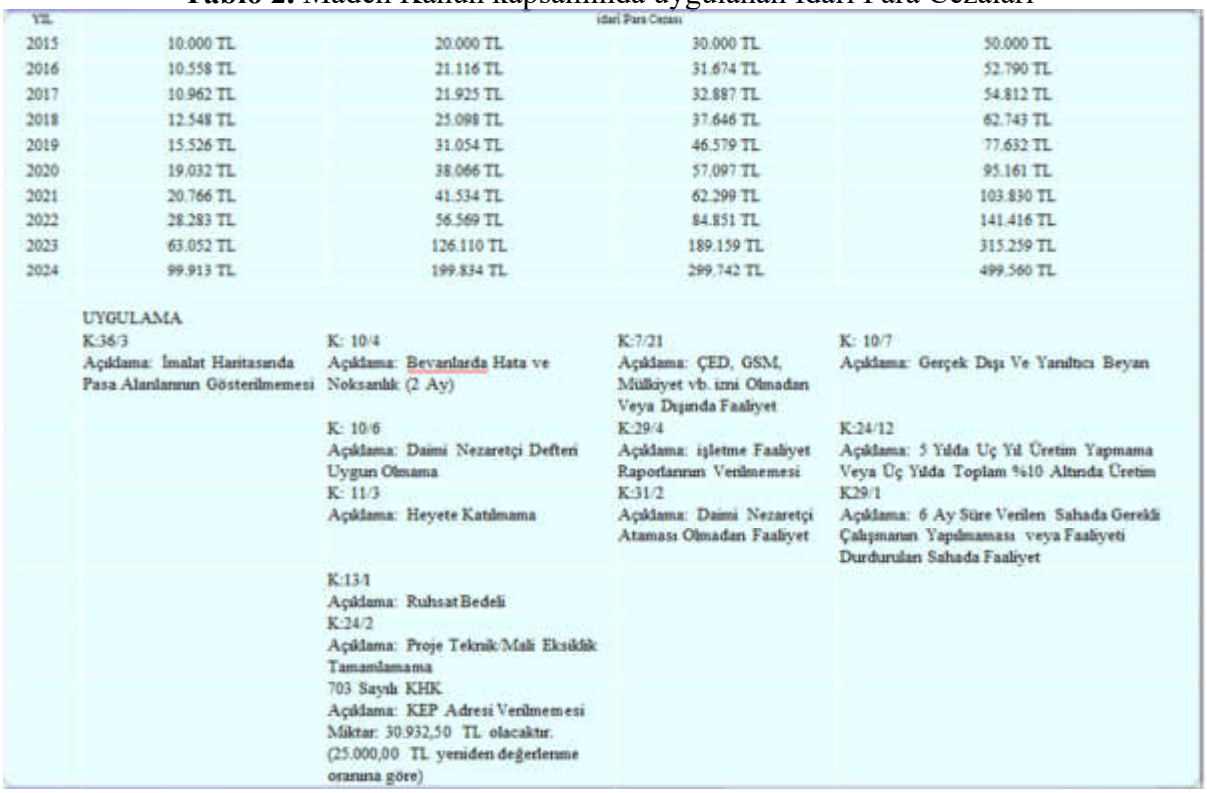
Maden Grupları	**Maden Cinsi**
I(a)	Kum, çakıl
I(b)	Killer (Tuğla kiremit kili, çimento kili, çimento ve seramik sanayiinde kullanılan ve diğer gruplarda yer almayan kayaçlar)
II(a)	Kalsit, Dolomit, Kalker, Granit, Andezit, Bazalt gibi kayaçlardan agrega, hazır beton ve asfalt yapılarak kullanılan kayaçlar
II(b)	Mermer, Traverten, Granit, Andezit, Bazalt gibi blok olarak üretilen taşlar ile dekoratif amaçla kullanılan doğal taşlar
II(c)	Kalsit, Dolomit, Kalker, Granit, Andezit, Bazalt gibi kayaçlardan entegre çimento, kireç ve kalsit öğütme tesisinde kullanılan kayaçlar
III	Deniz, göl, kaynak suyundan elde edilecek eriyik halde bulunan tuzlar, karbondioksit (CO_2) gazı (jeotermal, doğal gaz ve petrollü alanlar hariç) Hidrojen Sülfür.

IV(a)	Endüstriyel Mineraller Kaolen, Bentonit, Montmorillonit, İllit, Vermikülit, Sepiyolit, Refrakter killer, Jips, Anhidrit, Alünit (Şap), Halit, Sodyum, Potasyum, Lityum, Kalsiyum, Magnezyum, Klor, Nitrat, İyot, Flor, Brom ve diğer tuzlar, Bor tuzları (Kolemanit, Uleksit, Borasit, Tinkal, Pandermit veya bünyesinde en az %10 B_2O_3 içeren diğer Bor mineralleri), Stronsiyum tuzları (Selestin, Stronsiyanit), Barit, Vollastonit vb.
IV(b)	Enerji Hammaddeleri Turba, Linyit, Taşkömürü, Antrasit, Asfaltit, Bitümlü Şist, Bitümlü Şeyl), Kokolit ve Sapropel (Petrol Kanunu hükümleri mahfuz kalmak kaydıyla).
IV(c)	Metalik madenler Altın, Gümüş, Platin, Bakır, Kurşun, Çinko, Demir, Pirit, Manganez, Krom, Civa, Antimuan, Kalay, Vanadyum, Arsenik, Molibden, Tungsten (Volframit, Şelit), Kobalt, Nikel, Kadmiyum, Bizmut, Titan (İlmenit, Rutil), Alüminyum (Boksit, Gipsit, Böhmit), Nadir toprak elementleri (Seryum Grubu, Yitriyum Grubu) ve Nadir toprak mineralleri (Bastnazit, Monazit, Ksenotim, Serit, Oyksenit, Samarskit, Fergusonit), Sezyum, Rubidyum, Berilyum, İndiyum, Galyum, Talyum, Zirkonyum, Hafniyum, Germanyum, Niobyum, Tantalyum, Selenyum, Telluryum, Renyum
IV(ç)	Radyoaktif Mineraller Uranyum, Toryum, Radyum gibi elementleri içeren radyoaktif mineraller ve diğer radyoaktif maddeler.
V	Kıymetli ve yarı kıymetli taşlar Elmas, Safir, Yakut, Beril, Zümrüt, Morganit, Akuvamarin, Heliodor, Agat, Oniks, Sardoniks, Kantaşı, Opal (İrize Opal, Kırmızı Opal, Siyah Opal, Ağaç Opal), Kuvars kristalleri (Ametist, Sitrin, Neceftaşı (Dağ kristali), Dumanlı Kuvars, Kedigözü, Avanturin, Venüstaşı, Gül Kuvars), Turmalin (Rubellit, Vardelit, İndigolit), Topaz, Aytaşı, Turkuaz (Firuze), Spodümen, Kehribar, Lazurit (Lapislazuli), Oltutaşı, Diopsit, Amozonit, Lületaşı, Labrodorit, Epidot (Zeosit, Tanzonit), Spinel, Jadeit, Yeşim veya Jad, Rodonit, Rodokrozit, Granat Minarelleri (Spesartin, Grosüllar Hessanit, Dermontoit, Uvarovit, Pirop, Almandin), Diaspor Kristalleri, Kemererit vb.

Bu çalışmada ülkemizde II(a) grubu madenlerde yapılan denetim ve incelemeler sonucunda Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü tarafından uygulanan idari para cezaları incelenerek maden işyerlerinde istatistiksel performans analizinin çıkarılması hedeflenmiştir.

Ülkemizde Maden Kanunu kapsamında uygulanan idari para cezaları yıllar itibariyle yeniden değerleme oranı kapsamında artırılarak uygulanmaktadır. Uygulanan idari para ceza miktarları ve ilgili Kanun maddeleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Maden Kanun kapsamında uygulanan İdari Para Cezaları



YIL	İdari Para Cezası			
2015	10.000 TL	20.000 TL	30.000 TL	50.000 TL
2016	10.558 TL	21.116 TL	31.674 TL	52.790 TL
2017	10.962 TL	21.925 TL	32.887 TL	54.812 TL
2018	12.548 TL	25.098 TL	37.646 TL	62.743 TL
2019	15.526 TL	31.054 TL	46.579 TL	77.632 TL
2020	19.032 TL	38.066 TL	57.097 TL	95.161 TL
2021	20.766 TL	41.534 TL	62.299 TL	103.830 TL
2022	28.283 TL	56.569 TL	84.851 TL	141.416 TL
2023	63.052 TL	126.110 TL	189.159 TL	315.259 TL
2024	99.913 TL	199.834 TL	299.742 TL	499.560 TL

UYGULAMA

K:36/3
Açıklama: İmalat Haritasında Pasa Alanlarının Gösterilmemesi

K: 10/4
Açıklama: Bevanlarda Hata ve Noksanlık (2 Ay)

K: 10/6
Açıklama: Daimi Nezaretçi Defteri Uygun Olmama

K: 11/3
Açıklama: Heyete Katılmama

K:13/1
Açıklama: Ruhsat Bedeli

K:24/2
Açıklama: Proje Teknik/Mali Eksiklik Tamamlamama

703 Sayılı KHK
Açıklama: KEP Adresi Verilmemesi
Miktar: 30.932,50 TL olacaktır. (25.000,00 TL yeniden değerleme oranına göre)

K:7/21
Açıklama: ÇED, GSM, Mülkiyet vb. izni Olmadan Veya Dışında Faaliyet

K:29/4
Açıklama: işletme Faaliyet Raporlarının Verilmemesi

K:31/2
Açıklama: Daimi Nezaretçi Ataması Olmadan Faaliyet

K: 10/7
Açıklama: Gerçek Dışı Ve Yanıltıcı Beyan

K:24/12
Açıklama: 5 Yılda Üç Yıl Üretim Yapmama Veya Üç Yılda Toplam %10 Altında Üretim

K29/1
Açıklama: 6 Ay Süre Verilen Sahada Gerekli Çalışmanın Yapılmaması veya Faaliyeti Durdurulan Sahada Faaliyet

VERİ TANIMI

II(a) grubu maden işletme ruhsatlarında yapılan denetimler sonucunda maden hukukuna özgü uygulanan idari para cezaları normalize edilerek ölçeklendirilmiş skorlar oluşturulmuştur.
Veri tipleri kontrol edildiğinde madde değişkenlerinin int64 (sayma verisi için uygun), idari para cezası değişkenlerinin ise float64 olarak doğru atandığı görülmüştür. Bu nedenle ön işleme aşamasında veri imputasyonu veya tip dönüşümüne gerek kalmamıştır.

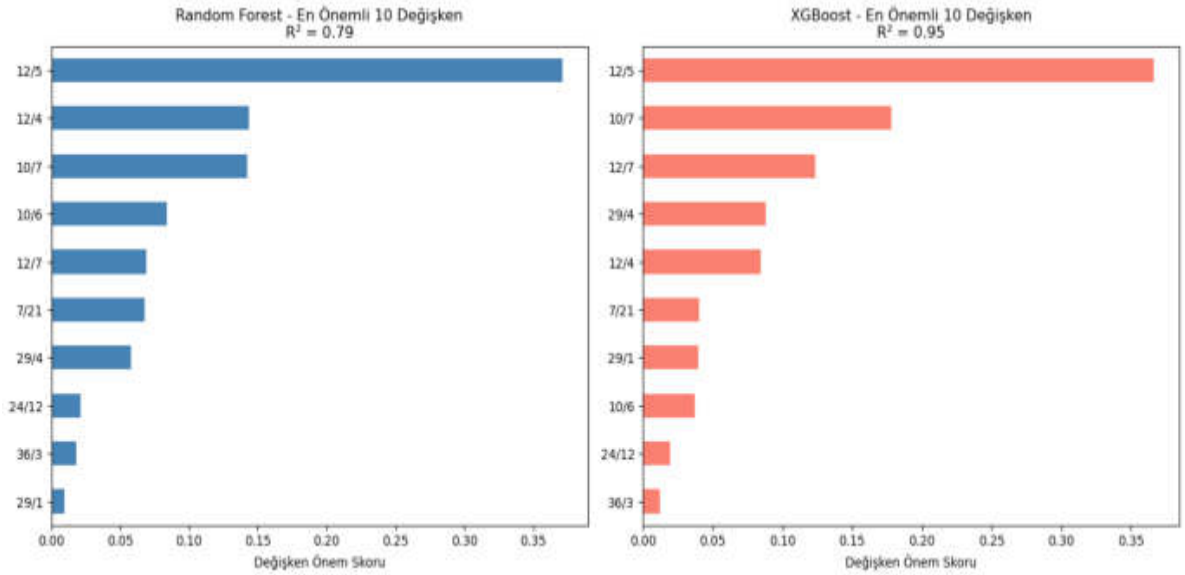
Tablo 3. Madde Değişkenlerinin Sıfır ve Sıfırdan Farklı Değer Dağılımı

Madde	İhlal Oranı (%)	Maks. Değer
24/2	5,08	2
24/11	20,90	9
24/12	14,29	5
29/1	3,47	2
29/4	13,00	5
31/2	2,83	2
36/1	0,08	1
36/3	2,34	2
7/13	0.56	2
7/21	19,45	3
g.37	1,05	12

İhlal yoğunluğu açısından üç grup ayırt edilmektedir. Yüksek frekanslı maddeler (%19-28 arası ihlal oranı): 10/7, 10/6, 24/11, 7/21. Orta frekanslı maddeler (%5-15 arası): 12/4, 10/4, 24/12, 29/4, 24/2, 12/5. Düşük frekanslı maddeler (%5'in altı): kalan tüm değişkenler. Düşük frekanslı maddeler arasında 16/11 ve 36/1 yalnızca tek bir gözlemde ihlal taşımakta, 10/8, 11/3, 13/1 ve 7/13 ise %1'in altında kalmaktadır.
Bir değişkenin %95'inden fazlasının tek bir değerde (özellikle sıfırda) yoğunlaşması durumunda hem regresyon modellerinin değişken önemi tahmininde sapma oluşur, hem de kümeleme algoritmaları yeterli varyasyon bulamaz. Bu kriter doğrultusunda 16/11 ve 36/1 (yalnızca 1 gözlemde ihlal), 10/8 (5 gözlem, %0.4), 7/13 (7 gözlem, %0.6), 11/3 (9 gözlem, %0.7), 13/1 (12 gözlem, %1.0) ve 31/2 (35 gözlem, %2.8) analiz dışında bırakılmıştır.

BULGULAR

Maden Kanunu kapsamında uygulanan 14 adet idari para cezası değişkeninin yer aldığı kümeler oluşturulmuştur.
İki model aynı veri seti üzerinde uygulanmış; değişken önem sıralamaları ve R^2 skorları karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Random Forest (sol) ve XGBoost (sağ) modellerine göre en önemli 10 değişkenin önem skorları

Modellerin ortak ve ayrışan bulguları: İki model de 12/5 değişkenini birinci sıraya yerleştirmiştir (RF: 0.371, XGB: 0.366). Her iki model aynı 10 değişkeni en önemli olarak seçmiştir; bu birebir örtüşme değişken seçiminin algoritma tercihinden bağımsız bir gerçekliği yansıttığını göstermektedir. İlk sıra dışında bazı sıralama farkları bulunmaktadır: RF 12/4'ü ikinci, XGB beşinci sıraya yerleştirmiş; XGB 10/7 ve 12/7'ye RF'ten daha yüksek önem atfetmiştir. Bu farklılıklar, XGBoost'un ardışık öğrenme yapısı ile RF'in paralel ortalama yapısının farklı önem dağılımları üretmesinden kaynaklanmaktadır.
R^2 karşılaştırması ve nihai tercih: XGBoost ($R^2 = 0.95$) Random Forest'tan ($R^2 = 0.79$) daha yüksek uyum skoruna sahiptir; ancak bu değerler eğitim verisi üzerinde hesaplanmış uyum skorlarıdır, modelin görmediği veri üzerindeki tahmin başarısını değil mevcut veriye uyum derecesini yansıtmaktadır. XGBoost'un esnek yapısı sıkı uyumun yanında aşırı uydurma (overfitting) riskini de taşımaktadır.

Optimal küme sayısının belirlenmesinde kullanılan dört yöntemin sonuçları Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

Tablo 4. Optimal Küme Sayısı Belirleme Yöntemlerinin Karşılaştırması

Yöntem	Önerdiği k	Açıklama
Elbow	4	Dirsek noktası k = 4'te belirginleşmektedir.
Silhouette	2	Maksimum skor k = 2'de gözlemlenmiştir (0.61).
Calinski-Harabasz	3	Tepe noktası k = 3'te ulaşılmıştır (217).
Dendrogram (Ward)	3 ya da 4	Her iki seviye de yapısal olarak desteklenmektedir.

Yöntemlerin farklı sayılara işaret etmesi, her yöntemin farklı bir matematiksel kriteri önceliklendirmesinden kaynaklanmaktadır. Metrikler **k = 3 ve k = 4 yapıları etrafında yoğunlaşmaktadır**. Silhouette'in işaret ettiği k = 2, performans derecelendirmesi için yeterli ayrıntı sağlamadığından (yalnızca düşük-yüksek ayrımı) elenmiştir; k = 5 ve üzeri yapılar ise hiçbir metrik tarafından desteklenmemektedir. yapılan çok katmanlı karşılaştırmalı analiz sonucunda, çalışmanın bundan sonraki tüm aşamalarında k = 4 yapısı kullanılmasına karar verilmiştir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan istatistik analizleri sonucunda ruhsatlara uygulanmış olan idari para cezaları için dört grup oluşturulmuştur.
Bu gruplar;
-Çok düşük idari para cezası
-Düşük idari para cezası
-Orta idari para cezası
-Yüksek idari para cezası şeklindedir.
İhlal ciddiyeti yüksek olan kümeler daha kısa aralıklarla, düşük olan kümeler ise daha uzun aralıklarla denetlenmektedir.
-Çok düşük idari para cezası grubunun 24 ayda bir,
- Düşük idari para cezası grubunun 12 ayda bir,
-Orta idari para cezası grubunun 6 ayda bir,
-Yüksek idari para cezası grubunun 3 ayda bir denetlenmesi öngörülmüştür.
Mali yaptırımı düşük olduğu için seyrek denetlenen bir kümede yer almakla birlikte yüksek risk skoruna sahip ruhsatlar bulunabilmektedir. Bu tür sınır durumlarının alan uzmanı değerlendirmesiyle yeniden gözden geçirilmesi önerilmektedir.
Bir maddenin ihlali ortalama cezayı ne kadar çok artırıyorsa, o madde o ölçüde ağır kabul edilmekte ve daha yüksek bir ağırlık almakta olup Maden Kanununun 12. maddesinin beşinci fıkrası en ağır madde konumundadır.

KAYNAKLAR

Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45(1), 5-32.

Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A. ve Stone, C. J. (1984). Classification and Regression Trees. Wadsworth.

Efron, B. ve Tibshirani, R. J. (1993). An Introduction to the Bootstrap. Chapman and Hall.

Güloğlu, Yavuz, Suran Sadık, Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, "Maden İdari Para Cezaları ve Yargısal Denetimi", Cilt:23 Sayı:2, 31.12.2021.

Jolliffe, I. T. (2002). Principal Component Analysis (2. baskı). Springer.

Lambert, D. (1992). Zero-inflated Poisson regression, with an application to defects in manufacturing. Technometrics, 34(1), 1-14.

Maden Kanunu (3213 sayılı) (1985, 06 15), Resmi Gazete, Sayı:18785, Ankara.

Silverman, B. W. (1986). Density Estimation for Statistics and Data Analysis. Chapman and Hall.

Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. The American Journal of Psychology, 15(1), 72-101.

THE GLOBAL BALANCE OF POWER

Professor Dr. Raghad Nassif Jassim
College of Political Science, University of Baghdad

ABSRACT

It is one of life's self-evident truths that opportunities, situations, and circumstances never recur in exactly the same form. Yesterday is not today, because time is shaped by changing factors and complex interactions in which interests and objectives intersect, with no end to their beginnings. In such dynamic environments, great powers often miscalculate. It can be said that the United States misjudged the equations of war and dominance.

Such is the nature of the Middle East, and such is the world today—a world in which the balance of power shifts rapidly and crises become so intertwined that they appear to be links in a single chain. Yesterday, the war was in Ukraine; then Gaza erupted into conflict; and today attention is turning to Iran, Iraq, the Zionist entity, the Gulf states, and the United States, in a scene suggesting that the region stands on the threshold of a major confrontation.

Yet what is unfolding today cannot be reduced to a single date in history. The Middle East war did not begin on 28 February 2026. Rather, its foundations had been taking shape over many decades, as though time itself had been quietly preparing for it, while the parties involved moved toward it step by step without realizing it.

Those who possess power often refuse to acknowledge that the world is governed by laws that regulate its course, whether at the level of individuals or states. History confirms that the scales of justice do not disappear, and that human existence was not created in vain to be destroyed without meaning or purpose. There is an enduring balance in this universe, and religious and civilizational values remain an integral part of that balance. In this context, the Holy Qur'an remains preserved by a divine promise: “Indeed, it is We who sent down the Reminder, and indeed, We will surely preserve it.” (Qur'an 15:9). This makes it impossible for any power—regardless of how arrogant or influential it may become—to replace one religion with another or erase a deeply rooted civilizational identity.

What the region has witnessed over the past decades has been widespread devastation. Iraq suffered collapse, Syria was ravaged by a destructive war, and Gaza endured devastation and blockade, while the standing of many Arab states declined to the point where the Arab voice became weak in the equations of international politics.

Following this period of fragmentation and exhaustion, there appears to be an attempt to reshape the region—not only politically or militarily, but also intellectually and religiously—in a way that could lead to the formulation of a new religion and new intellectual structures for the Middle East, and perhaps even for the world.

One of history's great ironies is that the powers now in conflict were, until recently, allies or partners in the distribution of the gains of war. Among the most significant of these "spoils" was Iraq, with its profound civilizational and religious heritage, its highly strategic location, and its immense natural wealth.

Iraq paid a heavy price after 2003. At certain stages, the streets of Baghdad became a daily theater of violence, giving the impression that the country was being driven toward disintegration at a tragic cost, embodied in hundreds of car bombings that claimed the lives of innocent civilians.

As events accelerated, it seemed as though time itself was painting a complex picture of what we are witnessing today: an intense conflict in which regional and international powers—including Iran, the United States, the Gulf states, the Zionist entity, and armed factions—have become deeply entangled, alongside other forces operating behind the scenes and ideas and strategies unfolding out of public view.

After Russia became deeply involved in the war in Ukraine, which continues with European and NATO support, and with the outbreak of war in the Middle East, an opportunity appeared to emerge for bringing the war in Ukraine to an end. A new equation has taken shape that could redraw the course of global conflict. The keys to ending the war in the Middle East may not lie solely in the hands of the United States, Iran, or the Zionist entity, but perhaps also with the powers that manage the balance of the emerging international order from behind the scenes.

In this context, it is difficult to imagine that Russia and China are absent from the region's strategic equations, given their strategic experience and their military and political capabilities. From this perspective, the conflict in the Middle East can be viewed as part of a broader process of reshaping the international balance of power.

This may not be merely a regional war, but rather a historic turning point in the reconstruction of the global balance of power—and perhaps even in the revival of the idea of international peace. The road to such an outcome, however, appears to be extraordinarily costly, for the price paid by peoples during such profound transformations is invariably a heavy one

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

HOUSEHOLD EXPENDITURE AND REGIONAL ECONOMIC WELFARE: EVIDENCE FROM WEST JAVA, INDONESIA

Ratna Septiyanti
University of Lampung
ORCID: 0000-0002-1882-7589

Harsono Edwin Puspita
University of Lampung
ORCID: 0009-0004-7044-2653

Doni Sagitarian Warganegara
University of Lampung
ORCID: 0000-0001-6875-7956

Agus Zahron Idris
University of Lampung

ABSTRACT
This study examines differences in household expenditure across cities and regencies in West Java, Indonesia, to provide evidence on regional economic welfare. Household expenditure is employed as a proxy for welfare because it reflects purchasing power and living standards more comprehensively than income alone. The study uses secondary data from 27 cities and regencies in West Java covering the period 2019–2024, resulting in 162 observations. Descriptive statistical analysis is conducted to compare household expenditure by gender and regional classification, focusing on average expenditure, variability, and distributional characteristics. The results indicate consistent disparities in household expenditure between cities and regencies. Average expenditure is higher in cities for both men and women, with the difference being substantially larger among women. In addition, expenditure variability is greater in cities, suggesting wider differences in household purchasing power and economic conditions. These findings indicate that household welfare remains uneven across regional classifications despite sustained economic development. This study contributes to the regional economics literature by demonstrating how household expenditure can be used as an empirical indicator of regional economic welfare. The findings also provide evidence that can support fiscal planning, targeted social assistance, and resource allocation aimed at reducing regional welfare disparities.
Keywords: household expenditure; economic welfare; regional inequality; gender; regional development; Indonesia

ASSESSING AUTO-TRICYCLE AND MOTORCYCLE OPERATORS' AWARENESS OF ROAD SIGN SYMBOLS AND COMPLIANCE WITH SAFETY RULES IN NIGER STATE, NIGERIA

Alhassan Yunusa Alkali
Welding And Fabrication Engineering Department, Minna Institute of Technology and Innovations, Niger State Polytechnic of Emerging Technology

Mohammed Jibril
Welding And Fabrication Engineering Department, Minna Institute of Technology and Innovations, Niger State Polytechnic of Emerging Technology

Abubakar A. Ejiko
Welding And Fabrication Engineering Department, Minna Institute of Technology and Innovations, Niger State Polytechnic of Emerging Technology

Mohammed Maishera
Welding And Fabrication Engineering Department, Minna Institute of Technology and Innovations, Niger State Polytechnic of Emerging Technology

ABSTRACT
This study assessed auto-tricycle and motorcycle operators' awareness of road sign symbols and their compliance with safety rules in Niger State, Nigeria. A descriptive survey research design was adopted. The population comprised registered commercial motorcycle and tricycle operators across selected urban and semi-urban areas in Niger State. A sample was drawn using a multistage sampling technique. Data were collected using a structured questionnaire titled Road Safety Awareness and Compliance Questionnaire (RSACQ). The instrument was validated by experts in transport management and technical education, while reliability was established using Cronbach Alpha. Data were analyzed using mean, standard deviation, and inferential statistics. Findings revealed moderate awareness of road signs but low compliance with safety rules among operators. The study also identified education level and training as significant predictors of awareness and compliance. The study recommends continuous road safety education, stricter enforcement of traffic laws, and improved training programs for operators.
Keywords: road safety, awareness, compliance, motorcycle operators, tricycle operators, Nigeria

INTRODUCTION
Road transportation remains the dominant mode of mobility in Nigeria, with motorcycles and auto-tricycles serving as major means of intra-urban transport due to their affordability and accessibility. However, their increasing use has been accompanied by a rise in road traffic accidents, largely attributed to poor awareness and non-compliance with traffic regulations. Road signs and symbols are critical components of traffic control systems designed to communicate essential safety information to road users. These signs are often symbolic and require a basic level of literacy and training to interpret correctly. Studies have shown that poor understanding of road signs significantly contributes to unsafe driving behaviors and accident occurrence (Ezeifeka & Ogbogu, 2021) .

Nigerian Journals Online In Nigeria, commercial motorcycle operators (popularly known as okada riders) and tricycle operators (keke riders) are often reported to exhibit risky behaviors such as speeding, ignoring traffic signals, and violating road safety rules. The Federal Ministry of Transportation has consistently emphasized the need for adherence to safety regulations due to increasing accident rates linked to non-compliance . Federal Ministry of Transport Empirical evidence indicates that awareness and compliance with road safety rules among motorcycle operators remain inadequate. For instance, about 41.8% of operators were unaware of the highway code in a Nigerian study, highlighting a critical gap in safety knowledge . Similarly, compliance levels among motorcyclists in urban areas have been reported to be low despite awareness of traffic rules . PubMed Richtmann Given these concerns, assessing operators' awareness and compliance is essential for designing effective interventions. This study therefore investigates the level of awareness of road sign symbols and compliance with safety rules among auto-tricycle and motorcycle operators in Niger State, Nigeria.

STATEMENT OF THE PROBLEM

Despite efforts by government agencies such as the Federal Road Safety Corps (FRSC) to promote road safety awareness, road traffic accidents involving motorcycles and tricycles remain prevalent in Nigeria. Many of these accidents are attributed to operators' inability to interpret road signs and their failure to comply with safety regulations. Previous studies have shown that even when awareness exists, compliance is often low due to poor enforcement, lack of training, and low literacy levels among operators (Ogundele & Gegeleso, 2024). Additionally, safety education interventions have been shown to significantly improve knowledge and compliance, suggesting that current awareness levels are insufficient . cipes.lautech.edu.ng PubMed However, there is limited empirical data specifically focusing on Niger State, particularly comparing both motorcycle and tricycle operators. This gap necessitates the present study.

PURPOSE OF THE STUDY

The main purpose of this study is to assess auto-tricycle and motorcycle operators' awareness of road sign symbols and their compliance with safety rules in Niger State, Nigeria. Specifically, the study seeks to: Determine the level of awareness of road sign symbols among operators Assess the level of compliance with road safety rules Examine the relationship between awareness and compliance Identify factors influencing awareness and compliance

RESEARCH QUESTIONS

What is the level of awareness of road sign symbols among operators? What is the level of compliance with safety rules? What relationship exists between awareness and compliance? What factors influence awareness and compliance?

RESEARCH HYPOTHESES

H_{01}: There is no significant relationship between awareness of road signs and compliance with safety rules.

H_{02}: There is no significant difference between motorcycle and tricycle operators in awareness levels.

H_{03}: There is no significant difference in compliance based on educational level.

METHODOLOGY

This study adopted a descriptive survey design. The study area was Niger State, Nigeria. The population consisted of registered commercial motorcycle and auto-tricycle operators. A sample was selected using multistage sampling techniques. Data were collected using a structured questionnaire divided into sections on demographic data, awareness of road signs, and compliance behaviors. The instrument was validated by experts, and reliability was established using Cronbach Alpha coefficient. Data analysis was conducted using mean and standard deviation to answer research questions, while hypotheses were tested using Pearson correlation and t-test at 0.05 level of significance.

RESULTS AND DISCUSSION

The findings revealed that operators demonstrated moderate awareness of road sign symbols. This suggests that while some operators are familiar with basic signs, many lack comprehensive understanding. This aligns with earlier findings that awareness of road signs among Nigerian drivers is often limited due to inadequate training. Nigerian Journals Online The study also found low compliance with safety rules among operators. This corroborates previous studies indicating widespread non-compliance among commercial motorcyclists, including violations such as ignoring traffic signals and speeding. Richtmann Furthermore, a significant relationship was found between awareness and compliance, indicating that increased knowledge of road signs improves adherence to safety rules. This supports evidence that safety education interventions significantly enhance both awareness and compliance among operators. PubMed Education level was also found to influence awareness and compliance, consistent with studies showing that literacy improves understanding and application of road safety rules. cipes.lautech.edu.ng

CONCLUSION

The study concludes that while auto-tricycle and motorcycle operators in Niger State possess moderate awareness of road sign symbols, their level of compliance with safety rules is relatively low. Awareness alone is insufficient without proper enforcement and continuous education.

RECOMMENDATIONS

Government should intensify road safety education programs for operators Licensing processes should include mandatory training on road signs Enforcement agencies should ensure strict compliance with traffic rules Adult education programs should be introduced to improve literacy among operators.

REFERENCES

Adetunji, M. A., & Aloba, O. (2013). The level of compliance of commercial motorcyclists to traffic rules on urban roads in Southwestern Nigeria. *Journal of Educational and Social Research*.

Bwala, E. B., & Amosun, S. T. (2021). Use of road traffic signs and compliance among motorists in Nigeria. *NIPES Journal of Science and Technology go Research*. NIPES

Ezeifeka, C., & Ogbogu, N. F. (2021). The impact of road safety awareness texts on accident reduction in Nigeria. *Awka Journal of English Language and Literary Studies*.

Federal Ministry of Transport Johnson, O. E., & Adebayo, A. M. (2011). Effect of safety education on compliance with road signs among motorcyclists in Nigeria. *Ghana Medical Journal*, 45(3), 89–96. PubMed

Federal Ministry of Transportation. (2023). Road safety advisory for motorcycle operators in Nigeria.

Ogundele, A. V., & Gegeleso, O. M. (2024). Literacy and compliance with road safety rules among drivers in Nigeria. Contemporary Issues in Planning and Environmental Studies. cipes.lautech.edu.ng

Olasinde, A. A., Oluwadiya, K. S., et al. (2022). Compliance with road safety regulations among motorcyclists in Nigeria. *East African Journal of Health and Science*. EANSO Journals

Richtmann Adejumo, M., Lawal, A. A., & Chandra, S. M. K. (2023). Knowledge of road use regulations and compliance among motorcycle riders in Nigeria. *Journal of Health and Environmental Research*. Science Publishing Group

Taro, G. (2012). Safety issues among commercial motorcyclists in Nigeria. *Transport Reviews.* PubMed

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

A MULTIDIMENSIONAL TRANSITION READINESS METHOD FOR R&D AND P&D PILOT PROJECTS IN THE ENERGY SECTOR

Dr. Muhammet Mustafa İZGEÇ
Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ORCID: 0000-0002-6317-9250

ABSTRACT
In energy-sector pilot projects, technological maturity alone may be insufficient to determine whether a research and development (R&D) output is ready to progress toward product development (P&D), field implementation, pilot deployment, and pre-commercial maturation. This study proposes a "Multidimensional Transition Readiness Method" for R&D and P&D pilot projects in the electricity and natural gas distribution sectors. Rather than relying on empirical project data, the study adopts a method-development design based on regulatory document analysis and the relevant literature. In the first stage, the relevant regulations are subjected to structured content analysis. Provisions concerning project application, evaluation, monitoring, and reporting are coded together with elements related to product development, prototyping, validation, testing, certification, integration, localisation, pre-commercial maturation, and field implementation. In the second stage, these codes are cross-mapped with approaches in the energy innovation literature, including Technology Readiness Levels, integration readiness, market/adoption readiness, and Stage-Gate models. In the third stage, four transition dimensions are derived from the intersections identified through this mapping: technical maturity, system and field integration, organisational implementation capacity, and productisation/pre-commercial readiness. For each dimension, a five-level readiness scale ranging from 0 to 4 and stage-transition criteria are defined. The main novelty of the proposed method lies in assessing pilot projects not solely according to their Technology Readiness Level, but through an integrated matrix that captures both technical and non-technical conditions required for progression to the next project stage. The study aims to translate the R&D and P&D structure established by the regulatory framework in 2020 and amended in 2026 into a reproducible evaluation method that can subsequently be applied to project files for comparative assessment.
Keywords: Energy pilot projects, R&D, Product Development, Multidimensional Transition Readiness, Technology Readiness Level, Stage-Gate, Structured Content Analysis

ENERJİ SEKTÖRÜNDE AR-GE VE ÜR-GE PİLOT PROJELERİ İÇİN ÇOK BOYUTLU GEÇİŞ HAZIRLIĞI YÖNTEMİ

ÖZET
Enerji sektöründeki pilot projelerde teknolojik olgunluk tek başına bir araştırma-geliştirme (Ar-Ge) çıktısının ürün-geliştirme (Ür-Ge), saha uygulaması, pilot uygulamaları ve ticarileştirme öncesi olgunlaştırma aşamalarına geçmeye hazır olup olmadığını açıklamakta yetersiz kalabilmektedir. Bu çalışma, elektrik ve doğal gaz dağıtım sektöründeki Ar-Ge ve Ür-Ge pilot projeleri için "Çok Boyutlu Geçiş Hazırlığı Yöntemi (Multidimensional Transition Readiness Method)" ni önermektedir. Araştırma, ampirik proje verisi yerine düzenleyici doküman analizi ve literatür tabanlı yöntem geliştirme tasarımına dayanmaktadır. İlk aşamada ilgili düzenlemeler yapılandırılmış içerik analizine tabi tutulmaktadır. Düzenlemelerdeki proje başvurusu, değerlendirme, izleme ve raporlama hükümleri ile Ür-Ge, prototip, doğrulama, test, sertifikasyon, entegrasyon, yerlileştirme, ticarileştirme öncesi olgunlaştırma ve saha uygulaması unsurları kodlanmaktadır.

İkinci aşamada bu kodlar, enerji inovasyonu literatüründeki teknoloji hazırlık düzeyi, entegrasyon hazırlığı, pazar/benimsenme hazırlığı ve aşama-kapısı (Stage-Gate) yaklaşımlarıyla çapraz eşleştirilmektedir. Üçüncü aşamada, bu eşleştirmede belirlenen kesişimlerden dört geçiş boyutu türetilmektedir: Teknik olgunluk, sistem ve saha entegrasyonu, kurumsal uygulama kapasitesi ve ürünleşme/ticarileştirme öncesi hazırlık. Her boyut için 0-4 arasında beş düzeyli bir hazırlık ölçeği ve aşamalar arası geçiş ölçütleri tanımlanmaktadır. Yöntemin temel yeniliği, pilot projeleri yalnızca teknoloji hazırlık düzeyiyle sınıflandırmak yerine bir sonraki proje aşamasına geçiş için gerekli teknik ve teknik olmayan koşulları aynı matriste değerlendirmesidir. Çalışma, 2020 yılında oluşturulan ve 2026 yılında değiştirilen düzenleyici çerçevedeki Ar-Ge ve Ür-Ge yapısını, proje dosyalarına karşılaştırmalı değerlendirme amacıyla uygulanabilecek tekrarlanabilir bir değerlendirme yöntemine dönüştürmeyi amaçlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Enerji pilot projeleri, Ar-Ge, Ür-Ge, çok boyutlu geçiş hazırlığı, teknoloji hazırlık düzeyi, aşama kapısı, yapılandırılmış içerik analizi

INTRODUCTION

The progression of energy technologies from research to prototyping, pilot deployment, field validation, and wider implementation depends on more than the technical functionality of a technology. “Technology Readiness Levels (TRL)” provide an established framework for assessing technological maturity through a common scale and have been adopted in different research and innovation contexts by NASA, the European Commission, and other organisations (European Commission, 2014; Héder, 2017; Manning, 2023). TRLs are also widely used in the energy sector to track the development of emerging technologies from early-stage concepts towards market deployment. The International Energy Agency (IEA) approaches clean-energy innovation as a progression through prototype, demonstration, early adoption, and maturity stages, while recognising that technological development does not necessarily follow a linear pathway (IEA, 2020). In Türkiye, TÜBİTAK has developed technology-specific TRL assessment questionnaires and a calculation methodology for evaluating technological progress in supported R&D and innovation projects. Its technological progress analysis also considers productisation and pre-commercial readiness and includes 240 projects from the energy sector (TÜBİTAK, 2020).

Nevertheless, technological maturity represents only one dimension of whether an R&D output is ready to progress to a subsequent implementation stage. Sauser et al. (2010) distinguish technology maturity from integration maturity and develop the “Integration Readiness Level (IRL)” to address the latter, which is not captured by TRL alone. Similarly, Kobos et al. (2018) extend technology readiness by introducing “Regulatory Readiness Levels and Market Readiness Levels”, demonstrating the relevance of regulatory and market conditions to technology transition and adoption, particularly in energy-related applications. More recent research has also questioned whether TRLs alone can adequately represent the maturity and progression needs of all innovation processes (Yfanti & Sakkas, 2024). Against this background, this study develops a “Multidimensional Transition Readiness Method” for R&D and product-development (P&D) pilot projects in the electricity and natural gas distribution sectors. Rather than classifying projects solely according to their current level of technological maturity, the proposed method evaluates the conditions required for progression to the next project stage across four dimensions: technical maturity, system and field integration, organisational implementation capacity, and productisation/ pre-commercial readiness.

Methodologically, the study applies structured content analysis to the relevant regulatory provisions, cross-maps the resulting codes with established readiness and Stage-Gate approaches in the literature, and derives a five-level (0–4) transition-readiness scale and stage-transition criteria for each of the four dimensions.

LITERATURE REVIEW

TRL provide a structured basis for assessing the maturity of technologies as they progress from basic principles to demonstrated and operational systems. Originating in the aerospace sector, the TRL concept was subsequently formalised and adopted by NASA, the European Commission, and other research and innovation organisations (European Commission, 2014; Héder, 2017; Manning, 2023). Its application has extended well beyond aerospace, including energy technologies, where technological maturity is a central consideration in moving innovations from research towards demonstration and deployment. The International Energy Agency (IEA, 2020, 2026) uses technology-readiness concepts to characterise the development of clean-energy technologies across innovation stages, while TÜBİTAK (2020) has developed technology-specific TRL questionnaires and a calculation methodology for assessing technological progress in supported R&D and innovation projects in Türkiye. Energy-specific studies further demonstrate the practical value of TRL assessment; for example, Bukar and Asif (2024) applied a multi-method TRL assessment to carbon capture and storage technologies, combining literature evidence, technology mapping, and expert assessment. These applications establish TRL as a useful measure of technical maturity, but they also indicate that progression towards implementation involves conditions extending beyond the maturity of the technology itself.

The expanding application of readiness assessment across technological and organisational settings further illustrates both the usefulness of maturity-based approaches and the need to adapt them to the characteristics of the transition being assessed. In sustainable energy production, Matiyali et al. (2026) combine TRL considerations with techno-economic perspectives in assessing the development trajectory of microbial fuel cells. At the project and organisational levels, Rodrigues et al. (2026) apply TRLs to the maturity assessment of an industrial R&D project, whereas Hecklau et al. (2024) demonstrate a multidimensional technology-audit approach for evaluating the technological maturity and capabilities of research and technology organisations. More recent extensions also demonstrate that readiness frameworks can be tailored to technological contexts that are not fully represented by conventional TRL criteria; Romani et al. (2026), for example, develop an “Open-Source Technology Readiness Level” framework incorporating product and process openness and explicitly position it alongside complementary readiness tools for broader implementation assessment. Collectively, this literature reinforces the distinction between assessing the maturity of a technology itself and assessing whether the broader conditions required for its transition to a subsequent development, implementation, or deployment stage are in place.

This limitation has led to complementary readiness frameworks addressing dimensions that conventional TRL assessment does not explicitly capture. Sauser et al. (2010) distinguish technology maturity from integration maturity, arguing that TRL does not determine the maturity of interactions among technologies and introducing IRL for this purpose. In the energy context, Kobos et al. (2018) similarly extend the readiness perspective through Regulatory Readiness Levels and Market Readiness Levels, demonstrating that even technologically mature solutions may face regulatory and market conditions that influence their transition and adoption. Yfanti and Sakkas (2024) further reconsider TRLs in innovation environments characterised by co-creation, reinforcing the need to view technological maturity within a broader development context.

From a product-development perspective, Stage-Gate approaches provide a complementary logic in which progression occurs through defined stages and decision points rather than through technological maturation alone (Paluch et al., 2020). Recent studies addressing organisational technological readiness, new product development, and stakeholder participation likewise draw attention to organisational and implementation conditions surrounding technology adoption and product development (Ali et al., 2026; Aniceski et al., 2026; Wang et al., 2026). Taken together, these streams of literature support distinguishing technical maturity, system and field integration, organisational implementation capacity, and productisation/ pre-commercial readiness rather than treating readiness as a single technological construct.

This multidimensional perspective is particularly relevant to the regulated electricity and natural gas distribution sectors in Türkiye. "The Procedures and Principles Regarding the Support of Research, Development and Innovation Activities of Electricity and Natural Gas Distribution Companies", originally adopted through Energy Market Regulatory Board Decision No. 9268 of 26 March 2020, establish the institutional framework for the application, evaluation, implementation, monitoring, and reporting of R&D projects (EMRA,2020). The framework was substantially expanded by Board Decision No. 14846 of 3 September 2026, published on 5 September 2026 (EMRA,2026). The amended provisions explicitly define P&D activities in terms of pre-production prototyping, pilot implementation, validation, testing, certification, integration, localisation, pre-commercial maturation, and field implementation. They further establish a formal transition from completed R&D projects to product-development activities, including separate approval, duration and budget conditions, and eligible expenditures for prototyping, integration, laboratory and field testing, qualification, certification, cybersecurity validation, pilot implementation, and demonstration. These provisions create a regulatory progression from R&D outputs towards field implementation and pre-commercial maturation, but they do not themselves constitute a multidimensional readiness measurement framework. Accordingly, the literature and regulatory framework together motivate the development of a "Multidimensional Transition Readiness Method" that translates these requirements into four comparable readiness dimensions and explicit criteria for progression to the next project stage.

METHODOLOGY

This study adopts a "method-development design" based on structured regulatory document analysis and literature-based cross-mapping. The regulatory basis comprises the "*Procedures and Principles Regarding the Support of Research, Development and Innovation Activities of Electricity and Natural Gas Distribution Companies*", established by Board Decision No. 9268 in 2020 and subsequently amended by Board Decision No. 14846 in 2026 (EMRA, 2020, 2026). The documents were systematically examined to identify provisions related to project application, evaluation, implementation, monitoring and reporting, together with requirements concerning product development, prototyping, validation, testing, certification, integration, localisation, pilot implementation, field application and pre-commercial maturation. The regulatory framework explicitly links P&D/demonstration activities to completed R&D projects and specifies approval, duration, budget and eligible expenditure conditions for this transition. Project evaluation and subsequent monitoring and reporting requirements were also considered in the coding process.

In the second stage, the regulatory codes were cross-mapped with established readiness and innovation frameworks rather than treated as an independent maturity scale. Technical-maturity criteria were informed by the TRL literature and its applications in energy innovation (European Commission, 2014; IEA, 2020, 2026; TÜBİTAK, 2020; Bukar & Asif, 2024).

System and field integration criteria were informed particularly by the IRL approach of Sauser et al. (2010), which distinguishes integration maturity from technology maturity. Productisation and pre-commercial readiness criteria were informed by the regulatory and market readiness perspective of Kobos et al. (2018) and the stage-transition logic of "Stage-Gate" approaches (Paluch et al., 2020). Kobos et al. explicitly distinguish technological, regulatory and market readiness in the transition of energy technologies. Organisational implementation criteria were derived from the regulatory requirements concerning institutional responsibility, project evaluation, implementation and monitoring, supported by the organisational-readiness and new-product-development literature (Ali et al., 2026; Aniceski et al., 2026; Wang et al., 2026).

The cross-mapping resulted in four transition-readiness dimensions: (i) technical maturity, (ii) system and field integration, (iii) organisational implementation capacity, and (iv) productisation/pre-commercial readiness. For each dimension, the identified regulatory requirements and corresponding literature-based readiness concepts were converted into a five-level scale ranging from 0 to 4 and associated stage-transition criteria. Level descriptors were formulated by ordering the coded evidence from the absence or initial definition of a transition requirement through its progressive development, demonstration and sufficient evidence for progression to the subsequent project stage. The levels therefore represent dimension-specific transition evidence rather than a new technology-maturity scale. The resulting "Multidimensional Transition Readiness Method" therefore evaluates whether the technical and non-technical conditions required for progression to the next project stage are present, rather than replacing or modifying the conventional TRL scale. Since the method is developed from regulatory documents and literature and is not tested on actual project files in this study, the resulting framework should be regarded as a methodological framework for subsequent empirical application and validation, rather than as an empirically validated project-performance measure.

Figure 1 shows the methodological flow of the study, beginning with the structured analysis of the EMRA regulatory framework and continuing with the cross-mapping of regulatory requirements against established readiness and innovation frameworks. This process links TRL-based technological maturity, integration readiness, regulatory and market readiness, Stage-Gate logic, and organisational readiness to four transition-readiness dimensions: technical maturity, system and field integration, organisational implementation capacity, and productisation/pre-commercial readiness. These dimensions are subsequently operationalised through dimension-specific criteria across five levels (0–4), resulting in a multidimensional readiness profile for assessing progression to the subsequent project stage.

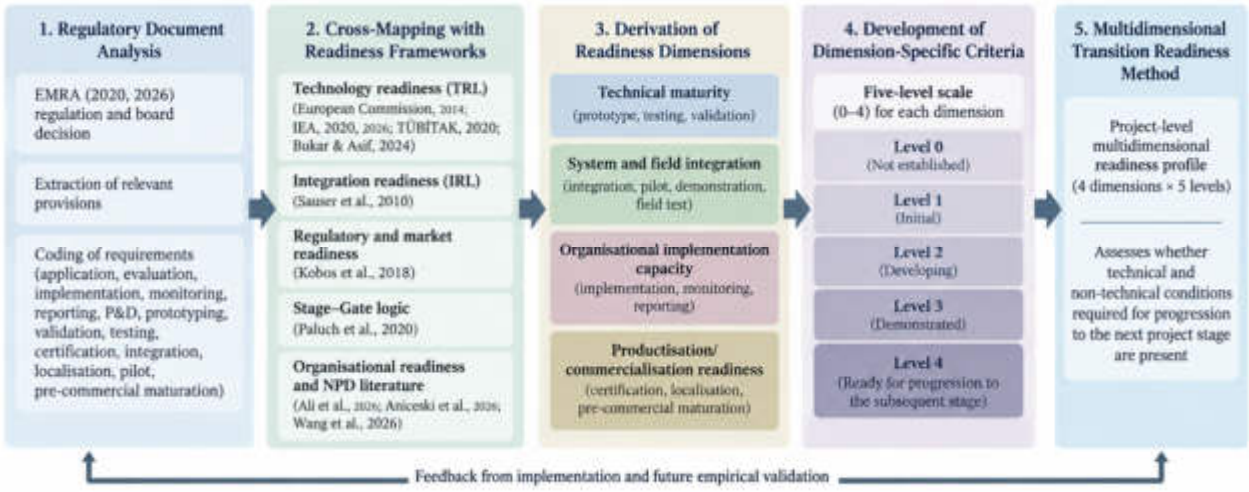


Figure-1: Methodological flow for developing the Multidimensional Transition Readiness Method through regulatory analysis and literature-based cross-mapping.

Structured Analysis of Transition-Readiness Requirements

The structured analysis identified a substantive shift from a predominantly R&D-oriented project framework towards a more explicit transition pathway linking completed R&D outputs with product development, pilot implementation, field validation and pre-commercial maturation. The 2026 amendments are particularly important in this respect. P&D was explicitly defined to include pre-production prototype development, pilot implementation, validation, testing, certification, integration, localisation, pre-commercial maturation and field applications. The amendments also introduced specific expenditure categories for prototype development and integration, laboratory and field testing, qualification and certification, software and cybersecurity validation, pilot and demonstration activities, and collaborative product development.

However, the structured analysis showed that these requirements do not represent a single maturity construct. Instead, they correspond to different conditions of transition readiness. Prototype development, testing and validation primarily concern technical maturity; integration, pilot implementation, demonstration and field testing concern system and field integration; application, approval, stakeholder competence, implementation, monitoring and reporting concern organisational implementation capacity; and certification, localisation, product development and pre-commercial maturation concern productisation/ pre-commercial readiness. This interpretation is consistent with the distinction between technological and integration maturity established by Sauser et al. (2010), the regulatory and market readiness perspective of Kobos et al. (2018), and the stage-transition logic represented in Stage-Gate approaches (Paluch et al., 2020). TRL-based frameworks provide the principal reference for the technical-maturity dimension (European Commission, 2014; IEA, 2020, 2026; TÜBİTAK, 2020; Bukar & Asif, 2024), while organisational-readiness and new-product-development studies support the organisational dimension (Ali et al., 2026; Aniceski et al., 2026; Wang et al., 2026).

Table-1 presents the resulting regulatory–literature cross-mapping and the derivation of the four transition-readiness dimensions.

Table-1: Structured cross-mapping of regulatory requirements, regulatory developments, and literature-based readiness concepts used to derive the four transition-readiness dimensions.

Regulatory evidence / coded requirement	Regulatory development	Literature-based analytical basis	Derived transition-readiness dimension
R&D output, scientific and technological characteristics, originality, prototype development, validation and testing	Existing R&D assessment requirements are complemented in 2026 by explicit P&D provisions covering prototype development, verification and validation.	TRL and energy-technology maturity frameworks (European Commission, 2014; IEA, 2020, 2026; TÜBİTAK, 2020; Bukar & Asif, 2024)	**Technical maturity**
Integration, laboratory and field testing, pilot implementation, demonstration and field application	The 2026 amendment explicitly incorporates integration, pilot application, field demonstration and field-oriented development into eligible P&D activities.	Integration Readiness Level and distinction between technology and integration maturity (Sauser et al., 2010)	**System and field integration**
Project application and approval, stakeholder competence, internal-unit assessment, implementation, monitoring, documentation and reporting	Existing governance requirements are retained and strengthened within a transition process in which P&D requires Commission approval and documented implementation.	Organisational technological readiness and NPD implementation literature (Ali et al., 2026; Aniceski et al., 2026; Wang et al., 2026)	**Organisational implementation capacity**
Product development, certification, localisation, intellectual-property-related activities and pre-commercial maturation	The 2026 amendment explicitly introduces P&D and defines activities extending beyond R&D completion towards product development and pre-commercial maturation, while excluding commercial production and mass manufacturing.	Regulatory and market readiness (Kobos et al., 2018) and Stage-Gate transition logic (Paluch et al., 2020)	**Productisation/ pre-commercial readiness**

The cross-mapping indicates that the regulatory transition requirements cannot be represented by technological maturity alone. Rather, they form four analytically distinct dimensions covering technology, system and field integration, organisational implementation, and productisation/.

Development of the Multidimensional Transition Readiness Method

Based on the four dimensions derived through the regulatory-literature cross-mapping, dimension-specific transition criteria were organised into five readiness levels ranging from 0 to 4. The dimensions are assessed separately because progression in technical maturity does not necessarily imply equivalent readiness for system and field integration, organisational implementation, or productisation/ pre-commercial readiness. Accordingly, the proposed method generates a multidimensional readiness profile rather than a single aggregated maturity score and does not replace or modify the conventional TRL scale. Table-2 presents the dimension-specific criteria used to operationalise the "Multidimensional Transition Readiness Method".

Table-2: Dimension-specific criteria of the *Multidimensional Transition Readiness Method* across readiness levels 0–4

Level	Technical maturity	System and field integration	Organisational implementation capacity	Productisation/pre-commercial readiness
0	Technical concept or expected output is not sufficiently defined for assessment.	Integration requirements and target operational environment are not defined.	Responsible units, implementation responsibilities and required organisational arrangements are not defined.	Product-development pathway, intended output and pre-commercial requirements are not defined.
1	Technical concept and expected output are defined, but prototype, testing and validation evidence is not yet available.	Required interfaces, system dependencies and field conditions are identified, but integration has not been demonstrated.	Relevant units, stakeholders and implementation requirements are identified, but implementation arrangements remain preliminary.	Potential product output and product-development requirements are identified, but certification, localisation and other pre-commercial requirements remain preliminary.
2	Prototype or equivalent technical output has been developed and initial verification or testing evidence is available.	Initial integration and laboratory or controlled-environment testing have been undertaken, but field evidence remains limited.	Responsibilities, stakeholder capabilities, implementation arrangements and monitoring requirements are defined and partially operationalised.	Product development has progressed beyond the R&D output, with relevant certification, localisation, IP or pre-commercial requirements under development.

3	Technical performance has been demonstrated through relevant validation and testing.	Integration has been demonstrated through pilot, field test or demonstration activities in a relevant operational environment.	Implementation responsibilities, approvals, monitoring, documentation and reporting arrangements are operational and evidenced.	Product-development activities, including applicable certification, localisation and pre-commercial maturation requirements, are substantially evidenced.
4	Technical requirements for progression to the subsequent project stage are evidenced through completed development, testing and validation.	System integration and field applicability are sufficiently evidenced for progression to the subsequent stage.	Organisational responsibilities, competencies, approvals, monitoring and reporting requirements necessary for progression are evidenced.	Applicable product-development, certification, localisation and pre-commercial maturation requirements are sufficiently evidenced for progression beyond the current stage.

The 2026 regulatory changes further provide an identifiable transition boundary between R&D completion and subsequent P&D activities: the P&D application must follow submission of the related R&D project result report, must be made within three months, and requires Commission approval. Its duration is limited to 50% of the initially approved R&D project duration and its budget to 30% of the initially approved R&D project budget; at least 15% of the R&D budget is to be allocated to P&D activities. Importantly, eligible P&D expenditures must not become investments directed towards commercial production, mass manufacturing or widespread use. These provisions establish a regulatory boundary for the proposed method: its highest readiness level represents readiness to progress towards P&D, pilot/field implementation, and pre-commercial maturation rather than achievement of full commercial deployment. Accordingly, Level 4 indicates readiness for progression to the subsequent project stage, not commercial readiness.

CONCLUSION

This study developed a Multidimensional Transition Readiness Method for assessing the progression of R&D outputs towards P&D, pilot and field implementation, and pre-commercial maturation in regulated electricity and natural gas distribution activities. Structured analysis of the EMRA regulatory framework showed that the 2026 amendments extend the existing R&D framework by explicitly incorporating prototype development, validation and testing, integration, pilot and demonstration activities, certification, localisation, and pre-commercial maturation. These regulatory requirements were systematically aligned with TRL-based technological maturity (European Commission, 2014; IEA, 2020, 2026; TÜBİTAK, 2020), integration readiness (Sauser et al., 2010), regulatory and market readiness (Kobos et al., 2018), Stage-Gate logic (Paluch et al., 2020), and organisational and new-product-development perspectives. This cross-mapping resulted in four complementary dimensions: technical maturity, system and field integration, organisational implementation capacity, and productisation/ pre-commercial readiness. Importantly, the highest readiness level does not indicate full commercial readiness; consistent with the regulatory boundary of the P&D framework, Level 4 represents readiness for progression to the subsequent project stage, including P&D, pilot/field implementation, and pre-commercial maturation.

The proposed framework contributes by distinguishing technology maturity from transition readiness. Rather than assuming that a technically mature R&D output is automatically ready for subsequent implementation, it evaluates whether the technical and non-technical conditions required for progression are present across the four dimensions. In this way, the method retains TRL as the reference for technological maturity while extending the assessment to system integration, organisational implementation, and productisation conditions.

The framework provides a structured and reproducible basis for comparing transition readiness across energy-sector R&D and P&D projects and may support more consistent project evaluation, monitoring and stage-transition decisions. Since the method has not yet been applied to actual project files, its next step is empirical application and validation using completed and ongoing projects. Such validation would allow the discriminatory capacity of the four dimensions and their transition criteria to be tested and, where necessary, refined.

REFERENCES

Ali, A., Akhonzada, A. R., Ayaz, E. S., Bukhari, S. M., & Jan, A. (2026). Adoption of smart energy management systems and industrial energy efficiency: The moderating role of organizational technological readiness in Pakistan. Spectrum of Engineering Sciences, 4(3), 145–155.

Aniceski, T. A., Canciglieri, A. B., Canciglieri Junior, O., Nara, E. O. B., & Benitez, G. B. (2026). New product development in the Industry 4.0 era: A literature review and research agenda. Production Planning & Control, 37(6), 619–643.

Bukar, A. M., & Asif, M. (2024). Technology readiness level assessment of carbon capture and storage technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 200, 114578. https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114578

Energy Market Regulatory Board. (2020, April 4). Procedures and principles regarding the support of research, development and innovation activities of electricity and natural gas distribution companies (Board Decision No. 9268). Official Gazette, No. 31089.

Energy Market Regulatory Board. (2026, September 5). Board decision amending the procedures and principles regarding the support of research, development and innovation activities of electricity and natural gas distribution companies (Board Decision No. 14846). Official Gazette, No. 33361.

European Association of Research and Technology Organisations. (2014). The TRL scale as a research & innovation policy tool: EARTO recommendations.

European Commission. (2014). Technology readiness levels (TRL): Extract from Part 19—Commission Decision C(2014)4995.

European Space Agency. (2008). Technology readiness levels handbook for space applications (Version 1, Revision 6, TEC-SHS/5551/MG/ap).

Hecklau, F., Will, M., Kidschun, F., Kohl, H., Pavim, A. X., & Böhm, J. L. (2024, September). Technology audit: Results of the assessment of the technological maturity of Brazilian innovation institutes. In European Conference on Innovation and Entrepreneurship (pp. 245–251). Academic Conferences International Limited.

Héder, M. (2017). From NASA to EU: The evolution of the TRL scale in public sector innovation. The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal, 22(2), 1–23.

International Energy Agency. (2020). Clean energy innovation.

International Energy Agency. (2026). ETP clean energy technology guide.

Kobos, P.H., Malczynski, L.A., Walker, L.T.N., Borns, D.J., Klise, G.T.: Timing is everything: a technology transition framework for regulatory and market readiness levels. Technol. Forecast. Soc. Chang. 137, 211–225 (2018). https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.052

Manning, C. G. (2023, September 27). Technology readiness levels. National Aeronautics and Space Administration.

Matiyali, K., Pandey, K., Jessieleena, A. A., Saxena, S., Bhandari, V., Negi, S., … Phulara, S. C. (2026). A critical review of bibliometric insights, technology readiness levels, and techno-economic aspects of microbial fuel cells toward sustainable energy production. BioEnergy Research, 19(1), 111.

McNamara, K. M. (2012, March 20). NASA technology readiness level definitions [Conference presentation]. Performance Metrics for Intelligent Systems, Hyattsville, MD, United States. NASA Johnson Space Center.

Paluch, S., Antons, D., Brettel, M., Hopp, C., Salge, T. O., Piller, F., & Wentzel, D. (2020). Stage-gate and agile development in the digital age: Promises, perils, and boundary conditions. Journal of Business Research, 110, 495–501.

Rodrigues, R. B., Calheiros, E. G., de Carvalho Silva, M. H., Neves, S. M., & da Costa Mineiro, A. A. (2026). Application of technology readiness levels (TRL) in the technology maturity assessment of an R&D project in a Brazilian industrial automation company. REGEPE Entrepreneurship and Small Business Journal, 15, e2899.

Romani, A., Bogoya, A. B., Cruz Sanchez, F. A., Boudaoud, H., Camargo, M., & Pearce, J. M. (2026). Open source technology readiness level assessment and application to the case study of distributed recycling for additive manufacturing. Technological Forecasting and Social Change, 229, 124700. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2026.124700

Sauser, B., Gove, R., Forbes, E., & Ramirez-Marquez, J. E. (2010). Integration maturity metrics: Development of an integration readiness level. Information Knowledge Systems Management, 9(1), 17–46. https://doi.org/10.3233/IKS-2010-0133

TÜBİTAK. (2020). TÜBİTAK desteklenen projelerin teknolojik ilerleme analizi: Özet bulgular. Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı.

Wang, L., Zhang, H., Li, L., Wang, H., Kvinen, T. G., & Karlsen, J. T. (2026). In-role or extra-role stakeholder engagement: What matters for value co-creation in new product development projects. Production Planning & Control, 1–20.

Yfanti, S., & Sakkas, N. (2024). Technology readiness levels (TRLs) in the era of co-creation. Applied System Innovation, 7(2), 32.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

AKILLI AKTARMA NE ZAMAN REKABETÇİ? BİR MİLYON ADAY BAĞLANTIDAN FİYAT VE UYGULANABİLİRLİK BULGULARI

Murat Berker ÖZBEK
Data Science Manager, Wingie Enuygun, Data Science
ORCID: 0009-0006-2763-518X

Yasamin AKRAMİ
Data Scientist, Wingie Enuygun, Data Science
ORCID: 0009-0009-3411-4325

ÖZET
Sanal Aktarma (VI), çevrimiçi seyahat acentelerinin, ayrı biletlenmiş uçuşları self-transfer seyahat planlarında birleştirerek havayollarının tanımladığı ağların ötesinde bağlantılar sunmasını sağlar. Operasyonel önemine rağmen, fiyat rekabetçiliği konusundaki ampirik kanıtlar sınırlı kalmıştır. Bu çalışma, Türkiye çıkışlı trafiğe hizmet veren bir VI sisteminden alınan altı haftalık (Ağustos–Eylül 2026) üretim kayıtlarını analiz etmektedir. Veri seti, 6,42 milyon fiyatlandırılmış aktarma noktası değerlendirmesini ve 1,45 milyon rota-tarih gözlemini içermektedir.
Fiyat rekabetçiliği iki düzeyde değerlendirilmiştir: bireysel aktarma noktası değerlendirmeleri ve belirli bir rota-tarih için tüm aktarma noktaları arasındaki en ucuz uygulanabilir VI seçeneği olarak tanımlanan kullanıcıya sunulan seyahat planı düzeyi. VI, aktarma noktası gözlemlerinin %30,1'inde ve rota-tarihlerin %46,9'unda ortalama doğrudan uçuş ücretinden daha ucuzdur. VI/doğrudan uçuş ücret oranının birinci, ikinci ve üçüncü çeyreklikleri sırasıyla 0,77, 1,03 ve 1,28'dir; ayrıca VI, rota-tarihlerin %41,7'sinde en az %5 daha ucuzdur. En ucuz havayolu tanımlı aktarmalı uçuşla karşılaştırıldığında, VI rota-tarihlerin %49,3'ünde daha ucuzdur; VI/aktarmalı uçuş fiyat oranı P25, P50 ve P75 düzeylerinde sırasıyla 0,87, 1,00 ve 1,21'dir. Doğrudan uçuşlara karşı haftalık kullanıcı düzeyi değerleri beş tam hafta boyunca %40,9–50,8 aralığında kalmıştır. Rekabetçilik, büyük daire mesafesi başına doğrudan uçuş ücreti beşte birlik dilimlerinde %14,8'den %77,4'e yükselirken medyan fiyat oranı 1,27'den 0,67'ye düşmektedir. Bu fiyat avantajı zaman açısından bir ödünleşim yaratmaktadır: en üst sıradaki yayımlanan seçenekte medyan toplam seyahat süresi tahmini aktarmasız uçuş süresinin 1,98 katı, medyan aktarma süresi ise 2,5 saattir. Bulgular, VI'nin doğrudan uçuş ücretlerinin mesafeye göre yüksek olduğu rotalarda daha rekabetçi olduğunu ve self-transfer seçeneklerinin seçici biçimde sunulmasını desteklediğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: virtual interlining, self-transfer, airfare pricing, online travel agency, flight search, route feasibility.

WHEN IS VIRTUAL INTERLINING COMPETITIVE? PRICE AND FEASIBILITY EVIDENCE FROM ONE MILLION CANDIDATE CONNECTIONS

ABSTRACT
Virtual Interlining (VI) enables online travel agencies to offer connections beyond airline-defined networks by combining separately ticketed flights into self-transfer itineraries. Despite its operational significance, empirical evidence regarding its price competitiveness has been limited. This study analyzes six weeks of production logs (August–September 2026) from a VI system serving traffic originating in Türkiye. The dataset comprises 6.42 million priced hub evaluations and 1.45 million route-date observations.

Competitiveness is assessed at two levels: individual hub evaluations and the traveler-facing itinerary level, defined as the cheapest feasible VI option across all hubs for a route-date. VI is cheaper than the average direct fare in 30.1% of hub evaluations and 46.9% of route-dates. The VI-to-direct fare-ratio distribution is heterogeneous, with first, second, and third quartiles of 0.77, 1.03, and 1.28, respectively; VI is at least 5% cheaper in 41.7% of route-dates. Against the cheapest airline-defined transfer, VI is cheaper in 49.3% of route-dates, with fare ratios of 0.87 / 1.00 / 1.21 at p25 / p50 / p75. Weekly traveler-facing values against direct fares remain stable across five complete weeks, ranging from 40.9% to 50.8%. Competitiveness rises systematically with direct-fare intensity, from 14.8% to 77.4% across quintiles of direct fare per great-circle kilometer, while the median fare ratio declines from 1.27 to 0.67. This price advantage entails a time trade-off: the top-ranked published itinerary has a median total travel time 1.98 times the estimated non-stop duration and a median layover of 2.5 hours. Overall, VI is most competitive where direct fares are high relative to distance, supporting selective rather than universal presentation of self-transfer itineraries.
Keywords: virtual interlining, self-transfer, airfare pricing, online travel agency, flight search, route feasibility.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

DOES TRAVELLING MODE MATTER? EXPERIENCE QUALITY AND PLACE ATTACHMENT AMONG INDEPENDENT AND PACKAGE MUSLIM TRAVELLERS IN KUALA LUMPUR

Asim Alamssi
Graduate School of Business, Universiti Kebangsaan Malaysia

Ahmad Azmi M. Ariffin
Graduate School of Business, Universiti Kebangsaan Malaysia

Nur Wafaa Abdullah Shaimi
Graduate School of Business, Universiti Kebangsaan Malaysia

Abstract
This paper examines whether travelling mode is associated with experience quality and place attachment among Muslim visitors to Kuala Lumpur (KL). Independent travel offers greater control over activities and pace, whereas package tours provide structure and convenience. The analysis covers 649 Muslim visitors: 597 independent travellers and 52 package tourists. Independent travellers reported significantly higher experience quality ($M = 5.568$, $SD = 0.950$) than package tourists ($M = 5.234$, $SD = 1.033$; $p = .016$; $d = .349$). Place attachment was also higher among independent travellers ($M = 5.729$, $SD = 0.892$) than package tourists ($M = 5.450$, $SD = 1.062$), but the Welch test was not significant at .05 ($p = .070$; $d = .309$). The findings suggest that freedom and personal control may improve how Muslim tourists experience KL, but a better experience does not automatically create a significantly stronger emotional bond with the city. The results support more flexible and participative approaches to Muslim-friendly package tourism.
Keywords: independent traveller; package tour; travelling mode; experience quality; place attachment; Muslim tourists; Kuala Lumpur

1. Introduction

The way tourists organise a trip can shape their experience at the destination. Package tourists receive a pre-arranged combination of services that reduces planning effort and uncertainty. Independent travellers make more decisions themselves and normally have greater freedom over where they go, how long they stay and how they use their time. These differences may influence not only the convenience of the trip but also the quality and personal meaning of the destination experience.

The issue is particularly relevant in Kuala Lumpur, where Muslim visitors can combine a modern multicultural city experience with relatively accessible halal food, prayer facilities and other Muslim-friendly services. Islamic destination attributes can contribute to Muslim tourist satisfaction (Battour et al., 2014), while recent work continues to show that Muslim-friendly tourism experiences are shaped by halal food, prayer needs, safety, privacy and other destination conditions (Adham et al., 2025). In a supportive destination environment, tourists may therefore need less assistance from a highly structured package simply to meet everyday religious requirements. Independent Muslim travellers may therefore enjoy both religious convenience and greater freedom to explore KL. This paper asks whether experience quality and place attachment differ between independent and package Muslim travellers.

2. Travelling Mode, Experience Quality and Place Attachment

2.1 Independent and Package Travel

Package tourism coordinates accommodation, transport, sightseeing and destination services, while tour guides can influence satisfaction with guiding and tour services (Huang et al., 2010). Yet the overall holiday extends beyond what an operator controls. Räikkönen and Honkanen (2013) found that satisfaction with package components explained only part of vacation success, underlining the tourist's own role in creating the experience.

Independent travel provides more room for participation because visitors can change plans, adjust their pace and choose activities according to personal preferences. Chen et al. (2016) found that package tourism could be associated with lower satisfaction despite its financial advantages. The value of independent travel may therefore lie less in the absence of organisation than in greater autonomy.

2.2 Muslim-Friendly Urban Tourism in KL

For Muslim tourists, destination conditions can affect the usefulness of each travelling mode. In destinations where halal food or prayer facilities are difficult to locate, a package may reduce considerable uncertainty. KL offers a different situation. Muslim-friendly facilities form part of the normal urban environment while the city also offers shopping, food, heritage, entertainment and multicultural neighbourhoods. Recent KL-specific studies emphasise the roles of destination attractiveness, involvement and experience quality in understanding Muslim tourists' attachment to the city (Shaimi & Ariffin, 2024a, 2024b). When basic religious needs can be managed relatively easily, independent visitors may have greater opportunity to concentrate on the wider city experience.

2.3 Experience Quality and Place Attachment

Experience quality reflects the psychological outcome of participation in tourism activities, including enjoyment, involvement, novelty and escape. Travelling mode may affect this outcome because it determines how much control tourists have over their participation. Place attachment is deeper. It reflects meaning, identification, belonging and preference associated with a place. Tourism experience can contribute to attachment, but the two are not identical. Recent evidence continues to support the link between tourism experience and place attachment. Memorable halal tourism experiences have been shown to strengthen place attachment among Muslim tourists (Sthapit et al., 2024), while Zhang et al. (2024) similarly found experience quality to be important in the formation of place attachment. Vada et al. (2019) also showed that memorable tourism experiences strengthen place attachment through tourists' well-being. A visitor can therefore enjoy a destination without necessarily developing a strong emotional bond with it.

Accordingly, the study addresses two questions: (RQ1) Does experience quality differ between independent and package Muslim travellers in KL? and (RQ2) Does place attachment differ between the two travelling modes? The analysis examines group differences and does not assume a causal effect of travelling mode.

3. Method

Survey data were collected from Muslim visitors to Kuala Lumpur. Experience quality was measured using 11 items and place attachment using eight items, with responses recorded on seven-point scales. The present analysis contains 649 respondents with valid travelling-mode information: 597 independent travellers and 52 package tourists. Composite scores were obtained by averaging the relevant items.

Independent-samples comparisons were conducted for both outcomes. Equality of variance was acceptable for experience quality (Levene's p = .337), whereas it was violated for place attachment (Levene's p = .007). The conventional independent-samples result is therefore reported for experience quality and the Welch result for place attachment. Cohen's d was calculated to indicate the magnitude of each difference.

4. Findings

Table 1. Experience Quality and Place Attachment by Travelling Mode

Variable	Independent M	SD	Package M	SD	Difference	p	d
Experience Quality	5.568	0.950	5.234	1.033	0.334	.016	.349
Place Attachment	5.729	0.892	5.450	1.062	0.279	.070	.309

Independent travellers reported significantly higher experience quality (M = 5.568) than package tourists (M = 5.234). The difference of 0.334 points was significant (p = .016), with Cohen's d = .349, indicating a small-to-moderate difference. Travelling independently was therefore associated with a more positive evaluation of the KL experience.

Place attachment followed the same direction but produced a less conclusive result. Independent travellers recorded M = 5.729 compared with M = 5.450 among package tourists. Because the variance assumption was violated, the Welch test was used. The difference was not significant at .05 (p = .070), although d = .309 indicates a small difference. Independent travellers were somewhat more attached to KL, but the evidence is insufficient to conclude that travelling mode produces a reliable difference in attachment.

5. Discussion

The clearest finding is that travelling mode matters more for experience quality than for place attachment. Independent Muslim travellers evaluated their KL experience more positively. Greater autonomy offers a straightforward explanation. Independent visitors can select attractions, alter their pace, choose where to eat and spend more time on activities that fit their interests. Their experience can continuously adjust to personal preferences rather than following the average needs of a group.

KL's Muslim-friendly setting may strengthen this advantage. Where halal food and prayer facilities are relatively accessible, Muslim tourists can explore independently without relying heavily on an operator to arrange basic religious needs. Muslim-friendliness therefore acts as an enabling environment: it reduces practical concerns and gives visitors more room to experience the wider city. Islamic attributes remain important (Battour et al., 2014), but their value may partly lie in making self-directed exploration easier.

Place attachment tells a different story. Although independent travellers recorded a higher mean, the difference was not statistically significant. Freedom to explore may improve the immediate experience without automatically creating a deeper bond with KL. Attachment requires meaning, identification and memorable interaction with the place. This is consistent with evidence linking tourism experiences with place attachment (Sthapit et al., 2024; Zhang et al., 2024) and with KL-specific work connecting destination attractiveness, involvement and experience quality with attachment (Shaimi & Ariffin, 2024a, 2024b). Recent studies also continue to position place attachment as an important mechanism connecting destination experiences with later behavioural responses (González-Reverté et al., 2025; Rodrigues et al., 2024). What tourists actually do with their freedom may therefore matter more for attachment than travelling independently by itself.

5.1 Implications for Kuala Lumpur and Tour Operators

The practical implication is not to replace packages with independent travel, but to make organised tourism more flexible. Muslim-oriented packages can retain reliable transport, suitable meals and scheduling around religious needs while allowing discretionary time, optional activities and opportunities for visitors to explore selected areas on their own.

6. Conclusion

Independent Muslim travellers reported significantly better experience quality than package tourists in Kuala Lumpur, while their higher place attachment did not reach conventional statistical significance. The results suggest that autonomy and personal control may enhance the way visitors experience KL, but stronger attachment requires more than travelling mode alone. Package tourism can therefore remain organised while giving tourists greater room to participate in creating their own destination experience.

The findings should be interpreted cautiously because the groups are highly unequal and the cross-sectional analysis cannot establish causality. Future research could control for age, nationality, travel experience and length of stay, test experience quality as a mediator, and identify whether autonomy, flexibility or local interaction explains the advantage associated with independent travel.

Acknowledgement

This study is funded by the Fundamental Research Grant by The Ministry of Higher Education with code: FRGS/1/2025/SS01/UKM/01/2

References

Adham, K. A., Mahmad Nasir, N., Sinaau, A., Shaznie, A., & Munawar, A. (2025). Halal tourism on an island destination: Muslim travellers' experiences in the local islands of the Maldives. Journal of Islamic Marketing, 16(1), 236–257. doi:10.1108/JIMA-07-2023-0232

Battour, M., Battor, M., & Bhatti, M. A. (2014). Islamic attributes of destination: Construct development and measurement validation, and their impact on tourist satisfaction. International Journal of Tourism Research, 16(6), 556–564. doi:10.1002/jtr.1947

Chen, Y., Schuckert, M., Song, H., & Chon, K. (2016). Why can package tours hurt tourists? Evidence from China's tourism demand in Hong Kong. Journal of Travel Research, 55(4), 427–439. doi:10.1177/0047287515612597

González-Reverté, F., Corrons, A., & Gomis-López, J. M. (2025). Exploring the role of memorable tourism experiences and place attachment in the revisit intention of tourists staying in short-term rentals. Journal of Hospitality and Tourism Insights, 8(11), 79–99. doi:10.1108/JHTI-05-2024-0451

Huang, S., Hsu, C. H. C., & Chan, A. (2010). Tour guide performance and tourist satisfaction: A study of the package tours in Shanghai. Journal of Hospitality & Tourism Research, 34(1), 3–33. doi:10.1177/1096348009349815

Räikkönen, J., & Honkanen, A. (2013). Does satisfaction with package tours lead to successful vacation experiences? Journal of Destination Marketing & Management, 2(2), 108–117. doi:10.1016/j.jdmm.2013.03.002

Rodrigues, R., Madeira, A., & Palrão, T. (2024). Beyond a lasting impression: Exploring the impact of brand image on revisit intention, unveiling place attachment as a mediating mechanism. Journal of Destination Marketing & Management, 33, 100927. doi:10.1016/j.jdmm.2024.100927

Shaimi, N. W. A., & Ariffin, A. A. M. (2024a). Kuala Lumpur as an Islamic city tourism destination: The influence of place attractiveness and experience quality on place attachment. International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences, 14(1), 61–80. doi:10.6007/IJARAFMS/v14-i1/19847

Shaimi, N. W. A., & Ariffin, A. A. M. (2024b). KL as an Islamic city tourism destination: The influence of place involvement and experience quality on place attachment. International Journal of Marketing Studies, 16(1), 89. doi:10.5539/ijms.v16n1p89

Sthapit, E., Björk, P., Coudounaris, D. N., & Jiménez-Barreto, J. (2024). Memorable halal tourism experience and its effects on place attachment. International Journal of Hospitality & Tourism Administration, 25(3), 575–601. doi:10.1080/15256480.2022.2135666

Vada, S., Prentice, C., & Hsiao, A. (2019). The influence of tourism experience and well-being on place attachment. Journal of Retailing and Consumer Services, 47, 322–330. doi:10.1016/j.jretconser.2018.12.007

Zhang, J., Jin, L., Pan, X., & Wang, Y. (2024). Pro-environmental behavior of tourists in ecotourism scenic spots: The promoting role of tourist experience quality in place attachment. Sustainability, 16(20), 8984. doi:10.3390/su16208984.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

FACTORS INFLUENCING GENERATION Z'S INTENTION TO USE ECO-FRIENDLY PERSONAL BAGS WHEN SHOPPING FOR GOODS

Huynh Thi Cam Le
Nha Trang University

Pham Nguyen Hong Nhung
Nha Trang University

Nguyen Thi Nga
Nha Trang University

Dao Hoang Lan Anh
Nha Trang University

Abstract
This study utilizes an extended Theory of Planned Behavior (TPB) model incorporating five factors: attitude, perceived behavioral control, subjective norms, self-identity, and environmental concern to examine the factors influencing Generation Z's intention to use eco-friendly personal bags when shopping in the Nha Trang market. The research employs SPSS software for data analysis based on a sample size of 500 Gen Z individuals living in Nha Trang. The findings reveal that attitude, perceived behavioral control, self-identity, and environmental concern all have a positive impact on Gen Z's intention to use eco-friendly personal bags when shopping. The results indicate that the research model fits the data well, explaining 46.3% of the variance in Gen Z's intention to use eco-friendly personal bags when purchasing products. These findings are expected to propose policy implications to increase the usage of eco-friendly personal bags among Gen Z, thereby enhancing their awareness and responsibility toward environmental protection.
Keywords: Nha Trang, TPB, Gen Z, Eco-friendly personal bags

1. Introduction

Environmental pollution has always been a pressing global issue today. According to 2024 statistics, the world discharged up to 300 million tons of plastic waste into the environment, while Vietnam generates an average of 1.8 million tons annually, most of which are plastic bags (Nhi Anh, 2024). Plastic bags are mainly recycled from contaminated plastic, containing heavy metals and additives that negatively affect human health. Furthermore, plastic bags can take up to thousands of years to decompose; instead, they break down into microscopic microplastic fragments, polluting soil, water sources, and the food chain. Although numerous domestic and international studies have discussed the factors influencing the intention to use eco-friendly bags. Foreign studies can be exemplified by the research titled “Residents’ Green Purchasing Intentions in a Developing-Country Context: Integrating PLS-SEM and MGA Methods” by Wang et al. (2020), and the study “Emerging market’s consumer intention towards the use of eco-friendly shopping bags in retail stores” by Chatrakamollathas & Nuengchamnong (2024). Meanwhile, domestic studies include the research titled “Factors influencing consumers' intention and behavior of using eco-friendly bags at supermarkets in Hue City” by Cai Trinh Minh Quoc et al. (2020), the study “Factors affecting Vietnamese people’s intention to use eco-friendly bags when shopping” by Nguyen Thi Cam Loan et al. (2025), and the research “Factors influencing consumers' intention to use eco-bags when shopping in Ho Chi Minh City” by Du Thi Chung & Phan Hong Nhi (2023).

The results from the aforementioned studies have achieved significant success in examining green purchasing intentions and the usage of eco-friendly shopping bags. However, prior research has predominantly focused on general eco-friendly bags rather than specifically investigating personal eco-friendly bags brought by consumers themselves, nor has it specifically targeted Generation Z in the Nha Trang market. Furthermore, Nha Trang is progressively transforming into a dynamic tourist city rich in national cultural identity, while aiming to become an international-class tourism hub and a leading research center in Vietnam by 2040 (Thanh Nguyen, 2024). However, this process also poses numerous challenges, as population growth, increasing tourist arrivals, and expanding tourism, commercial, and consumer activities may escalate the volume of waste discharged into the environment, particularly plastic waste and bags. Notably, as a hub that attracts a large population of Generation Z for studying, working, and living each year, Nha Trang sees this demographic as a significant participant in daily shopping activities and a key driver in shaping future consumption habits. Therefore, an in-depth study on the factors influencing Generation Z's intention to use personal eco-friendly bags when shopping not only deciphers their psychological drivers regarding personal bag usage but also assists local authorities and businesses in implementing solutions and policies to mitigate environmental pollution, thereby encouraging Generation Z to transition toward personal eco-friendly bags.

2. Literature review and research hypotheses

2.1. Literature review

The Theory of Planned Behavior (TPB) was developed by Ajzen in 1991. The TPB framework has been widely validated and applied across various contexts to explain consumer intentions and behaviors, such as clean food consumption (Nguyen Thi Nga & Le Thien Lap, 2021), reducing plastic usage (Le Chi Cong & Hoang Thi Thu Phuong, 2020), and minimizing plastic bag usage (Nguyen Thi Bao Dung & Nguyen Thi Cuc, 2021). According to this theory, intention is influenced by three primary factors: attitude, subjective norm, and perceived behavioral control. First, attitude refers to an individual's positive or negative evaluation of the outcomes of performing a specific behavior. Second, subjective norm captures the perceived social pressures an individual feels to perform or not perform the behavior. Finally, perceived behavioral control refers to an individual's perceived capability to perform a specific behavior, reflecting whether executing that behavior is easy or difficult, and whether it is controlled or restricted by resources and opportunities.

2.2 Research hypotheses

2.2.1. Attitude (ATT)

According to Ajzen (1991), intention is directly shaped by an individual's evaluation; the more positive the attitude, the stronger the intention to perform the behavior, and vice versa. Both the Theory of Reasoned Action (TRA) and the Theory of Planned Behavior (TPB) have demonstrated that consumer behavioral intention is significantly influenced by attitude as a crucial factor (Ajzen, 1991; Fishbein & Ajzen, 1975). Studies by Cai Trinh Minh Quoc et al. (2020) and Agyeman & Badugu (2017) confirmed that consumers with a favorable attitude toward eco-friendly bags exhibit a higher intention to use them. The trend of bringing one's own personal bag reflects an individual's lifestyle, autonomy, and responsibility; thus, a positive evaluation of the intention/behavior to bring a personal bag serves as a driving force to stimulate individual usage intentions (Nguyen et al., 2022). Based on the aforementioned arguments, this study proposes the first hypothesis:

H1: Attitude toward personal eco-friendly bags has a positive impact on the intention to use personal eco-friendly bags.

2.2.2 Perceived Behavioral Control (PBC)

According to Wang et al. (2020), perceived behavioral control refers to the degree of an individual's perception regarding the ease or difficulty of performing a specific behavior. Perceived behavioral control comprises the perception of control ability and self-confidence in one's own competence (Ajzen, 1991). Studies by Nguyen Thi Cam Loan et al. (2025) and Nguyen et al. (2022) confirmed that control has a positive impact on the intention to use eco-friendly bags when shopping for products/goods. Similarly, research by Chatrakamollathas & Nuengchamnong (2024) also asserted that perceived behavioral control positively influences the intention to use eco-friendly shopping bags. It can be seen that when consumers believe that using personal eco-friendly bags is feasible and within their capability, it will influence their intention. Based on the aforementioned arguments, this study proposes the second hypothesis:H2: Perceived behavioral control has a positive impact on the intention to use personal eco-friendly bags.

2.2.3. Subjective Norm (SN)

Subjective norm refers to the social pressures perceived by an individual from surrounding people, which influence the decision of whether or not to perform a specific behavior (Ajzen, 1991). Chatrakamollathas & Nuengchamnong (2024) suggested that, from a consumer perspective, the perception of important individuals in their lives influences the intention to use eco-friendly shopping bags. According to Wang et al. (2020), an individual will perform a specific action based on social pressure that can stem from laws, regulations, and incentive policies, directly affecting green consumption intentions. Furthermore, Cai Trinh Minh Quoc et al. (2020) and Arı & Yilmaz (2017) also argued that individuals who experience social pressure tend to use eco-friendly bags instead of plastic bags when shopping. Based on the aforementioned arguments, this study proposes the third hypothesis:
H3: Subjective norm has a positive impact on the intention to use personal eco-friendly bags.

2.2.4. Self-Identity (SI)

Du Thi Chung & Phan Hong Nhi (2023) argued that a consumer's self-identity is expressed through the meaning of the products they use, and that self-identity has an impact on the intention to use eco-bags. Self-identity reflects the degree to which an individual evaluates themselves in meeting social norms (Conner & Armitage, 1998). Pickett-Baker & Ozaki (2008) and Lee (2008) discovered that an environmentally oriented self-identity influences the purchasing behavior and usage of green products. This indicates that when consumers value maintaining a self-identity associated with environmental protection awareness, they tend to have an increased intention to use personal eco-friendly bags when shopping. Based on the aforementioned arguments, this study proposes the fourth hypothesis:
H4: Self-identity has a positive impact on the intention to use personal eco-friendly bags.

2.2.5. Environmental Concern (EC)

According to Hessami & Yousefi (2013), environmental concern is the degree to which an individual is aware of, cares about, and is worried about environmental issues, while also reflecting their attitude and responsibility toward contributing to environmental protection efforts. Research by Nguyen Thi Cam Loan et al. (2025) indicated that environmental concern positively influences the intention to use eco-friendly bags. According to Wang et al. (2020), when consumers are highly concerned about environmental issues, they are more willing to use eco-friendly products.

This concern is manifested through the behavior of seeking and selecting alternative bags to replace single-use plastic bags, thereby minimizing the negative consequences faced by the environment. Based on the aforementioned arguments, this study proposes the fifth hypothesis:

H5: Environmental concern has a positive impact on the intention to use personal eco-friendly bags.

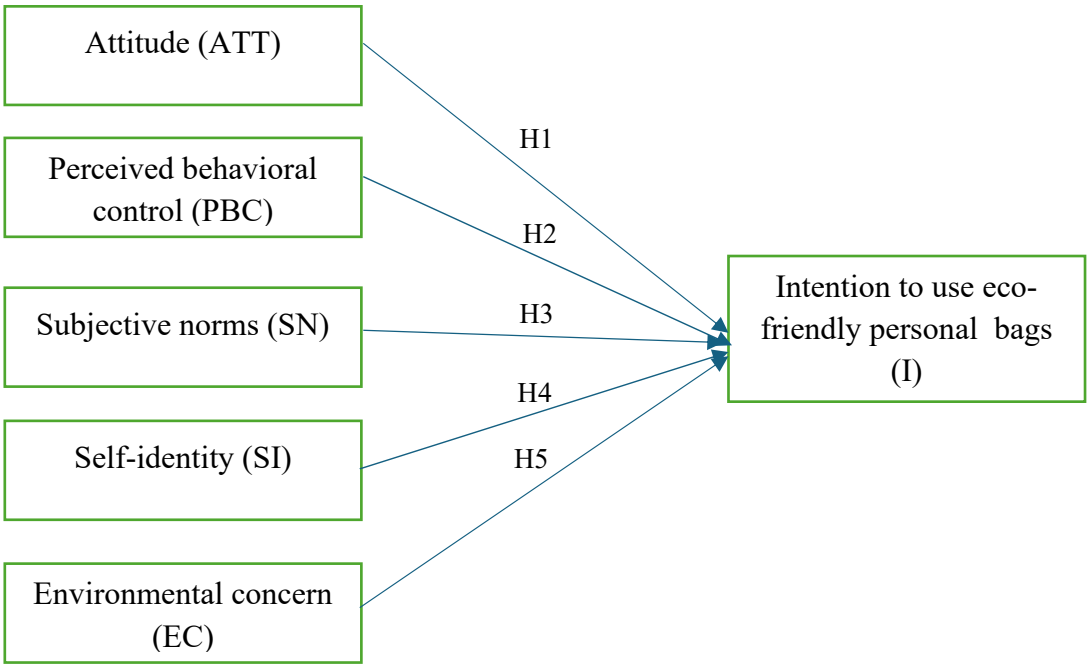


Figure 1. Proposed Conceptual Framework
Source: Proposed by the authors

3. Research Methodology

3.1. Measurement Scales

This study utilizes a questionnaire comprising 26 items to measure the dimensions of five factors influencing the intention to use personal eco-friendly bags. All items across these five scales were adopted from previous studies and modified to fit the specific context of this research. Specifically:The attitude scale consists of 05 items adopted from Nguyen Thi Cam Loan et al. (2025).The perceived behavioral control scale includes 04 items adapted from Nguyen Thi Cam Loan et al. (2025) and Cai Trinh Minh Quoc et al. (2020).The subjective norm scale comprises 04 items adopted from Nguyen Thi Cam Loan et al. (2025), Cai Trinh Minh Quoc et al. (2020), and Wang et al. (2020).The self-identity scale features 03 items derived from Du Thi Chung & Phan Hong Nhi (2023).The environmental concern scale consists of 05 items utilized from Nguyen Thi Cam Loan et al. (2025) and Wang et al. (2020).Finally, the intention to use personal eco-friendly bags scale was adapted from Cai Trinh Minh Quoc et al. (2020), Wang et al. (2020), and Du Thi Chung & Phan Hong Nhi (2023). Each item is measured using a 5-point Likert scale, ranging from 1 (Strongly Disagree) to 5 (Strongly Agree).

3.2. Sample Size, Data Collection, and Data Analysis Methods

According to Hair et al. (2010), the minimum sample size must be at least five times the total number of observed variables in the measurement scales. Thus, the minimum sample size is determined by the formula =5*n (n: represents the number of observed variables). As this study includes 26 observed variables, the minimum required sample size is 130 (26*5 = 130). To ensure high reliability, a total of 550 questionnaires were distributed (both physically in-person and online via Google Forms), resulting in 500 valid responses collected for analysis using SPSS 27.0 software.

4. Research Results and Discussion

4.1. Research Results

Table 1. Cronbach's Alpha Reliability Coefficients

Scales	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
ATT, Cronbach's Alpha = 0,735				
ATT1	16.54	6.221	0.536	0.674
ATT2	16.24	6.722	0.482	0.696
ATT3	16.39	6.402	0.500	0.688
ATT4	16.72	6.349	0.492	0.691
ATT5	16.83	6.172	0.478	0.698
PBC. Cronbach's Alpha = 0.655				
PBC1	11.56	4.215	0.457	0.572
PBC2	11.19	4.179	0.512	0.536
PBC3	11.30	4.356	0.400	0.612
PBC4	11.44	4.448	0.377	0.627
SI. Cronbach's Alpha= 0.719				
SI1	5.84	3.618	0.515	0.662
SI2	6.19	2.952	0.635	0.508
SI3	6.81	3.108	0.483	0.710
EC. Cronbach's Alpha = 0.738				
EC1	12.76	3.096	0.560	0.661
EC2	13.15	3.171	0.475	0.710
EC4	12.70	3.184	0.602	0.644
EC5	13.26	2.976	0.500	0.699
I. Cronbach's Alpha= 0.823				
I1	15.73	7.905	0.586	0.798
I2	15.84	7.421	0.631	0.785
I3	15.79	7.287	0.698	0.767
I4	15.95	6.877	0.701	0.763
I5	16.43	7.155	0.512	0.828

Source: Data analysis results from SPSS

The Cronbach's Alpha reliability test results indicated that most measurement scales achieved acceptable reliability, with Cronbach's Alpha coefficients exceeding 0.6 (ranging from 0.655 to 0.823). However, the "subjective norm" scale yielded a Cronbach's Alpha coefficient of 0.583, and the item EC3 exhibited a corrected item-total correlation of 0.297, which is below the 0.3 threshold. Consequently, the "subjective norm" scale (comprising SN1, SN2, SN3, and SN4) and the item EC3 from the "environmental concern" scale were excluded from the research model. The remaining environmental concern scale (consisting of EC1, EC2, EC4, and EC5) achieved a Cronbach's Alpha of 0.738, with all corrected item-total correlations exceeding 0.3. The other scales, including "attitude" (α= 0.735), "perceived behavioral control" (α = 0.655), "self-identity" (α= 0.719), and "intention to use personal eco-friendly bags" (α= 0.823), all met the requirement with corrected item-total correlations for all observed variables greater than 0.3. In summary, 5 scales with a total of 21 observed variables demonstrated sufficient reliability and were retained for the subsequent Exploratory Factor Analysis (EFA).

Table 2. Exploratory Factor Analysis (EFA) Results

KMO		0.831
Bartlett's Test	Chi-Square Statistic	1721.051
	Degrees of Freedom	91
	Sig.	0.000

Source: Data analysis results from SPSS

Table 3. Total Variance Explained

Factor	**Initial Eigenvalues**			**Extraction Sums of Squared Loadings**		
	Total	**% of Variance**	**Cumulative %**	**Total**	**% of Variance**	**Cumulative %**
1	4.076	29.111	29.111	4.076	29.111	29.111
2	1.836	13.117	42.228	1.836	13.117	42.228
3	1.320	9.429	51.658	1.320	9.429	51.658
4	1.068	7.629	59.287	1.068	7.629	59.287
5	0.777	5.547	64.833			
6	0.712	5.087	69.921			
…	…	…	…			
14	0.380	2.717	100.000			

Source: Data analysis results from SPSS

In Tables 2 and 3, the exploratory factor analysis (EFA) was conducted to examine the impact relationships on the intention to use personal eco-friendly bags from four independent variables: "attitude," "perceived behavioral control," "self-identity," and "environmental concern." Accordingly, the KMO measure of sampling adequacy exceeded 0.5 (0.831 > 0.5 and P = 0.000 < 0.05), indicating that the analysis is appropriate and the observed variables are sufficiently correlated. Regarding the variance explained analysis, four factors were extracted at an Eigenvalue of 1.068, with all items exhibiting high factor loadings greater than 0.5.

The cumulative variance explained reached 59.287% (> 50%), which meets the required threshold. Consequently, after three rounds of EFA iterations, 14 observed variables demonstrated adequate convergent and discriminant validity, grouping cleanly into four distinct factors (ATT, PBC, SI, and EC) for subsequent analysis.

Table 4. Correlation Coefficient Matrix

Correlations						
		I	ATT	PBC	SI	EC
I	Correlation Coefficient	1	0.545**	0.466**	0.385**	0.515**
	Sig. (2-tailed)		0.000	0.000	0.000	0.000
	N	500	500	500	500	500
ATT	Correlation Coefficient	0.545**	1	0.415**	0.336**	0.456**
	Sig. (2-tailed)	0.000		0.000	0.000	0.000
	N	500	500	500	500	500
PBC	Correlation Coefficient	0.466**	0.415**	1	0.221**	0.324**
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000		0.000	0.000
	N	500	500	500	500	500
SI	Correlation Coefficient	0.385**	0.336**	0.221**	1	0.190**
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000		0.000
	N	500	500	500	500	500
EC	Correlation Coefficient	0.515**	0.456**	0.324**	0.190**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	
	N	500	500	500	500	500
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).						

Source: Data analysis results from SPSS

The analysis results from the table above indicate that the correlations among the independent variables are mostly low, suggesting that these variables can be safely included in the research model to explain the dependent variable (intention). The variables ATT, PBC, SI, and EC all exhibit linear correlations with the dependent variable, and all correlation coefficients are statistically significant (sig < 0.05). "Attitude" possesses the highest correlation with the "intention to use personal eco-friendly bags" (r = 0.545), while the lowest correlation is observed in "self-identity" (r = 0.385). Based on the correlation matrix, the research model is qualified to proceed to the subsequent regression analysis with the four independent variables: ATT, PBC, SI, and EC.

Table 5. Model Summary

Model	R	Adjusted R-squared	R^2	Estimation Error	Durbin-Watson statistic
1	0.683[a]	0.467	0.463	0.48546	2.012
a. Independent Variable (Constant): EC. SI. PBC. ATT					
b. Dependent Variable): I					

Source: Data analysis results from SPSS

Table 6. Regression Coefficients Analysis

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	P-value	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	0.173	0.190		0.912	0.362		
	ATT	0.259	0.041	0.254	6.324	0.000	0.669	1.496
	PBC	0.210	0.035	0.223	6.080	0.000	0.798	1.253
	SI	0.154	0.028	0.195	5.582	0.000	0.878	1.139
	EC	0.341	0.044	0.290	7.763	0.000	0.770	1.299
a. Dependent Variable: I								

Source: Data analysis results from SPSS

The multivariate regression analysis results in Tables 5 and 6 reveal an an adjusted R^2 =0.463. This indicates that 46.3% of the variance in Generation Z's intention to use personal eco-friendly bags is collectively explained by the independent variables within the model. Furthermore, all factors exhibit a significance level below 0.05, demonstrating statistical significance. Consequently, the regression model is deemed a good fit for the research data and is constructed as follows:

$$I = 0.173 + 0.259*ATT + 0.210*PBC + 0.154*SI + 0.341*EC$$

Table 7. Hypotheses Testing Results

Impact			Estimate	Hypotheses	Conclusion
ATT	→	I	0.254	1	Supported
PBC	→	I	0.223	2	Supported
SI	→	I	0.195	4	Supported
EC	→	I	0.290	5	Supported
Adjusted R^2 (I)			0.463		

Source: Data analysis results from SPSS

4.2. Discussion

The research results indicate that all variables exert an impact on the intention to use personal eco-friendly bags. Specifically, both ATT (β=0.254; P=0.000<0.05) and PBC (β=0.223; P=0.000<0.05) positively influence the intention to use personal bags.

This finding aligns with the Theory of Planned Behavior (Ajzen, 1991) as well as several prior studies (Wang et al., 2020; Chatrakamollathas & Nuengchamnong, 2024; Cai Trinh Minh Quoc et al., 2020; Nguyen Thi Cam Loan et al., 2025; Du Thi Chung & Phan Hong Nhi, 2023). This demonstrates that a more positive attitude toward personal eco-friendly bags leads to a stronger intention to use them. Concurrently, when individuals perceive the ease or difficulty of practicing the behavior of using personal eco-friendly bags, it positively impacts their intention to perform that action. Furthermore, SI (β=0.195; P=0.000<0.05) has a positive impact on the intention to use personal eco-friendly bags. This finding is consistent with the study by Du Thi Chung & Phan Hong Nhi (2023), showing that when consumers value maintaining their self-identity, they tend to exhibit an increased intention to use personal eco-friendly bags. Additionally, the EC factor (β=0.290; P=0.000<0.05) also has a positive impact on the intention to use personal eco-friendly bags. This result matches the research by Nguyen Thi Cam Loan et al. (2025), reflecting that Generation Z in the Nha Trang market is currently highly concerned about environmental issues and actively contributing to environmental protection efforts through the use of personal bags during shopping activities.

5. Managerial Implications

Attitude: Attitude exerts a positive impact on the intention to use personal eco-friendly bags (β = 0.254), reflecting that the more favorable evaluations and positive sentiments Generation Z holds toward personal eco-friendly bags, the higher their intention to use them. To enhance Generation Z's positive attitude toward these bags, local authorities and businesses need to collaborate in launching green living campaigns and spreading the concept of utilizing personal eco-friendly bags. Concurrently, businesses must commit to using materials that guarantee user health and safety, prioritizing the commercialization of bags made from raw cotton and natural fibers free of toxic chemicals. Integrating QR codes is also recommended to enable consumers to easily verify safety certifications and product origins. Crucially, products should optimize functionality and diversify designs and styles. This transformation will elevate the mundane, traditional daily bag originally intended solely for carrying goods while shopping into a fashionable accessory that satisfies Generation Z's style preferences.

Perceived Behavioral Control: This factor exerts a strong impact on the intention to use personal eco-friendly bags (β = 0.223), indicating that the easier Generation Z perceives the selection and usage of personal eco-friendly bags to be, the higher their intention to use them. To enhance Generation Z's behavioral control regarding personal eco-friendly bags, businesses should widely distribute and display these bags in supermarkets, convenience stores, and traditional markets, placing them in highly visible locations such as areas near entrances or checkout counters. Additionally, local authorities and businesses should collaborate to organize campaigns aimed at strengthening consumers' determination to abandon the habit of using plastic bags. These programs can be deployed in supermarkets, shopping malls, tourist attractions, and other public areas. Furthermore, businesses should install reminder signs at store entrances or parking lots to help consumers easily remember and maintain the habit of bringing their own bags when shopping. This approach will foster long-term awareness among customers regarding preparing and utilizing personal eco-friendly bags for shopping instead of plastic bag products.

Self-Identity: This factor exerts a positive impact on the intention to use personal eco-friendly bags (β = 0.195), proving that the more Generation Z values maintaining their self-identity, the more they tend to increase their intention to use personal eco-friendly bags. To strengthen consumers' self-identity reinforcement, businesses and local authorities need to leverage community power to transform the usage of personal eco-friendly bags into a social norm.

Collaborating with universities and youth unions to organize green campaigns through forums as well as internal emulation movements in schools is highly recommended. Additionally, local authorities should widely propagate information to create public pressure, framing the use of plastic bags as outdated and obsolete. Concurrently, businesses should design highly symbolic bag models that allow Generation Z to easily define their unique personal style, helping them feel proud and socially esteemed when utilizing personal eco-friendly bags.

Environmental Concern: This factor exerts the strongest impact on the intention to use personal eco-friendly bags (β = 0.290). This proves that Generation Z's intention to use personal eco-friendly bags in the Nha Trang market stems heavily from their awareness of environmental pollution issues, as well as their care and anxiety regarding the environment. Therefore, local authorities and businesses need to develop communication campaigns that celebrate green living behaviors on social media platforms such as TikTok and Facebook, as well as at shopping locations. These campaigns will contribute to spreading the movement and encouraging Generation Z to utilize personal bags for environmental protection. Additionally, businesses should minimize the use of plastic bags in their production and distribution processes while offering incentives for customers who bring personal bags when purchasing their products. On the part of local authorities, they should encourage or enact regulations requiring civil servants to proactively use personal eco-friendly bags at workplaces and during community activities. The consistency between "saying" and "doing" by authorities and enterprises through concrete, practical actions at the workplace will further drive Generation Z to take action

References

Agyeman. C. M. & Badugu. D. (2017). “Purchasing intentions of eco-friendly bags; an examination into consumers’ susceptibility to social influences as a mediating variable”. *International Journal in Management & Social Science*. 5(1). pp. 359-373.

Ajzen. I. (1991). “The theory of planned behavior”. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*. 50(2). pp. 179–211.

Ari. E. & Yılmaz. V. (2017). “Consumer attitudes on the use of plastic and cloth bags. Environment”. *Development and Sustainability*. 19. pp. 1219-1234.

Cái Trịnh Minh Quốc. Hoàng Trọng Hùng. Phạm Lê Hoàng Linh & Lê Việt Đan Hà (2020). “Các yếu tố ảnh hưởng đến ý định và hành vi sử dụng túi thân thiện với môi trường của người tiêu dùng tại các siêu thị trên địa bàn thành phố Huế”. *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Kinh tế và Phát triển*. 129(5B). tr. 5-21.

Chatrakamollathas. S. & Nuengchamnong. T. (2024). “Emerging market’s consumer intention towards the use of eco-friendly shopping bags in retail stores”. *Transnational Corporations Review*. 16(3). pp. 200050. DOI: 10.1016/j.tncr.2024.200050.

Conner. M.. & Armitage. C.J. (1998). “Extending the Theory of Planned Behavior: A Review and Avenues for Further Research”. *Journal of Applied Social Psychology*. 28(15). pp. 1429-1464. DOI: 10.1111/j.1559-1816.1998.tb01685.x.

Dư Thị Chung & Phan Hồng Nhi (2023). “Các nhân tố ảnh hưởng đến ý định sử dụng túi sinh thái khi đi mua sắm của người tiêu dùng tại thành phố Hồ Chí Minh”. *Journal of Finance-Marketing*. 14(2). tr. 100-112. DOI: 10.52932/jfm.vi2.305.

Fishbein. M.. & Ajzen. I. (1975). *Belief. Attitude. Intention. and Behavior*. Addison-Wesley Publishing Company. Inc.

Hair J. F.. Black W. C.. Babin B. J. & Anderson R. E. (2010). *Multivariate data analysis.* 7th Edition. Pearson. New York.

Hessami. Z. H.. & Yousefi. P. (2013). “Investigation of major factors influencing green purchasing behavior: Interactive approach”. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*. 2(4). pp. 584-596.

Lee. K. (2008). “Opportunities for green marketing: young consumers”. *Marketing Intelligence & Planning*. 26(6). pp. 573-586.

Lê Chí Công. & Hoàng Thị Thu Phương (2021). "Ảnh hưởng của rủi ro cảm nhận đến ý định hành vi giảm thiểu sử dụng đồ nhựa của cộng đồng dân cư ven biển Nha Trang". *Tạp chí Khoa học xã hội miền Trung*. 2(70). tr. 43-52.

Nguyen T. P. L.. Tran N. M.. Phan T. T. H.. Vu T. N.. Tran M. L. & Nguyen. T. D. (2022). “Intention and behavior towards bringing your own shopping bags when shopping instead of using plastic bags in Vietnam: an investigation using the theory of interpersonal behavior”. *Management of Environmental Quality: An International Journal*. 33(6). pp. 1439-1456. DOI: 10.1108/MEQ-09-2021-020.

Nguyễn Thị Bảo Dung. & Nguyễn Thị Cúc (2021). "Các yếu tố tác động đến ý định giảm sử dụng túi nylon của người dân tại thành phố Đà Lạt. Việt Nam". *TNU Journal of Science and Technology.* 226(8). tr. 274-282.

Nguyễn Thị Cẩm Loan. Trần Thị Trà Giang. Trần Thị Ngọc Phương & Nguyễn Trần Tú Anh (2025). “Các yếu tố ảnh hưởng đến ý định sử dụng túi xách thân thiện với môi trường của người dân Việt Nam khi mua sắm”. *Tạp chí Hậu nhân học*. 5(5). tr. 1894-1909. DOI: 10.63332/joph.v5i5.1574.

Nguyễn Thị Nga. & Lê Thiên Lập. (2021). "Vận dụng lý thuyết hành vi dự định mở rộng giải thích ý định tiêu dùng thực phẩm sạch của người dân Nha Trang". *Tạp chí Kinh tế và Phát triển.* 291(9). tr. 79-87.

Nhĩ Anh (2024). Mỗi năm Việt Nam thải ra môi trường 1.8 triệu tấn rác thải nhựa. truy cập tại địa chỉ: https://vneconomy.vn/moi-nam-viet-nam-thai-ra-moi-truong-1-8-trieu-tan-rac-thai-nhua.htm. truy cập ngày 26/4/2026

Pickett-Baker. J.. & Ozaki. R. (2008). “Pro-environmental products: marketing influence on consumer purchase decision”. *Journal of Consumer Marketing*. 25(5). pp. 281-293.

Thành Nguyễn (2024), Nha Trang - Thành phố tươi đẹp bên bờ vịnh xanh, truy cập tại địa chỉ: https://baokhanhhoa.vn/bao-xuan-2024/202402/nha-trang-thanh-pho-tuoi-dep-ben-bo-vinh-xanh-d5e395d/, truy cập ngày 26/4/2026

Wang. B.. Li. J.. Sun. A.. Wang. Y.. & Wu. D. (2020). “Residents’ Green Purchasing Intentions in a Developing-Country Context: Integrating PLS-SEM and MGA Methods”. *Sustainability*. 12(1). pp. 30. DOI: 10.3390/su12010030.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

FINANCING URBAN INDIA GREEN: GREEN MUNICIPAL BOND ISSUANCE AND ITS INFLUENCE ON MUNICIPAL CORPORATIONS' FINANCIAL STRUCTURE

Professor Amit Kumar Singh
Department of Commerce, Delhi School of Economics, University of Delhi

Lovleen Gupta,
Maharshi Kanad Post Doctoral Fellow, Institution of Eminence, University of Delhi

Utkarsh Kumar Singh
B.A.(Eco Hons), Hindu College, University of Delhi

Professor Mamta Dhand
Department of Commerce, Hindu College, University of Delhi

Abstract
India's transition from cash-based to accrual accounting in Urban Local Bodies (ULBs), formalized through regulatory reforms, has opened a new institutional space at the intersection of public and corporate finance. As Indian municipal corporations increasingly turn to capital markets through Green Municipal Bond (GMB) issuances, they encounter governance pressures historically associated with corporate debt markets, including creditor monitoring, disclosure obligations, and credit rating scrutiny, while still operating under the soft budget constraints, multiple-principal accountability structures, and intergovernmental transfer dependence characteristic of public sector entities. This study examines how GMB issuance influences the financial reporting behavior and financial structure of Indian municipal corporations, situating the inquiry within agency theory, the bonding hypothesis, and institutional isomorphism frameworks drawn from both public sector and corporate finance literature. While prior research, notably on US municipalities, has bond issuances as a transient, pre-issuance phenomenon followed by reduced discretion, India's nascent municipal bond market, characterized by weak investor sophistication, limited credit rating coverage, and high information asymmetry, may impose comparatively stronger and more sustained governance discipline. Adopting an interpretive, qualitative case study design, the research draws on seven Indian municipal corporations that have issued green bonds, analyzing annual financial statements, bond offer documents, credit rating reports, use-of-proceeds and impact reports, auditor and CAG observations, and official interviews, coded thematically using MAXQDA. By tracing how accrual-based reporting, regulatory mandates as per SEBI's 2015 municipal debt regulations, and market entry reshape financial disclosure and discretion in ULBs, the study addresses a significant gap in the literature, which remains heavily concentrated on developed-market municipal bond contexts. The findings aim to contribute a theoretically grounded, emerging-market perspective on the governance consequences of municipal bond issuance, with implications for policymakers, regulators, and credit market participants engaged in financing urban green infrastructure in India.
Keywords: Green Municipal Bonds; Urban Local Bodies; Accrual Accounting; Municipal Finance; Emerging Markets; India; Public Sector Governance.

EFFECT OF PILATES EXERCISE PROGRAM COMBINED WITH ERGONOMIC ADVICE VERSUS ERGONOMIC ADVICE ALONE ON WORK RELATED MUSCULOSKELETAL DISORDERS AMONG PHYSIOTHERAPISTS A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL

Venkata Nagaraj Kakaraparthi
King Khalid University

ABSTRACT

Background

Physiotherapists are exposed to repeated patient handling, prolonged standing, and non-neutral trunk postures, which may increase ergonomic risk and contribute to chronic low back pain. Although ergonomic education can reduce occupational exposure, the added value of a structured exercise program requires evaluation.

Objective

To compare the effects of ergonomic advice alone with ergonomic advice combined with supervised Pilates exercise on ergonomic risk, pain, lumbar proprioception, pressure pain threshold, disability, and health-related quality of life among physiotherapists with chronic low back pain.

Methods

This assessor-blinded randomized controlled trial included 72 physiotherapists with chronic low back pain in Abha, Saudi Arabia. Participants were allocated to ergonomic advice alone (Group I, n = 36) or ergonomic advice plus supervised Pilates exercise (Group II, n = 36). The intervention was delivered five sessions per week for 12 weeks. The Pilates program emphasized core stability, lumbar-pelvic control, postural alignment, flexibility, and movement awareness. The primary outcome was the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) ergonomic risk score. Secondary outcomes were visual analogue scale (VAS) pain, lumbar proprioception, pressure pain threshold, Oswestry Disability Index (ODI), and Short Form 36 (SF-36) quality of life. Outcomes were assessed at baseline and 12 weeks using an intention-to-treat analysis.

Results

Both groups improved over 12 weeks, with all major within-group changes reaching $p < 0.001$. In Group I, RULA decreased from 5.4 to 3.2, VAS from 6.2 to 4.1, and ODI from 34.2 to 30.4. In Group II, RULA decreased from 5.1 to 2.7, VAS from 6.1 to 3.0, and ODI from 34.9 to 26.4, corresponding to reductions of approximately 47%, 51%, and 24%, respectively. The combined program produced larger improvements in ergonomic risk, pain, disability, proprioception, and quality of life. In Group II, SF-36 mental and physical component scores increased from 53.8 to 58.1 and from 48.4 to 53.6, respectively.

Conclusion

Ergonomic advice improved outcomes among physiotherapists with chronic low back pain, but combining ergonomic education with supervised Pilates produced greater overall benefits. This practical, low-cost approach may be incorporated into occupational rehabilitation programs to reduce ergonomic risk, pain, and disability while improving function and quality of life.

Keywords: Pilates; ergonomics; physiotherapists; chronic low back pain; work-related musculoskeletal disorders; randomized controlled trial

Ethics approval: ECM 2023-1304 | **Funding:** KKU RGP2/468/47 | **Published in:** Indian Journal of Orthopaedics (2026) | **DOI:** 10.1007/s43465-026-01924-w

THE EFFECT OF NURSING MANAGERS' SELF-COMPASSION ON NURSES' PERCEPTION REGARDING LEADERSHIP EFFECTIVENESS, SAUDI ARABIA

Ghada Mohamed Hamouda
Professor of Nursing Administration, King Abdulaziz University, Faculty of Nursing, Department of Public Health Nursing
ORCID: 0000-0002-4468-8834

Khadijah Ali Alshawush
Public Health Department/Nursing Administration, Faculty of Nursing, King Abdulaziz University

Badriah Mohammed Ahmed Kadomi
Public Health Department/, Nursing Administration, Faculty of Nursing, King Abdulaziz University

ABSTRACT

Background

Compassionate leadership has emerged as a critical leadership approach in healthcare settings due to its positive impact on staff well-being, organizational performance, employee engagement, and quality of patient care. Nursing managers who demonstrate compassion, empathy, fairness, and supportive behaviors are more likely to enhance leadership effectiveness within healthcare settings. Despite the growing attention toward compassionate leadership globally, limited studies have examined the relationship between nursing managers' compassion and leadership effectiveness in Saudi Arabia.

Objective

This study aimed to investigate the relationship between nursing managers' compassion and leadership effectiveness as perceived by nursing staff.

Materials and Methods

A descriptive correlational research design was utilized in the current study. A convenience sample of 315 nurses working in four governmental hospitals in Jazan, Saudi Arabia participated in the study. Data were collected using a structured questionnaire consisting of socio-demographic characteristics, the Nursing Managers' Compassion Scale (NMCS), and the Leadership Effectiveness Scale. Descriptive and inferential statistical analyses were performed using SPSS version 27.

Results

The findings revealed that most participants reported high levels of nursing managers' compassion (68.3%) and leadership effectiveness (67.9%). A statistically significant positive correlation was identified between overall nursing managers' compassion and leadership effectiveness ($r = 0.570$, $p < 0.001$). All compassion sub-dimensions showed significant positive correlations with leadership effectiveness, including empathy and emotional support, fairness and respect, supportive leadership, communication and approachability, and advocacy and compassionate action. Furthermore, gender and educational level were significantly associated with perceived compassion and leadership effectiveness. Multivariate regression analysis identified nursing managers' compassion as a significant predictor of leadership effectiveness ($B = 1.177$, $p < 0.001$).

Conclusion and recommendations

Developing compassionate leadership competencies among nursing managers may strengthen workforce engagement, improve leadership effectiveness, enhance quality of care, and contribute to positive organizational outcomes. Compassionate leadership behaviors positively influence communication, support, trust, collaboration, and nurses' perceptions of effective leadership. Enhancing compassion among nursing managers may improve organizational performance, staff satisfaction, and quality of patient care. Therefore, healthcare organizations should integrate compassionate leadership principles into nursing leadership development programs and organizational policies.

Keywords: Compassion, leadership effectiveness, nursing managers, nurses, compassionate leadership, Saudi Arabia.

FACTORS ASSOCIATED WITH MULTIDRUG-RESISTANT *ESCHERICHIA COLI* URINARY TRACT INFECTIONS

Fatma Hammami
Infectious Diseases Department, Hedi Chaker University Hospital, University of Sfax

Makram Koubaa
Infectious Diseases Department, Hedi Chaker University Hospital, University of Sfax

Sirine Chtourou
Infectious Diseases Department, Hedi Chaker University Hospital, University of Sfax

Ranim Toumi
Infectious Diseases Department, Hedi Chaker University Hospital, University of Sfax

Chakib Marrakchi
Infectious Diseases Department, Hedi Chaker University Hospital, University of Sfax

Mounir Ben Jemaa
Infectious Diseases Department, Hedi Chaker University Hospital, University of Sfax

ABSTRACT

Background

Multidrug-resistant (MDR) *Escherichia coli*, the leading cause of urinary tract infections (UTIs), has become a major therapeutic challenge, particularly in hospitalized patients. Identifying patients at risk for MDR infection is essential to guide appropriate empiric therapy. We aimed to determine factors associated with MDR *E. coli* UTIs.

Methods

We conducted a retrospective study of all patients hospitalized in the infectious diseases department with culture-confirmed *E. coli* UTI between 2018 and 2025. Patients with MDR isolates were compared with those infected with non-MDR isolates.

Results

Among 651 patients, 304 (46.7%) had MDR *E. coli* UTI and 347 (53.3%) had non-MDR UTI. Patients with MDR infection were older (56 ± 20 vs 48 ± 20 years; $p < 0.001$), and age ≥60 years was more frequent in the MDR group (51.0% vs 34.1%; $p < 0.001$). Female sex predominated in both groups without significant difference (65.5% vs 72.3%; $p = 0.058$).
Diabetes mellitus (36.5% vs 23.9%; $p < 0.001$), recent urinary tract surgery (9.9% vs 5.5%; $p = 0.034$), and prior MDR UTI (5.9% vs 1.4%; $p = 0.002$) were significantly associated with MDR infection. Recent antibiotic exposure (24.7% vs 10.1%; $p < 0.001$) and prior hospitalization (15.5% vs 8.4%; $p = 0.005$) were also more common among MDR cases.
Median white blood cell count was lower in MDR infections (9,480 [7,065–13,645]/mm³ vs 12,840 [9,342–16,360]/mm³; $p = 0.010$), and leukocytosis was less frequent (52.6% vs 61.1%; $p = 0.029$). C-reactive protein levels did not differ significantly between groups.

Conclusions

Nearly half of hospitalized *E. coli* UTIs were caused by MDR isolates. Older age, diabetes, prior MDR UTI, recent antibiotic exposure, previous hospitalization, and recent urinary tract surgery were associated with MDR infection. Recognition of these risk factors may improve empiric antibiotic selection and antimicrobial stewardship.

Keywords: *Escherichia coli*; Multidrug resistance; Urinary tract infection.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

CLINICAL FEATURES, MANAGEMENT, AND OUTCOMES OF ABDOMINAL ABSCESSES IN THE ELDERLY

Fatma Hammami
Infectious Diseases Department, Hedi Chaker University Hospital, University of Sfax

Makram Koubaa
Infectious Diseases Department, Hedi Chaker University Hospital, University of Sfax

Sirine Chtourou
Infectious Diseases Department, Hedi Chaker University Hospital, University of Sfax

Ranim Toumi
Infectious Diseases Department, Hedi Chaker University Hospital, University of Sfax

Chakib Marrakchi
Infectious Diseases Department, Hedi Chaker University Hospital, University of Sfax

Mounir Ben Jemaa
Infectious Diseases Department, Hedi Chaker University Hospital, University of Sfax

ABSTRACT

Introduction

Abdominal abscesses are serious infections that may present atypically in elderly patients, with subtle clinical manifestations and potentially less pronounced inflammatory responses, contributing to delayed diagnosis and management. Early recognition of these specific features may help improve outcomes. The objective of this study was to evaluate the clinical, therapeutic, and prognostic characteristics of abdominal abscesses in elderly patients.

Methods

We retrospectively included all patients hospitalized in the infectious diseases department for an abdominal abscess between 2010 and 2025. Elderly patients were defined as those aged ≥65 years. Clinical, laboratory, microbiological, therapeutic, and outcome characteristics were compared between elderly and non-elderly patients.

Results

We included 63 patients, of whom 17 (27%) were elderly. Time to consultation was significantly longer in elderly patients than in non-elderly patients (15 [9–21] vs 7 [3–13] days; p = 0.013). Elderly patients were more frequently male (82.4% vs 47.8%; p = 0.014) and diabetic (41.2% vs 10.9%; p = 0.012). Fever was less frequent in elderly patients (76.5% vs 100%; p = 0.004), whereas confusion (35.3% vs 6.5%; p = 0.009) and functional decline (47.1% vs 13%; p = 0.007) were more common. A bacterial etiology was significantly more frequent in elderly patients (70.6% vs 26.1%; p = 0.001), as was blood culture positivity (29.4% vs 7.3%; p = 0.04). Percutaneous drainage (23.5% vs 17.8%; p = 0.721) and surgical intervention (41.2% vs 45.7%; p = 0.751) did not differ significantly between groups. Septic shock was significantly more frequent in elderly patients (23.5% vs 2.3%; p = 0.019). No significant differences were observed in laboratory parameters.

Conclusion

Abdominal abscesses in elderly patients were characterized by atypical clinical presentations, with less frequent fever and more frequent confusion and functional decline. Diagnostic delay was longer, bacterial etiologies were more frequent, and septic shock occurred more often in elderly patients. These findings highlight the importance of maintaining a high index of suspicion and performing early appropriate imaging in elderly patients with nonspecific clinical deterioration.

Keywords: Abdominal abscess; Elderly; Bacterial infection.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

PREVALENCE AND DETERMINANTS OF DRUG ABUSE AMONG YOUTH IN LAHORE, PUNJAB, PAKISTAN

Maryam Arif
Hajvery University(Euro Campus)

Hina Afzal
Research scholar

Dr. Mahrunisa Atif
Hajvery University (Euro Campus)

Abstract
This study investigates drug abuse among youth in Lahore, Pakistan, a growing public health concern. Around 10% of university students engage in substance use, driven by factors like academic stress, peer pressure, and socio-economic challenges. A descriptive cross-sectional design targeted 370 youth aged 15-25 in educational institutions and community centers. Cannabis, tobacco, methamphetamine, heroin, and alcohol are commonly abused substances. Peer influence, academic pressure, and weak parental supervision are major risk factors. Male students and hostel residents are more likely to engage in substance use. Elite students are prone due to greater financial access. The study concludes that drug abuse is a multifaceted issue requiring a holistic approach. Effective interventions include increased parental engagement, improved counseling services, and public health campaigns. Stricter regulation of drug accessibility is essential. Understanding socio-cultural dynamics and integrating global insights can enhance national policy frameworks. This research contributes essential data to a critically under-researched area. Collaborative, youth-centered strategies are urgently needed to combat substance abuse. The findings underscore the importance of addressing drug abuse as a public health concern. Findings from the literature review and field data indicate that cannabis, tobacco, methamphetamine (ICE), heroin, and alcohol are the most commonly abused substances among youth. The study concludes that drug abuse among youth is a multifaceted issue requiring a holistic, preventive approach. Effective interventions should include increased parental engagement, improved counseling services in educational institutions, targeted public health campaigns, and stricter regulation of drug accessibility.
Keywords:- Ice -> methamphetamine.

BEYOND COLORECTAL CANCER: MEDITERRANEAN DIET ADHERENCE AND THE RISK OF HEAD AND NECK, GASTRIC, AND LIVER CANCERS

Andrea Lehoczki
Institute of Preventive Medicine and Public Health

Diána Görög
Institute of Preventive Medicine and Public Health

Mónika Fekete
Institute of Preventive Medicine and Public Health

Abstract

Background

The Mediterranean diet is widely recognized for cardiometabolic benefits, but its potential role in preventing cancers beyond the colorectum is less clearly defined. We aimed to quantify associations between Mediterranean diet adherence and the risk of head and neck, gastric, and liver cancers.

Methods

PubMed, Web of Science, and Scopus were searched from inception through September 2025 for prospective cohort and case-control studies evaluating Mediterranean diet adherence in relation to these malignancies. Effect estimates comparing the highest versus lowest adherence categories were pooled using random-effects models. Heterogeneity was assessed with the I^2 statistic, and potential small-study or publication bias was examined using funnel plots and Egger's test.

Results

Thirty-four studies comprising 4,286,835 participants were included. Higher adherence to the Mediterranean diet was associated with lower risk of head and neck cancer (RR 0.55, 95% CI 0.45–0.67), gastric cancer (RR 0.62, 95% CI 0.53–0.73), and liver cancer (RR 0.59, 95% CI 0.53–0.67). Heterogeneity was substantial for head and neck cancer (I^2=90%) and gastric cancer (I^2=76%), but lower for liver cancer (I^2=35%). Evidence of small-study or publication bias was observed for head and neck and gastric cancer, whereas no comparable signal was detected for liver cancer.

Conclusions

Greater Mediterranean diet adherence was consistently associated with reduced risk across three major cancer groups. These findings support the broader relevance of dietary-pattern-based prevention, while the observational evidence base, residual confounding, and variability in dietary assessment warrant cautious interpretation.

Funding

The project was funded by the Ministry of Innovation and Technology under the National Cardiovascular Laboratory Program: RRF-2.3.1-21-2022-00003 from the National Research, Development and Innovation Fund. Project no. TKP2021-NKTA-47 was also funded by the National Research, Development and Innovation Fund under the TKP2021-NKTA program, with the support of the Ministry of Innovation and Technology of Hungary.

INTRODUCTION

Cancer remains a major cause of morbidity and mortality worldwide, highlighting the continuing importance of primary prevention (Major et al., 2026). A substantial proportion of cancer risk is related to modifiable lifestyle factors, including tobacco use, alcohol consumption, obesity, physical inactivity, and diet. In recent years, nutritional epidemiology has increasingly shifted from the investigation of isolated nutrients toward the assessment of whole dietary patterns, which may better capture the additive and synergistic effects of foods and bioactive components consumed together (Ungvari et al., 2025).

The Mediterranean diet is among the most extensively studied healthy dietary patterns. It is characterized by a high intake of vegetables, fruits, legumes, whole grains, nuts, and olive oil, moderate consumption of fish, and relatively low intake of red and processed meats and refined foods (Agata Kryczyk-Poprawa, et al., 2025; Fekete et al., 2024). Its cardiometabolic benefits are well established, while a growing body of epidemiological evidence suggests that greater adherence to the Mediterranean diet may also be associated with reduced risk of several cancers (Ungvari et al., 2025).

Evidence for a protective association is relatively strong for colorectal cancer; however, findings for other gastrointestinal and upper aerodigestive malignancies remain less comprehensively integrated. In particular, head and neck, gastric, and liver cancers have not been consistently evaluated within a common analytical framework. Although these malignancies differ in their anatomical location and etiology, they share several diet-sensitive pathways, including chronic inflammation, oxidative stress, metabolic dysfunction, and alterations of the microbiome (Fekete et al., 2023).

Therefore, the present systematic review and meta-analysis aimed to evaluate the association between adherence to the Mediterranean diet and the risk of head and neck, gastric, and liver cancers. By synthesizing evidence from prospective cohort and case-control studies within a unified analytical framework, we sought to clarify the potential relevance of Mediterranean-style dietary patterns for cancer prevention beyond colorectal malignancies.

METHODS

A systematic literature search was conducted in PubMed, Web of Science, and Scopus from database inception through September 2025. Prospective cohort and case-control studies examining the association between Mediterranean diet adherence and the risk of head and neck, gastric, or liver cancer were eligible if they reported relative risks, odds ratios, or hazard ratios with 95% confidence intervals. Data extraction was performed independently by two reviewers. Risk estimates comparing the highest and lowest categories of Mediterranean diet adherence were pooled using a random-effects inverse-variance model. Between-study heterogeneity was assessed using the I^2 statistic, while potential publication bias was evaluated using funnel plots and Egger's test.

RESULTS

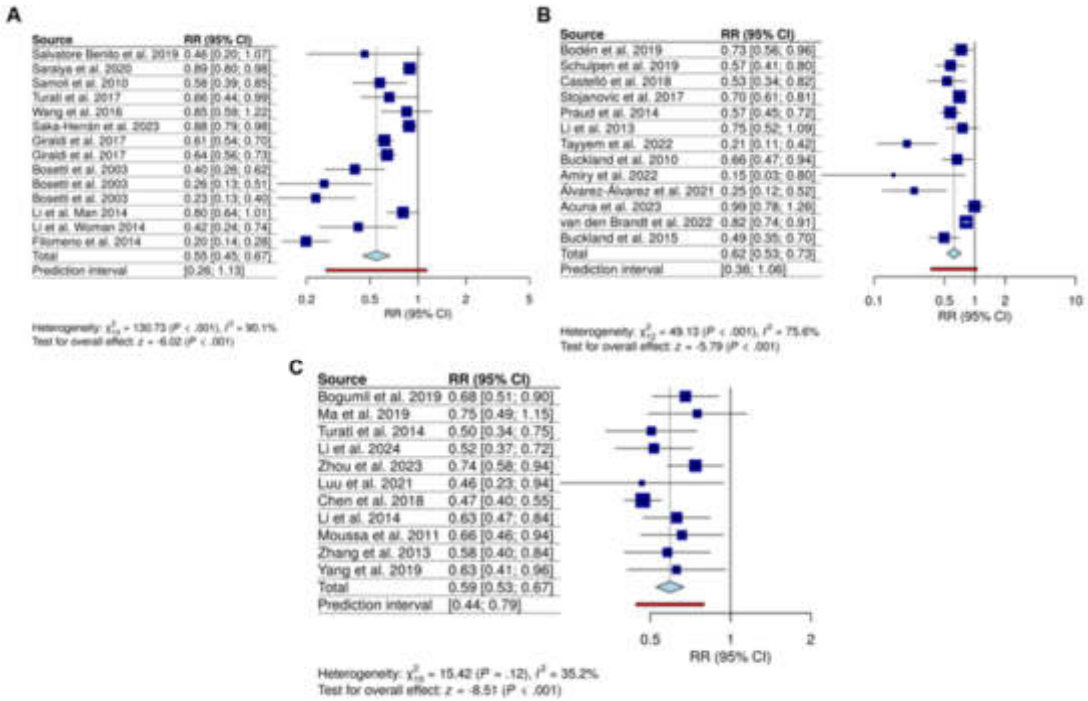
The systematic search identified 12,530 records. After duplicate removal, title and abstract screening, and full-text assessment, 34 studies comprising a total of 4,286,835 participants were included in the final quantitative synthesis. Higher adherence to the Mediterranean diet was associated with a lower risk across all three cancer groups. For head and neck cancer, the pooled relative risk was 0.55 (95% CI 0.45–0.67), corresponding to an approximately 45% lower relative risk among participants with the highest adherence.

However, between-study heterogeneity was substantial, with an I^2 of 90%, indicating considerable variation in effect estimates across studies (Bosetti et al., 2003; Filomeno et al., 2014; Giraldi et al., 2017; Li, Park, Wu, et al., 2014; Saka-Herrán et al., 2023; Salvatore Benito et al., Adherencia a la dieta mediterránea: comparación entre pacientes con cáncer de cabeza y cuello y población sana./2019; Samoli et al., 2010; Saraiya et al., 2020; Turati et al., 2017; Wang et al., 2016). For gastric cancer, 13 studies were included. Higher Mediterranean diet adherence was associated with a pooled relative risk of 0.62 (95% CI 0.53–0.73), corresponding to an approximately 38% lower relative risk. Considerable heterogeneity was again observed, with an I^2 of 76% (Acuna et al., 2023; Álvarez-Álvarez et al., 2021; Amiry et al., 2022; Bodén et al., 2019; Buckland et al., 2010; Buckland et al., 2015; Castello et al., 2018; Li et al., 2013; Praud et al., 2014; Schulpen et al., 2019; Stojanovic et al., 2017; Tayyem et al., 2022; van den Brandt, 2022).

Eleven studies contributed to the liver cancer analysis. The pooled relative risk was 0.59 (95% CI 0.53–0.67), corresponding to an approximately 41% lower relative risk. In contrast to the other cancer groups, heterogeneity was substantially lower for liver cancer, with an I^2 of 35%, indicating greater consistency of the observed association across studies (Bogumil et al., 2019; Chen et al., 2018; Li et al., 2024; Li, Park, McGlynn, et al., 2014; Luu et al., 2021; Ma et al., 2019; Moussa et al., 2021; Turati et al., 2014; Yang et al., 2019; Zhang et al., 2013; Zhou et al., 2023).

As illustrated in Figure 1, the pooled estimates for all three cancer groups favored higher Mediterranean diet adherence. However, the prediction intervals for head and neck and gastric cancers crossed the null value of 1, reflecting greater between-study uncertainty, whereas the prediction interval for liver cancer remained below 1. This pattern suggests that the association was particularly consistent for liver cancer.

Figure 1. Forest plots of the association between Mediterranean diet adherence and the risk of head and neck, gastric, and liver cancers. Squares represent individual study estimates, horizontal lines indicate 95% confidence intervals, diamonds represent pooled relative risk estimates, and red lines indicate prediction intervals.



DISCUSSION

The present systematic review and meta-analysis showed that higher adherence to the Mediterranean diet was consistently associated with a lower risk of head and neck, gastric, and liver cancers. The strongest association was observed for head and neck cancer, while meaningful risk reductions were also found for gastric and liver malignancies. Although the direction of association was consistent across all three cancer groups, the degree of heterogeneity differed substantially, suggesting that population characteristics, methodological variation, and lifestyle-related factors may have influenced the pooled estimates.

Our findings are consistent with previous evidence linking Mediterranean diet adherence with lower overall cancer incidence and, in particular, reduced colorectal cancer risk. The present analysis extends this evidence to additional gastrointestinal and upper aerodigestive malignancies, suggesting that the potential cancer-preventive relevance of Mediterranean-style eating may not be restricted to a single anatomical site (Fekete et al., 2022; Varga et al., 2026).

Several biological mechanisms may contribute to these associations. The Mediterranean diet is rich in fiber, polyphenols, carotenoids, omega-3 fatty acids, and monounsaturated fats, which may exert anti-inflammatory and antioxidant effects. Chronic inflammation and oxidative stress are involved in carcinogenesis across the cancer sites examined. In liver cancer, beneficial effects on insulin resistance, metabolic dysfunction, and hepatic steatosis may be particularly relevant. For gastric cancer, higher consumption of plant foods together with lower intake of salt and processed meats may provide additional protective pathways (Kryczyk-Poprawa et al., 2026; Lehoczki et al., 2025; Madarász et al., 2024).

The gut microbiome may represent another important interface between dietary patterns and cancer susceptibility (Fekete et al., 2025). Diets rich in plant foods, fiber, and polyphenols can influence microbial community structure, metabolite production, intestinal barrier integrity, and systemic inflammatory signaling. These pathways may be especially relevant to gastrointestinal cancers and to liver cancer through the gut–liver axis. Nevertheless, these mechanisms provide biological plausibility rather than direct evidence of causal mediation (Jarecsny et al., 2026; Agata Kryczyk-Poprawa et al., 2026; Mikó et al., 2024).

An important limitation is the substantial heterogeneity observed for head and neck and gastric cancers. Differences in study design, geographic and cultural dietary patterns, Mediterranean diet scoring systems, dietary assessment methods, and adjustment for major confounders may all have contributed to between-study variability. In addition, higher Mediterranean diet adherence frequently occurs as part of a broader health-promoting lifestyle, raising the possibility of residual confounding and a healthy-adherer effect.

Further limitations arise from the observational nature of the included studies, the predominant use of self-reported dietary assessment, and variation in adherence scores across studies. Pooling different effect measures, including relative risks, odds ratios, and hazard ratios, may also introduce some imprecision. Furthermore, funnel plot asymmetry and significant Egger's tests for head and neck and gastric cancers suggest the possibility of small-study effects or publication bias, meaning that the magnitude of the observed associations may be somewhat overestimated.

Public health implications

From a public health perspective, the Mediterranean diet has the advantage of representing a whole dietary pattern rather than a single nutrient-based intervention. It is potentially sustainable, culturally adaptable, and compatible with long-term prevention strategies. Its established cardiovascular and metabolic benefits, together with growing evidence of potential cancer protection, increase its relevance for the prevention of non-communicable diseases at the population level (Jarecsny, et al., 2025).

This may be particularly important in populations where poor diet, smoking, alcohol consumption, overweight, and obesity coexist at high prevalence. However, promotion of Mediterranean-style eating should not be viewed as a replacement for established cancer prevention measures, including tobacco control, reduction of harmful alcohol consumption, maintenance of healthy body weight, and evidence-based screening. Rather, it may complement these strategies within a broader integrated approach to primary prevention (Fekete et al., 2025).

CONCLUSION

Higher adherence to the Mediterranean diet was associated with a lower risk of head and neck, gastric, and liver cancers (Ungvari et al., 2026). These findings support the concept that whole dietary patterns may play an important role in cancer prevention. However, substantial heterogeneity, possible publication bias, and residual confounding inherent to observational evidence limit causal interpretation. Future research should prioritize large prospective cohorts, repeated dietary assessments, standardized adherence measures, and objective nutritional biomarkers to better define the strength and potential causal basis of these associations.

REFERENCES

Acuna, N., Park, S. Y., Le Marchand, L., Hébert, J. R., Boushey, C., Wilkens, L. R., Wu, A. H., & Setiawan, V. W. (2023). Diet quality and risk of gastric adenocarcinoma: The Multiethnic Cohort. *Am J Clin Nutr*, *117*(1), 46–54. https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2022.11.009

Álvarez-Álvarez, L., Vitelli-Storelli, F., Rubín-García, M., Aragonés, N., Ardanaz, E., Castaño-Vinyals, G., Obón-Santacana, M., Dierssen-Sotos, T., Salas-Trejo, D., Tardón, A., Moleón, J. J. J., Alguacil, J., Chirlaque, M. D., Pérez-Gómez, B., Pollán, M., Kogevinas, M., & Martín, V. (2021). Relationship between the Risk of Gastric Cancer and Adherence to the Mediterranean Diet According to Different Estimators. MCC-Spain Study. *Cancers (Basel)*, *13*(21). https://doi.org/10.3390/cancers13215281

Amiry, F., Mousavi, S. M., Barekzai, A. M., & Esmaillzadeh, A. (2022). Adherence to the Mediterranean Diet in Relation to Gastric Cancer in Afghanistan. *Front Nutr*, *9*, 830646. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.830646

Bodén, S., Myte, R., Wennberg, M., Harlid, S., Johansson, I., Shivappa, N., Hébert, J. R., Van Guelpen, B., & Nilsson, L. M. (2019). The inflammatory potential of diet in determining cancer risk; A prospective investigation of two dietary pattern scores. *Plos one*, *14*(4), e0214551.

Bogumil, D., Park, S. Y., Le Marchand, L., Haiman, C. A., Wilkens, L. R., Boushey, C. J., & Setiawan, V. W. (2019). High-quality diets are associated with reduced risk of hepatocellular carcinoma and chronic liver disease: the multiethnic cohort. *Hepatology communications*, *3*(3), 437–447.

Bosetti, C., Gallus, S., Trichopoulou, A., Talamini, R., Franceschi, S., Negri, E., & La Vecchia, C. (2003). Influence of the Mediterranean diet on the risk of cancers of the upper aerodigestive tract. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, *12*(10), 1091–1094.

Buckland, G., Agudo, A., Luján, L., Jakszyn, P., Bueno-de-Mesquita, H. B., Palli, D., Boeing, H., Carneiro, F., Krogh, V., Sacerdote, C., Tumino, R., Panico, S., Nesi, G., Manjer, J., Regnér, S., Johansson, I., Stenling, R., Sanchez, M. J., Dorronsoro, M.,…González, C. A. (2010). Adherence to a Mediterranean diet and risk of gastric adenocarcinoma within the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) cohort study. *Am J Clin Nutr*, *91*(2), 381–390. https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.28209

Buckland, G., Travier, N., Huerta, J. M., Bueno-de-Mesquita, H. B., Siersema, P. D., Skeie, G., Weiderpass, E., Engeset, D., Ericson, U., Ohlsson, B., Agudo, A., Romieu, I., Ferrari, P., Freisling, H., Colorado-Yohar, S., Li, K., Kaaks, R., Pala, V., Cross, A. J.,…Gonzalez, C. A. (2015). Healthy lifestyle index and risk of gastric adenocarcinoma in the EPIC cohort study. *Int J Cancer*, *137*(3), 598–606. https://doi.org/10.1002/ijc.29411

Castello, A., Fernandez de Larrea, N., Martín, V., Davila-Batista, V., Boldo, E., Guevara, M., Moreno, V., Castano-Vinyals, G., Gomez-Acebo, I., & Fernandez-Tardon, G. (2018). High adherence to the Western, Prudent, and Mediterranean dietary patterns and risk of gastric adenocarcinoma: MCC-Spain study. *Gastric Cancer*, *21*(3), 372–382.

Chen, P. Y., Fang, A. P., Wang, X. Y., Lan, Q. Y., Liao, G. C., Liu, Z. Y., Zhang, D. M., Zhang, Y. Y., Chen, Y. M., & Zhu, H. L. (2018). Adherence to the Chinese or American Dietary Guidelines is Associated with a Lower Risk of Primary Liver Cancer in China: A Case-Control Study. *Nutrients*, *10*(8). https://doi.org/10.3390/nu10081113

Fekete, M., Balazs, P., Lehoczki, A., Forrai, J., Dosa, N., Fazekas-Pongor, V., Feher, A., Madarasz, B., & Varga, J. T. (2023). The role of gut microbiome and its modification while regulating the defence mechanisms, particularly in severe COVID-19 cases. *Medicina Internacia Revuo*, *30*(120), 154–166.

Fekete, M., Jarecsny, T., Lehoczki, A., Major, D., Fazekas-Pongor, V., Csípő, T., Lipécz, Á., Szappanos, Á., Pázmándi, E. M., Varga, P., & Varga, J. T. (2025). Mediterranean Diet, Polyphenols, and Neuroprotection: Mechanistic Insights into Resveratrol and Oleuropein. *Nutrients*, *17*(24). https://doi.org/10.3390/nu17243929

Fekete, M., Lehoczki, A., Kryczyk-Poprawa, A., Zábó, V., Varga, J. T., Bálint, M., Fazekas-Pongor, V., Csípő, T., Rząsa-Duran, E., & Varga, P. (2025). Functional foods in modern nutrition science: mechanisms, evidence, and public health implications. *Nutrients*, *17*(13), 2153.

Fekete, M., Lehoczki, A., Major, D., Fazekas-Pongor, V., Csípő, T., Tarantini, S., Csizmadia, Z., & Varga, J. T. (2024). Exploring the Influence of Gut-Brain Axis Modulation on Cognitive Health: A Comprehensive Review of Prebiotics, Probiotics, and Symbiotics. *Nutrients*, *16*(6). https://doi.org/10.3390/nu16060789

Fekete, M., Lehoczki, A., Szappanos, Á., Zábó, V., Kaposvári, C., Horváth, A., Farkas, Á., Fazekas-Pongor, V., Major, D., & Lipécz, Á. (2025). Vitamin D and colorectal cancer prevention: Immunological mechanisms, inflammatory pathways, and nutritional implications. *Nutrients*, *17*(8), 1351.

Fekete, M., Szarvas, Z., Fazekas-Pongor, V., Feher, A., Csipo, T., Forrai, J., Dosa, N., Peterfi, A., Lehoczki, A., Tarantini, S., & Varga, J. T. (2022). Nutrition Strategies Promoting Healthy Aging: From Improvement of Cardiovascular and Brain Health to Prevention of Age-Associated Diseases. *Nutrients*, *15*(1). https://doi.org/10.3390/nu15010047

Fekete, M., Szarvas, Z., Fazekas-Pongor, V., Fehér, Á., & Varga, J. T. (2021). Az emberi szervezetben élő baktériumok klinikai jelentősége a gyakorlatban. *Egészségfejlesztés*, *62*(4), 31–43.

Filomeno, M., Bosetti, C., Garavello, W., Levi, F., Galeone, C., Negri, E., & La Vecchia, C. (2014). The role of a Mediterranean diet on the risk of oral and pharyngeal cancer. *Br J Cancer*, *111*(5), 981–986. https://doi.org/10.1038/bjc.2014.329

Giraldi, L., Panic, N., Cadoni, G., Boccia, S., & Leoncini, E. (2017). Association between Mediterranean diet and head and neck cancer: results of a large case-control study in Italy. *Eur J Cancer Prev*, *26*(5), 418–423. https://doi.org/10.1097/cej.0000000000000277

Jarecsny, T., Lehoczki, A., Csípő, T., Fazekas-Pongor, V., Mózes, N., Csík, B., Zábó, V., Lipécz, Á., Nyáry, D., & Fekete, M. (2026). The Gut Microbiome as a Mechanistic Link Between the Planetary Health Diet and Healthy Aging. *Nutrients*, *18*(17), 2864.

Kryczyk-Poprawa, A., Rząsa-Duran, E., Varga, J. T., Lehoczki, A., Zábó, V., Fazekas-Pongor, V., Major, D., Csípő, T., Szappanos, Á., & Lipécz, Á. (2026). Gut Microbiota-Targeted Nutrition for Healthy Aging: Mechanistic Roles of Polyphenols and Dietary Fiber in Geroscience. *Nutrients*, *18*(15), 2478.

Lehoczki, A., Csípő, T., Lipécz, Á., Major, D., Fazekas-Pongor, V., Csík, B., Mózes, N., Fehér, Á., Dósa, N., Árva, D., Pártos, K., Kaposvári, C., Horváth, K., Varga, P., & Fekete, M. (2025). Western Diet and Cognitive Decline: A Hungarian Perspective-Implications for the Design of the Semmelweis Study. *Nutrients*, *17*(15). https://doi.org/10.3390/nu17152446

Li, T., Zhao, J., Cao, H., Han, X., Lu, Y., Jiang, F., Li, X., Sun, J., Zhou, S., Sun, Z., Wang, W., Ding, Y., & Li, X. (2024). Dietary patterns in the progression of metabolic dysfunction-associated fatty liver disease to advanced liver disease: a prospective cohort study. *Am J Clin Nutr*, *120*(3), 518–527. https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2024.07.015

Li, W. Q., Park, Y., McGlynn, K. A., Hollenbeck, A. R., Taylor, P. R., Goldstein, A. M., & Freedman, N. D. (2014). Index-based dietary patterns and risk of incident hepatocellular carcinoma and mortality from chronic liver disease in a prospective study. *Hepatology*, *60*(2), 588–597. https://doi.org/10.1002/hep.27160

Li, W. Q., Park, Y., Wu, J. W., Goldstein, A. M., Taylor, P. R., Hollenbeck, A. R., Freedman, N. D., & Abnet, C. C. (2014). Index-based dietary patterns and risk of head and neck cancer in a large prospective study. *Am J Clin Nutr*, *99*(3), 559–566. https://doi.org/10.3945/ajcn.113.073163

Li, W. Q., Park, Y., Wu, J. W., Ren, J. S., Goldstein, A. M., Taylor, P. R., Hollenbeck, A. R., Freedman, N. D., & Abnet, C. C. (2013). Index-based dietary patterns and risk of esophageal and gastric cancer in a large cohort study. *Clin Gastroenterol Hepatol*, *11*(9), 1130–1136.e1132. https://doi.org/10.1016/j.cgh.2013.03.023

Luu, H. N., Neelakantan, N., Geng, T. T., Wang, R., Goh, G. B., Clemente, J. C., Jin, A., van Dam, R. M., Jia, W., Behari, J., Koh, W. P., & Yuan, J. M. (2021). Quality diet indexes and risk of hepatocellular carcinoma: Findings from the Singapore Chinese Health Study. *Int J Cancer*, *148*(9), 2102–2114. https://doi.org/10.1002/ijc.33367

Ma, Y., Yang, W., Simon, T. G., Smith-Warner, S. A., Fung, T. T., Sui, J., Chong, D., VoPham, T., Meyerhardt, J. A., & Wen, D. (2019). Dietary patterns and risk of hepatocellular carcinoma among US men and women. *Hepatology*, *70*(2), 577–586.

Madarász, B., Fazekas-Pongor, V., Szarvas, Z., Fekete, M., Varga, J. T., Tarantini, S., Csiszar, A., Lionetti, V., Tabák, A. G., Ungvari, Z., & Forrai, J. (2024). Survival and longevity of European rulers: geographical influences and exploring potential factors, including the Mediterranean diet - a historical analysis from 1354 to the twentieth century. *Geroscience*, *46*(4), 3801–3818. https://doi.org/10.1007/s11357-023-00957-5

Major, D., Fazekas-Pongor, V., Kovács, N., Pikó, P., Fekete, M., Ungvari, Z., & Ádány, R. (2026). Causes and extent of avoidable mortality across the european union: insights for advancing healthy aging. *Geroscience*, *48*(3), 3361–3374. https://doi.org/10.1007/s11357-025-02045-2

Mikó, E., Sipos, A., Tóth, E., Lehoczki, A., Fekete, M., Sebő, É., Kardos, G., & Bai, P. (2024). Guideline for designing microbiome studies in neoplastic diseases. *Geroscience*, *46*(5), 4037–4057.

Moussa, I., Day, R. S., Li, R., Du, X. L., Kaseb, A. O., Jalal, P. K., Daniel-MacDougall, C., Hatia, R. I., Abdelhakeem, A., Rashid, A., Chun, Y. S., Li, D., & Hassan, M. M. (2021). Dietary Patterns and Hepatocellular Carcinoma Risk among US Adults. *Nutrients*, *13*(6). https://doi.org/10.3390/nu13062011

Praud, D., Bertuccio, P., Bosetti, C., Turati, F., Ferraroni, M., & La Vecchia, C. (2014). Adherence to the Mediterranean diet and gastric cancer risk in Italy. *Int J Cancer*, *134*(12), 2935–2941. https://doi.org/10.1002/ijc.28620

Saka-Herrán, C., Pereira-Riveros, T., Jané-Salas, E., & López-López, J. (2023). Association between the Mediterranean Diet and Vitamin C and the Risk of Head and Neck Cancer. *Nutrients*, *15*(13). https://doi.org/10.3390/nu15132846

Salvatore Benito, A., Valero Zanuy, M., Alarza Cano, M., Ruiz Alonso, A., Alda Bravo, I., Rogero Blanco, E., Maíz Jiménez, M., & León Sanz, M. (2019). Adherence to Mediterranean diet: A comparison of patients with head and neck cancer and healthy population. *Endocrinol Diabetes Nutr (Engl Ed)*, *66*(7), 417–424. https://doi.org/10.1016/j.endinu.2018.12.002 (Original work published Adherencia a la dieta mediterránea: comparación entre pacientes con cáncer de cabeza y cuello y población sana.)

Samoli, E., Lagiou, A., Nikolopoulos, E., Lagogiannis, G., Barbouni, A., Lefantzis, D., Trichopoulos, D., Brennan, P., & Lagiou, P. (2010). Mediterranean diet and upper aerodigestive tract cancer: the Greek segment of the Alcohol-Related Cancers and Genetic Susceptibility in Europe study. *Br J Nutr*, *104*(9), 1369–1374. https://doi.org/10.1017/s0007114510002205

Saraiya, V., Bradshaw, P., Meyer, K., Gammon, M., Slade, G., Brennan, P., Abedi-Ardekani, B., & Olshan, A. (2020). The association between diet quality and cancer incidence of the head and neck. *Cancer causes & control*, *31*(2), 193–202.

Schulpen, M., Peeters, P. H., & van den Brandt, P. A. (2019). Mediterranean diet adherence and risk of esophageal and gastric cancer subtypes in the Netherlands Cohort Study. *Gastric Cancer*, *22*(4), 663–674.

Stojanovic, J., Giraldi, L., Arzani, D., Pastorino, R., Biondi, A., Persiani, R., Boccia, S., & Leoncini, E. (2017). Adherence to Mediterranean diet and risk of gastric cancer: results of a case-control study in Italy. *Eur J Cancer Prev*, *26*(6), 491–496. https://doi.org/10.1097/cej.0000000000000371

Tayyem, R., Al-Awwad, N., Allehdan, S., Ajeen, R., Al-Jaberi, T., Rayyan, Y., Bawadi, H., & Hushki, A. (2022). Mediterranean Dietary Pattern is Associated with Lower Odds of Gastric Cancer: A Case-Control Study. *Cancer Manag Res*, *14*, 2017–2029. https://doi.org/10.2147/cmar.S360468

Turati, F., Bravi, F., Polesel, J., Bosetti, C., Negri, E., Garavello, W., Taborelli, M., Serraino, D., Libra, M., Montella, M., Decarli, A., Ferraroni, M., & La Vecchia, C. (2017). Adherence to the Mediterranean diet and nasopharyngeal cancer risk in Italy. *Cancer Causes Control*, *28*(2), 89–95. https://doi.org/10.1007/s10552-017-0850-x

Turati, F., Trichopoulos, D., Polesel, J., Bravi, F., Rossi, M., Talamini, R., Franceschi, S., Montella, M., Trichopoulou, A., La Vecchia, C., & Lagiou, P. (2014). Mediterranean diet and hepatocellular carcinoma. *J Hepatol*, *60*(3), 606–611. https://doi.org/10.1016/j.jhep.2013.10.034

Ungvari, Z., Fekete, M., Fekete, J. T., Grosso, G., Ungvari, A., & Győrffy, B. (2025). Adherence to the Mediterranean diet and its protective effects against colorectal cancer: a meta-analysis of 26 studies with 2,217,404 participants. *Geroscience*, *47*(1), 1105–1121. https://doi.org/10.1007/s11357-024-01296-9

Ungvari, Z., Fekete, M., Varga, P., Lehoczki, A., Fekete, J. T., Ungvari, A., & Győrffy, B. (2025). Overweight and obesity significantly increase colorectal cancer risk: a meta-analysis of 66 studies revealing a 25–57% elevation in risk. *Geroscience*, *47*(3), 3343–3364.

Ungvari, Z., Fekete, M., Varga, P., Lehoczki, A., Grosso, G., Godos, J., Murmu, A., Ocana, A., Kiss, C., & Győrffy, B. (2026). Adherence to the Mediterranean diet is associated with reduced risk of head and neck, gastric, and liver cancers: a systematic review and meta-analysis. *Geroscience*. https://doi.org/10.1007/s11357-026-02525-z

van den Brandt, P. A. (2022). The impact of a healthy lifestyle on the risk of esophageal and gastric cancer subtypes. *Eur J Epidemiol*, *37*(9), 931–945. https://doi.org/10.1007/s10654-022-00899-w

Varga, P., Ungvari, A., Kallai, A., Ponyai, P. T., Csik, B., Feher, A., Fekete, M., Lipecz, A., Tarantini, S., & Yabluchanskiy, A. (2026). Mediterranean diet adherence and microvascular function assessed by laser speckle contrast imaging: Pilot findings from the Semmelweis study. *Advances in Translational Research*, 1661.2026. 00014.

Wang, C., Lin, X. L., Fan, Y. Y., Liu, Y. T., Zhang, X. L., Lu, Y. K., Xu, C. H., & Chen, Y. M. (2016). Diet Quality Scores and Risk of Nasopharyngeal Carcinoma in Chinese Adults: A Case-Control Study. *Nutrients*, *8*(3), 112. https://doi.org/10.3390/nu8030112

Yang, W., Ma, Y., Liu, Y., Smith-Warner, S. A., Simon, T. G., Chong, D. Q., Qi, Q., Meyerhardt, J. A., Giovannucci, E. L., Chan, A. T., & Zhang, X. (2019). Association of Intake of Whole Grains and Dietary Fiber With Risk of Hepatocellular Carcinoma in US Adults. *JAMA Oncol*, *5*(6), 879–886. https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2018.7159

Zhang, W., Xiang, Y. B., Li, H. L., Yang, G., Cai, H., Ji, B. T., Gao, Y. T., Zheng, W., & Shu, X. O. (2013). Vegetable-based dietary pattern and liver cancer risk: results from the Shanghai women's and men's health studies. *Cancer Sci*, *104*(10), 1353–1361. https://doi.org/10.1111/cas.12231

Zhou, K., Lim, T., Dodge, J. L., Terrault, N. A., Wilkens, L. R., & Setiawan, V. W. (2023). Population-attributable risk of modifiable lifestyle factors to hepatocellular carcinoma: The multi-ethnic cohort. *Aliment Pharmacol Ther*, *58*(1), 89–98. https://doi.org/10.1111/apt.17523

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR MEDICATION ADHERENCE ASSESSMENT IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES: AN EXPLORATORY STUDY IN MOROCCO USING CHATGPT AND THE VALIDATED GENERAL MEDICATION ADHERENCE SCALE

Maryem Arraji
Laboratory of Health Sciences and Technologies, Higher Institute of Health Sciences, Hassan First University of Settat

Mohamed Khalis
Mohammed VI Center of Research and Innovation
International School of Public Health, Mohammed VI University of Health Sciences
Higher Institute of Nursing Professions and Technical Health
Laboratory of Biostatistics, Clinical, and Epidemiological Research, Department of Public Health, Faculty of Medicine and Pharmacy, Mohamed V University in Rabat

Mohamed Chahboune
Laboratory of Health Sciences and Technologies, Higher Institute of Health Sciences, Hassan First University of Settat

ABSTRACT

Objectives

Medication adherence remains a major challenge in the management of type 2 diabetes (T2D), especially in middle-income countries such as Morocco. With the rapid development of artificial intelligence, large language models, including ChatGPT, may offer new opportunities for clinical research through simulated patient profiles. This study examined the feasibility of using ChatGPT to generate culturally contextualized virtual profiles of Moroccan patients with T2D and to apply the validated Moroccan Arabic dialect version of the general medication adherence scale (GMAS).

Methods

This exploratory pilot simulation study used ChatGPT-4 to generate 11 virtual profiles based on representative sociodemographic and clinical characteristics of Moroccan patients with T2D. Each profile was administered the validated Moroccan Arabic dialect version of the GMAS.

Results

Four profiles (36.4%) showed high adherence, 6 (54.5%) displayed moderate adherence, and 1 (9.1%) exhibited low adherence. Expert evaluations were consistent, with all ratings ≥3 on a 4-point scale, supporting the credibility and cultural appropriateness of the profiles. The simulated patterns reflected real-world trends, with higher adherence among profiles treated with oral antidiabetic drugs, covered by health insurance, and having shorter disease duration, and lower adherence among profiles using insulin, lacking insurance, and having longer disease duration.

Conclusion

ChatGPT generated credible, culturally adapted patient profiles that enabled application of a validated psychometric tool in a simulated environment. This rapid, low-cost approach may support exploratory research, healthcare training, and intervention design. Comparative studies using real patient data are needed to confirm validity.

Keywords: Artificial intelligence; Diabetes mellitus, type 2; Feasibility studies; Medication adherence; Morocco; Psychometrics

TRADITIONAL MEDICINE USE, MEDICINE SAFETY AND HEALTH-SEEKING BEHAVIOUR IN NIGERIA: BRIDGING BIOMEDICAL EVIDENCE AND PUBLIC HEALTH PRACTICE

Omoirri, M A
Department of Pharmacology and Toxicology, Faculty of Pharmacy, Federal University Oye-Ekiti

Iboro I
Department of Pharmacology and Toxicology, Faculty of Pharmacy, Federal University Oye-Ekiti

Ifeanyi P O
Department of Pharmacology and Toxicology, Faculty of Pharmacy, Federal University Oye-Ekiti

Udom, GJ
Department of Pharmacology, Medicine and Pharmaceutical Sciences, Kampala International University Daresalaam Tanzania

Oyepata JS
Department of Pharmacognosy and Traditional medicine, Faculty of Pharmaceutical Sciences Nnamdi Azikiwe University Awka

Janefrancis IO
Department of Microbiology Faculty of Natural Sciences, Chukwemeka Odumegwu Ojukwu University

ABSTRACT

Background

Traditional and herbal medicines remain important components of healthcare in Nigeria. However, their use alongside conventional medicines may raise concerns regarding medicine safety, herb–drug interactions, delayed healthcare utilisation and inadequate disclosure to healthcare professionals. Understanding the behavioural and safety dimensions of traditional medicine use is therefore important for public-health planning.

Objective

This study evaluated traditional medicine use, medicine-safety knowledge and health-seeking behaviour among adults in Nigeria and examined factors associated with traditional medicine utilisation and delayed formal healthcare seeking.

Methods

A simulated community-based cross-sectional study was designed involving 600 adults aged ≥18 years from three geopolitical zones of Nigeria (South-West, South-East, North-Central). Participants completed a structured questionnaire assessing sociodemographic characteristics, traditional medicine use, reasons for use, safety knowledge, concurrent conventional medicine use, disclosure to healthcare professionals and healthcare-seeking behaviour. Descriptive statistics were presented as frequencies and percentages.

Associations were assessed using χ^2 tests, while multivariable logistic regression identified independent predictors of traditional medicine use and delayed formal healthcare seeking. Statistical significance was set at $p<0.05$.

Results

The showed out of the 600 participants, 468 (78.0%) reported previous traditional/herbal medicine use and 342 (57.0%) reported use within the preceding 12 months. The most frequently reported reasons were perceived effectiveness (72.4%), affordability (61.1%) and accessibility (55.8%). Although 66.7% believed that herbal medicines could produce adverse effects, only 38.5% routinely disclosed their use to healthcare professionals. Concurrent use of herbal and conventional medicines was reported by 41.3% of participants. Delayed presentation to formal healthcare following onset of significant symptoms was reported by 34.7%. Higher medicine-safety knowledge was associated with greater disclosure (AOR=2.31, 95% CI: 1.58–3.38; $p<0.001$), whereas perceived affordability of traditional medicine was independently associated with traditional medicine use (AOR=2.14, 95% CI: 1.42–3.23; $p<0.001$).

Conclusion

The findings demonstrated substantial traditional medicine utilisation and identified important gaps between medicine-safety knowledge and health behaviour. Strengthening pharmacovigilance, routine documentation of herbal medicine use, community medicine-safety education and culturally responsive health-system engagement may improve patient safety and continuity of care.

Keywords: Traditional medicine; herbal medicine; medicine safety; health-seeking behaviour; pharmacovigilance; Nigeria; public health.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EFFECT OF ENVIRONMENTAL CHANGES ON THE HEALTH OF RURAL DWELLERS IN SOUTHWEST, NIGERIA

FANU Abimbola Theresa
Federal University Oye Ekiti

Abstract
The study assessed the effect of environmental changes on the health of rural dwellers in Southwest, Nigeria. The objectives were to: assess the level of awareness of farmers on the effects of environmental changes on their health; identify the health challenges faced; **e**xamine the attitude of famers towards the environment and identify environmental changes encountered. Respondents were selected through multi-stage sampling procedure. At first stage, three Local Governments Areas were selected. At second stage, five towns were selected from each of the three LGAs, making a total of 15 communities. At third stage, 8 farmers were selected in each of the towns, making 120 respondents. The study revealed that majority (85%) of the respondents were farmers. The most encountered environmental changes were storms and strong wind ($\bar{x}$=2.26). Respondents were aware of the various environmental changes happening in their communities, but were most aware of high temperature ($\bar{x}$=2.88). Heat-related illnesses were the most encountered challenges ($\bar{x}$=2.94), thereby increasing the incidence of heat exhaustion, heatstroke, and other heat-related disorders. Respondents believed that investing in protective equipment was essential for their health ($\bar{x}$=2.93). In conclusion, respondents are highly aware of environmental changes like high temperature, storms and strong wind, which have increased heat- related illnesses making investment in protective equipment essential for their health. The study recommends that rural dwellers should receive training on climate-smart agricultural practices and environmental hazards. Health education programs should be implemented to educate them on the risks associated with environmental changes and the importance of protective/ precautionary measures.
Keywords: Farmers, exhaustion, protective gears, challenges, high temperature

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EXAMINING THE HEALTH IMPLICATIONS OF POOR ENVIRONMENTAL PRACTICES AND REGULATORY NON-COMPLIANCE IN LAGOS STATE

Yusuf Olanrewaju Lateef
Department of Religions and Peace Studies, Lagos State University

Onifade Aliyah Adeola
Department of Religions and Peace Studies, Lagos State University

ABSTRACT
Lagos State's rapid urbanisation, industrial activity, population density, and expanding infrastructure have placed sustained pressure on its environmental systems. Although the State has an extensive legal and institutional framework for regulating waste, pollution, effluent discharge, emissions, and related environmental risks, poor environmental practices and regulatory non-compliance continue to expose communities to avoidable health hazards. This paper examines these consequences through a Peace and Conflict Studies lens. It argues that environmental harm should not be treated as a matter of public health alone; it is also a question of human security, social vulnerability, institutional legitimacy, and sustainable peace. The study adopts an exploratory design and qualitative documentary analysis of scholarly literature, environmental legislation, regulatory materials, and selected institutional publications, with particular attention to Lagos State. The analysis brings together environmental-health evidence and the institutional conditions that shape exposure, vulnerability, compliance, and response. While existing studies have documented flooding, waste mismanagement, air pollution, and other environmental risks in Lagos, less attention has been paid to the way regulatory failure connects these risks with institutional trust and peacebuilding. The paper therefore argues for preventive and risk-based enforcement, meaningful community participation, transparent environmental information, environmental-health surveillance, conflict-sensitive regulation, and accountable digital reporting and early-warning systems. Taken together, these measures can strengthen both environmental security and the social conditions necessary for a healthier and more peaceful Lagos.
Keywords: Environmental health, regulatory compliance, human security, environmental peacebuilding, sustainable development.

ASSOCIATION OF SERUM ESTRADIOL AND VITAMIN D WITH MENOPAUSAL SYMPTOM SEVERITY: A CROSS-SECTIONAL STUDY

Sorin BURLICA
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Obstetrics and Gynecology

Stela IURCIUC
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Tiberiu BULEU
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Oana TOADER
National Institute for Mother and Child Health “Alessandrescu-Rusescu”

Ion PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Functional Sciences, Medical Informatics and Biostatistics Discipline

ROXANA FURAU
"Vasile Goldis" Western Univ Arad, Fac Med, Dept Gen Med, Arad 310414

Izabella PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Obstetrics and Gynecology

ABSTRACT

Objectives

To investigate the relationship between serum estradiol, vitamin D concentrations, and menopausal symptom severity, with particular emphasis on somatic, psychological, and vasomotor manifestations.

Materials and Methods

This cross-sectional analysis included 202 women randomly selected from records with complete Menopause Rating Scale (MRS) data. Serum estradiol and 25-hydroxyvitamin D concentrations were evaluated alongside clinical characteristics. Menopausal symptom severity was assessed using the 11-item MRS. Pearson correlation analysis was performed to examine associations between biochemical parameters, individual symptom domains, and total MRS scores. Statistical significance was established at $p < 0.05$.

Results

The mean age of participants was 50.33 years, and the mean total MRS score was 11.49 ± 6.11. Mean serum estradiol and vitamin D concentrations were 66.22 pg/mL and 25.58 ng/mL, respectively. Estradiol demonstrated a significant inverse correlation with total MRS scores ($r = −0.293$, $p < 0.001$). Significant negative correlations were also observed with sleep disturbances ($r = −0.243$, $p = 0.001$), physical and mental exhaustion ($r = −0.199$, $p = 0.007$), and irritability ($r = −0.177$, $p = 0.018$).

Vitamin D concentrations showed a weak positive correlation with total MRS scores ($r = 0.179$, $p = 0.015$) and sleep disturbances ($r = 0.205$, $p = 0.005$). No significant association was identified between vitamin D and depressive mood.

Conclusions

Lower serum estradiol concentrations were associated with increased menopausal symptom severity, particularly sleep disturbances, exhaustion, and irritability. Vitamin D demonstrated weaker associations, with an unexpected positive relationship with overall symptom burden. These findings emphasize the importance of evaluating endocrine biomarkers individually and warrant further investigation into potential confounding factors and the clinical significance of vitamin D status during menopause.

Keywords: Menopause; Estradiol; Vitamin D; Menopause Rating Scale; Endocrine Biomarkers

MACHINE LEARNING-BASED PREDICTION OF SEVERE MENOPAUSAL SYMPTOMS: AN EXPLAINABLE RANDOM FOREST APPROACH

Ion PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Functional Sciences, Medical Informatics and Biostatistics Discipline

Daian Ionel POPA
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Research Center for Medical Communication

Tiberiu BULEU
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Elena Ramona DRAGOMIR
National Institute for Mother and Child Health "Alessandrescu-Rusescu"

Marina MERCIONI
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Applied Electronics Department, Faculty of Electronics, Telecommunications and Information Technologies, Politehnica University

Maryam KRROSHEN
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Obstetrics and Gynecology

ABSTRACT

Objectives
To develop and evaluate machine learning models for predicting severe menopausal symptoms using clinical, endocrine, metabolic, and sociodemographic variables and to identify the principal predictors through explainable artificial intelligence.

Materials and Methods
This cross-sectional observational study included 302 postmenopausal women. Clinical and biochemical variables included age, body mass index (BMI), fasting glucose, serum estradiol, vitamin D, educational attainment, and residential environment. Menopausal symptom severity was assessed using the Menopause Rating Scale (MRS), with a total score ≥17 defining severe symptomatology. Four classification algorithms—Logistic Regression, Random Forest, XGBoost, and Support Vector Machines—were evaluated using an independent test set of 61 participants. Predictive performance was assessed using accuracy, sensitivity, specificity, F1-score, and area under the receiver operating characteristic curve (AUC-ROC). SHapley Additive exPlanations (SHAP) were used to interpret Random Forest predictions.

Results
Severe menopausal symptoms were identified in 277 of the 302 participants (91.7%). The Random Forest classifier achieved an accuracy of 95.08%, sensitivity of 100%, F1-score of 97.39%, and AUC-ROC of 97.14%. All 56 women with severe symptoms in the test set were correctly identified, although specificity was limited to 40%.

Logistic Regression achieved an accuracy of 96.72% and an AUC-ROC of 98.93%. SHAP analysis identified serum estradiol as the dominant predictor (mean absolute SHAP = 0.090), followed by chronological age (0.013) and educational attainment (0.010). Higher estradiol concentrations and university-level education were associated with lower predicted symptom severity.

Conclusions

Machine learning models demonstrated high sensitivity in identifying severe menopausal symptoms, with estradiol emerging as the principal predictive biomarker. SHAP analysis enhanced model interpretability and highlighted the contribution of endocrine and sociodemographic factors. These findings support further investigation of explainable machine learning for personalized menopausal assessment, although external validation in larger, more balanced populations is required before clinical implementation.

Keywords: Menopause; Machine Learning; Random Forest; Estradiol; SHAP

LONGITUDINAL CHANGES IN ARTERIAL STIFFNESS IN HYPERTENSIVE PREGNANCIES: A COMPARATIVE STUDY

Adrian LOICHITA
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Ion PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Functional Sciences, Medical Informatics and Biostatistics Discipline

Narcisa Carmen MLADIN
"Vasile Goldis" Western University Arad, Department of General Medicine

Daian Ionel POPA
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Research Center for Medical Communication

Florina BULEU
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Cardiology

Alexandru – Marius FURAU
"Vasile Goldiș" Western University of Arad, Romania, Medical Oncology Department

Izabella PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy, Department of Obstetrics and Gynecology, Timisoara

ABSTRACT

Objectives
To investigate longitudinal changes in aortic pulse wave velocity (PWVao) and augmentation index (AIx) during pregnancy and to compare arterial stiffness and wave reflection between women with hypertensive disorders of pregnancy (HDP) and normotensive pregnant women.

Materials and Methods
This prospective longitudinal cohort study included 200 pregnant women: 100 diagnosed with gestational hypertension or preeclampsia and 100 normotensive controls. Arterial stiffness and central hemodynamics were assessed during the second and third trimesters using TensioMed Arteriograph and SphygmoCor XCEL systems. The principal vascular parameters were PWVao and AIx. Between-group comparisons, paired longitudinal analyses, and correlation analyses were performed.

Results
Women with HDP exhibited substantially higher arterial stiffness than normotensive controls. Mean PWVao increased from 10.92 ± 1.36 m/s in the second trimester to 12.37 ± 1.68 m/s in the third trimester, compared with an increase from 8.21 ± 0.99 to 8.72 ± 0.75 m/s in normotensive pregnancies. AIx increased from 1.25 ± 0.86% to 3.68 ± 1.36% in the HDP group, whereas corresponding values in controls were −18.99 ± 8.63% and −13.52 ± 5.49%. Longitudinal changes were statistically significant in both cohorts.

Within the HDP group, second-trimester PWVao demonstrated strong correlations with systolic blood pressure ($r = 0.973$), diastolic blood pressure ($r = 0.949$), and central systolic pressure ($r = 0.944$; all $p < 0.001$). PWVao demonstrated strong longitudinal tracking ($R^2 = 0.972$), whereas AIx showed substantially weaker tracking ($R^2 = 0.031$).

Conclusions

Hypertensive pregnancies are characterized by increased and progressively worsening arterial stiffness and altered wave reflection. PWVao demonstrated strong longitudinal stability, suggesting its potential value as a marker of maternal vascular phenotype. These findings support further investigation of non-invasive arterial stiffness assessment as a complementary tool for cardiovascular evaluation in high-risk pregnancies.

Keywords: Hypertensive Disorders of Pregnancy; Arterial Stiffness; Pulse Wave Velocity; Augmentation Index; Maternal Hemodynamics.

MATERNAL VASCULAR DYSFUNCTION AND ADVERSE OBSTETRIC AND NEONATAL OUTCOMES IN HYPERTENSIVE PREGNANCIES

Ioana ARDELEAN
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Ion PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Functional Sciences, Medical Informatics and Biostatistics Discipline

Stela IURCIUC
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Tiberiu BULEU
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Maryam KRROSHEN
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Laurantiu Cezar TOMESCU
"Ovidius" University of Constanța, Department of Obstetrics and Gynecology

Oana TOADER
National Institute for Mother and Child Health "Alessandrescu-Rusescu"

Izabella PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Obstetrics and Gynecology

ABSRACT

Objectives

To compare obstetric and neonatal outcomes between women with hypertensive disorders of pregnancy (HDP) and normotensive pregnant women and to investigate the relationship between maternal arterial stiffness and neonatal outcomes.

Materials and Methods

This prospective longitudinal cohort study included 200 pregnant women, comprising 100 women with gestational hypertension or preeclampsia and 100 normotensive controls. Maternal arterial stiffness was assessed using aortic pulse wave velocity (PWVao) during the second and third trimesters. Obstetric and neonatal outcomes included gestational age at delivery, mode of delivery, neonatal birth weight, and 1-minute Apgar score. Between-group comparisons and Pearson correlation analyses were performed to evaluate differences in pregnancy outcomes and their associations with maternal vascular parameters.

Results

Women with HDP exhibited substantially higher arterial stiffness, with second-trimester PWVao values of 10.92 ± 1.36 m/s compared with 8.21 ± 0.99 m/s in normotensive controls. Pregnancies complicated by HDP ended significantly earlier, at 34.30 ± 3.28 weeks versus 38.91 ± 0.90 weeks in controls.

Mean neonatal birth weight was considerably lower in the HDP group (2573.90 ± 785.55 g vs. 3571.30 ± 451.35 g), representing a difference of approximately 1 kg. The mean 1-minute Apgar score was also reduced (7.61 ± 2.14 vs. 9.14 ± 0.85). Cesarean delivery occurred in 83% of hypertensive pregnancies compared with 31% of normotensive pregnancies. However, within the HDP group, second-trimester PWVao was not significantly correlated with gestational age at delivery ($r = -0.125$, $p = 0.214$), neonatal birth weight ($r = -0.023$, $p = 0.820$), or 1-minute Apgar score ($r = -0.079$, $p = 0.436$).

Conclusions

Hypertensive pregnancies were characterized by increased maternal arterial stiffness and less favorable obstetric and neonatal outcomes, including earlier delivery, lower birth weight, reduced Apgar scores, and higher cesarean delivery rates. However, PWVao was not directly associated with individual neonatal outcomes within the hypertensive cohort. These findings support further investigation of maternal vascular assessment as part of comprehensive obstetric risk evaluation, while highlighting the need for larger prospective studies to establish its independent prognostic value.

Keywords: Hypertensive Disorders of Pregnancy; Arterial Stiffness; Pulse Wave Velocity; Neonatal Outcomes; Cesarean Delivery.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BASELINE HEMATOLOGICAL PARAMETERS AND SUBSEQUENT HEMOGLOBIN DECLINE IN WOMEN WITH CERVICAL CANCER: A RETROSPECTIVE COHORT STUDY

Alexandru – Marius FURAU
"Vasile Goldiș" Western University of Arad, Romania, Medical Oncology Department

Razvan BOBORA
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Medical Oncology Department

Florina BULEU
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy, Department of Cardiology
ORCID: 0000-0002-9814-9561

Ion PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy, Department of Functional Sciences, Medical Informatics and Biostatistics Discipline
ORCID: 0000-0001-9168-269X

ROXANA FURAU
"Vasile Goldis" Western Univ Arad, Fac Med, Dept Gen Med

Daian Ionel POPA
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Research Center for Medical Communication

Izabella PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy, Department of Obstetrics and Gynecology, Timisoara

ABSTACT

Objectives

To investigate the associations between baseline hematological parameters and subsequent clinically relevant hemoglobin decline in women with cervical cancer, with particular emphasis on hemoglobin concentration, leukocyte count, neutrophil count, and platelet count.

Materials and Methods

This retrospective observational study included 326 women with cervical cancer who had a baseline hemoglobin concentration ≥10 g/dL and at least one subsequent hemoglobin measurement. The primary outcome was a subsequent hemoglobin concentration below 10 g/dL during the available follow-up period. Patients were divided into two groups according to hematological outcome. Baseline hemoglobin, leukocyte, neutrophil, and platelet counts were compared between groups using appropriate statistical tests. Statistical significance was established at $p < 0.05$.

Results
During follow-up, 99 patients (30.4%) developed hemoglobin concentrations below 10 g/dL, while 227 patients (69.6%) maintained concentrations at or above this threshold. Women who subsequently developed hemoglobin decline had significantly lower baseline hemoglobin concentrations than those who did not (11.95 vs. 12.74 g/dL; $p < 0.001$). Baseline leukocyte counts were significantly higher in the outcome-positive group (7.92 vs. 6.57 × 10^9/L; $p = 0.001$). Similar differences were observed for neutrophil counts (5.67 vs. 4.43 × 10^9/L; $p < 0.001$) and platelet counts (300.08 vs. 257.07 × 10^9/L; $p = 0.002$). Mean age did not differ significantly between groups (58.92 vs. 57.77 years; $p = 0.374$). These findings indicate that subsequent hemoglobin decline was associated with both reduced baseline hematological reserve and elevated inflammatory hematological parameters.

Conclusions
Lower baseline hemoglobin concentrations and higher leukocyte, neutrophil, and platelet counts were associated with subsequent clinically relevant hemoglobin decline in women with cervical cancer. Routine hematological parameters may provide accessible information for identifying patients who require closer monitoring during oncological management. Further prospective studies are needed to establish their independent predictive value and clinical utility.
Keywords: Cervical Cancer; Hemoglobin Decline; Anemia; Hematological Biomarkers; Neutrophils.

AORTIC PULSE WAVE VELOCITY AND CENTRAL HEMODYNAMICS IN HYPERTENSIVE PREGNANCY: LONGITUDINAL ASSOCIATIONS AND VASCULAR PHENOTYPING

Madalina SOROP
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Ion PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Functional Sciences, Medical Informatics and Biostatistics Discipline

Bogdan SOROP
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Obstetrics and Gynecology

Florina BULEU
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Cardiology

Tiberiu BULEU
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Narcisa Carmen MLADIN
"Vasile Goldis" Western University Arad, Department of General Medicine România

Izabella PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy, Department of Obstetrics and Gynecology, Timisoara

ABSTRACT

Objectives
To investigate the relationships between aortic pulse wave velocity (PWVao), central hemodynamics, and metabolic parameters in hypertensive pregnancies and to evaluate the longitudinal stability of arterial stiffness and wave-reflection indices.

Materials and Methods
This prospective longitudinal cohort study included 200 pregnant women, comprising 100 women with gestational hypertension or preeclampsia and 100 normotensive controls. PWVao, augmentation index (AIx), peripheral and central blood pressure, and heart rate were assessed during the second and third trimesters using non-invasive vascular assessment systems. Pearson correlation analysis was performed to investigate associations between PWVao and hemodynamic and metabolic parameters within the hypertensive cohort. Longitudinal regression analyses evaluated the stability of vascular indices across gestation.

Results
Women with hypertensive disorders of pregnancy exhibited higher second-trimester PWVao than normotensive controls (10.92 ± 1.36 vs. 8.21 ± 0.99 m/s). Within the hypertensive cohort, PWVao demonstrated strong positive correlations with systolic blood pressure ($r = 0.973$), diastolic blood pressure ($r = 0.949$), pulse pressure ($r = 0.960$), central systolic pressure ($r = 0.944$), and heart rate ($r = 0.952$; all $p < 0.001$).

Significant associations were also observed with total cholesterol ($r = 0.983$), LDL cholesterol ($r = 0.962$), triglycerides ($r = 0.988$), and HDL cholesterol ($r = -0.871$; all $p < 0.001$). PWVao demonstrated strong longitudinal tracking between the second and third trimesters ($R^2 = 0.972$), whereas AIx exhibited substantially weaker tracking ($R^2 = 0.031$). In normotensive pregnancies, longitudinal tracking was strong for both PWVao ($R^2 = 0.801$) and AIx ($R^2 = 0.939$).

Conclusions

PWVao was strongly associated with maternal hemodynamic load and lipid parameters in hypertensive pregnancies. Its high longitudinal stability, contrasting with the greater variability of AIx, suggests that PWVao may provide a reproducible marker of the maternal vascular phenotype. However, the unusually strong metabolic correlations require independent validation. Further prospective studies are warranted to establish the clinical value of integrating arterial stiffness assessment into cardiovascular evaluation during high-risk pregnancy.

Keywords: Hypertensive Pregnancy; Aortic Pulse Wave Velocity; Central Hemodynamics; Arterial Stiffness; Lipid Profile.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

FIGO STAGE AND TREATMENT-RELATED FACTORS ASSOCIATED WITH HEMOGLOBIN DECLINE IN WOMEN WITH CERVICAL CANCER: A REAL-WORLD STUDY

Mihai LOICHITA
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Ion PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Maryam KRROSHEN
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Razvan BOBORA
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

Alexandru – Marius FURAU
"Vasile Goldis" Western University of Arad, Romania, Medical Oncology Department

Carina BOGDAN
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department VII, Internal Medicine II, Discipline of Cardiology

Izabella PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara

ABSTRACT

Objectives

To investigate the association between cervical cancer stage, treatment-related characteristics, and subsequent clinically relevant hemoglobin decline, with particular emphasis on identifying clinical factors relevant to hematological monitoring during oncological treatment.

Materials and Methods

This retrospective observational study included 326 women with cervical cancer who had a baseline hemoglobin concentration ≥10 g/dL and at least one subsequent hemoglobin measurement. The primary outcome was a subsequent hemoglobin concentration below 10 g/dL during the available follow-up period. Patients were evaluated according to FIGO stage, baseline hematological status, and available treatment-related characteristics. Associations between disease stage and hematological deterioration were examined, while the contribution of treatment variables was assessed using an explainable Extra Trees machine learning model and SHapley Additive exPlanations (SHAP).

Results

During follow-up, 99 patients (30.4%) developed hemoglobin concentrations below 10 g/dL. The proportion of patients experiencing hematological deterioration varied according to disease stage, occurring in 30.0% of FIGO stage I, 20.2% of FIGO stage II, 35.4% of FIGO stage III, and 50.0% of FIGO stage IV cases. Patients who subsequently developed hemoglobin decline had lower baseline hemoglobin concentrations than those who maintained levels ≥10 g/dL (11.95 vs. 12.74 g/dL; $p < 0.001$).

Treatment-related variables contributed to the multivariable prediction model. SHAP analysis identified carboplatin and paclitaxel among the most influential predictors, followed by baseline hemoglobin, cisplatin, and FIGO stage. The Extra Trees model achieved a ROC-AUC of 0.756, indicating moderate discrimination. Treatment-related SHAP contributions reflected associations within the prediction model rather than established causal effects.

Conclusions

Advanced FIGO stage was associated with a greater observed frequency of subsequent hemoglobin decline, particularly in stage IV disease. Treatment-related characteristics and baseline hematological status contributed to individualized risk estimation. Integrating disease stage, treatment information, and routine blood parameters may support risk-adapted hematological monitoring in women with cervical cancer. Prospective studies are required to clarify treatment-specific associations and validate the clinical utility of this approach.

Keywords: Cervical Cancer; FIGO Stage; Hemoglobin Decline; Chemotherapy; Hematological Toxicity.

EXPLAINABLE MACHINE LEARNING FOR PREDICTING HEMOGLOBIN DECLINE IN WOMEN WITH CERVICAL CANCER: A REAL-WORLD STUDY

Razvan BOBORA
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Medical Oncology Department

Alexandru – Marius FURAU
"Vasile Goldiș" Western University of Arad, Romania, Medical Oncology Department

Florina BULEU
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy, Department of Cardiology
ORCID: 0000-0002-9814-9561

Ion PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy, Department of Functional Sciences, Medical Informatics and Biostatistics Discipline
ORCID: 0000-0001-9168-269X

ROXANA FURAU
"Vasile Goldis" Western Univ Arad, Fac Med, Dept Gen Med

Elena Ramona DRAGOMIR
National Institute for Mother and Child Health “Alessandrescu-Rusescu”

Izabella PETRE
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy, Department of Obstetrics and Gynecology

ABSTRACT

Objectives

To develop and compare explainable machine learning models for predicting clinically relevant hemoglobin decline in women with cervical cancer using routinely available clinical, oncological, treatment-related, and hematological data.

Materials and Methods

This retrospective observational study included 326 women with cervical cancer who had a baseline hemoglobin concentration ≥10 g/dL and at least one subsequent hemoglobin measurement. The primary outcome was a subsequent hemoglobin concentration below 10 g/dL. Four classification algorithms—Logistic Regression, Random Forest, Extra Trees, and Gradient Boosting—were evaluated using stratified five-fold cross-validation. Model performance was assessed using the area under the receiver operating characteristic curve (ROC-AUC), precision–recall AUC (PR-AUC), sensitivity, and specificity. SHapley Additive exPlanations (SHAP) were used to identify the principal contributors to model predictions.

Results

During follow-up, 99 patients (30.4%) developed hemoglobin concentrations below 10 g/dL. Extra Trees achieved a ROC-AUC of 0.756, PR-AUC of 0.545, sensitivity of 59.6%, and specificity of 80.6%.

Random Forest demonstrated comparable discrimination (ROC-AUC = 0.754) and the highest PR-AUC (0.578). Logistic Regression and Gradient Boosting achieved ROC-AUC values of 0.704 and 0.698, respectively. SHAP analysis of the Extra Trees model identified carboplatin, paclitaxel, baseline hemoglobin, cisplatin, and FIGO stage as the principal contributors to prediction, followed by neutrophil and leukocyte counts. Patients who subsequently developed anemia had lower baseline hemoglobin concentrations (11.95 vs. 12.74 g/dL; $p < 0.001$).

Conclusions

Explainable machine learning models demonstrated moderate discrimination for predicting subsequent hemoglobin decline in women with cervical cancer. Integrating baseline hematological parameters, disease stage, and treatment characteristics may facilitate individualized risk stratification and hematological monitoring. However, external validation and prospective evaluation are required before clinical implementation.

Keywords: Cervical Cancer; Machine Learning; Explainable Artificial Intelligence; Hemoglobin Decline; SHAP.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BİYOETİĞİN KAVRAMSAL GELİŞİMİNDE ROL OYNAYAN SÜREÇLER

Dr. Serap YILMAZ
ORCID: 0000-0003-4839-4283

Prof. Dr. Funda Gülay KADIOĞLU
Çukurova Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıp Tarihi ve Etik AD ve Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti AD.
ORCID: 0000-0001-6199-0739

ÖZET
Yaşam bilimlerinde ortaya çıkan etik sorunları inceleyen ve disiplinlerarası bir alan olan "biyoetik" kavramı ilk kez Paul Max Fritz Jahr tarafından 1926 yılında kullanılmıştır. Jahr, biyoetiği "tüm canlıların ve doğanın gereksiz zarar ve tahribattan korunmasını amaçlayan bir etik anlayışı" olarak tanımlamıştır. Biyoetiğin uluslararası düzeyde yaygınlaşması ve bağımsız bir disiplin niteliği kazanması ise 1970'li yıllarda van Rensselaer Potter'ın "biyolojik bilgi ile insani değerler arasında bir köprü kurmayı ve insanlığın geleceğini güvence altına almayı hedefleyen yaklaşımı"yla ivme kazanmıştır.
Jahr ve Potter'ın öncü katkılarını takiben Albert Schweitzer ve Aldo Leopold gibi düşünürlerin yaşam ve çevre etiğine ilişkin görüşleri ile Nürnberg Kodu, Helsinki Bildirgesi ve Belmont Raporu gibi uluslararası etik düzenlemeler, biyoetiğin kuramsal ve kurumsal temellerinin oluşmasında önemli rol oynamıştır.
Bilimsel ve teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte, biyoetik tartışmaları çeşitlenmiştir. Gen düzenleme teknolojileri, kök hücre ve organoid araştırmaları, hassas tıp, sağlıkta büyük veri, yapay zekâ ve dijital sağlık uygulamaları, nöroteknolojiler, COVID-19 pandemisi, gezegen sağlığı, iklim değişikliği, Tek Sağlık (One Health) yaklaşımı, küresel sağlık adaleti gibi konular biyoetiğin temel çalışma alanları hâline gelmiştir. Bu doğrultuda biyoetik, yalnızca tıp etiğiyle sınırlı kalmayıp insanı, diğer canlıları, çevreyi ve gelecek kuşakları bütüncül bir yaklaşımla ele alan, bilimsel ve toplumsal gelişmelere paralel olarak sürekli gelişen dinamik bir disiplin niteliği kazanmıştır.
Bu çalışmanın amacı, biyoetik kavramının ortaya çıkışından günümüze kadar geçen süreçte kavramın gelişimine katkı sağlayan öncü düşünürlerin yaklaşımlarını, biyoetiğin kuramsal ve kurumsal temellerinin oluşumunda etkili olan etik düzenlemeleri ve disiplinin kapsamının genişlemesine katkıda bulunan bilimsel, toplumsal ve teknolojik gelişmeleri inceleyerek biyoetiğin tarihsel dönüşümünü biçimlendiren temel dinamikleri ortaya koymaktır.
Anahtar Kelimeler: Biyoetik, Biyoteknoloji, Çevre Etiği, Küresel Biyoetik, Tek Sağlık, Tıp Etiği.

PROCESSES CONTRIBUTING TO THE CONCEPTUAL DEVELOPMENT OF BIOETHICS

ABSTRACT
Bioethics, an interdisciplinary field that examines ethical issues arising in the life sciences, was first used conceptually by Paul Max Fritz Jahr in 1926. Jahr defined bioethics as "an ethical approach that aims to protect all living beings and nature from unnecessary harm and destruction." The international spread of bioethics and its development as an independent discipline gained momentum in the 1970s through van Rensselaer Potter's "approach that aims to establish a bridge between biological knowledge and human values and to ensure the future of humanity."

Following the pioneering contributions of Jahr and Potter, the views of thinkers such as Albert Schweitzer and Aldo Leopold on life and environmental ethics, as well as international ethical regulations such as the Nuremberg Code, the Declaration of Helsinki, and the Belmont Report, played an important role in the formation of the theoretical and institutional foundations of bioethics.

With the acceleration of scientific and technological developments, bioethical debates have diversified. Gene editing technologies, stem cell and organoid research, precision medicine, big data in healthcare, artificial intelligence and digital health applications, neurotechnologies, the COVID-19 pandemic, planetary health, climate change, the One Health approach, and global health justice have become major areas of bioethical inquiry. Accordingly, bioethics has gained the character of a dynamic discipline that is not limited to medical ethics but addresses humans, other living beings, the environment, and future generations from a holistic perspective and continuously evolves in parallel with scientific and social developments.

The aim of this study is to examine the approaches of pioneering thinkers who contributed to the development of the concept of bioethics from its emergence to the present day, the ethical guidelines and regulations that contributed to the formation of its theoretical and institutional foundations, and the scientific, social, and technological developments that have expanded the scope of the discipline. In doing so, the study seeks to identify the fundamental dynamics that have shaped the historical transformation of bioethics.

Keywords: Bioethics, Biotechnology, Environmental Ethics, Global Bioethics, Medical Ethics, One Health.

GİRİŞ

Biyoetiği "hayat sevgisi" olarak tanımlayan Darryl R. J. Macer, kavramın çevre, yaşam bilimleri ve tıpla ilişkili teknolojiler de dahil olmak üzere bilimin farklı alanlarında ortaya çıkan etik meseleleri kapsadığını belirtmiştir (Macer, 1998; Macer, 2008). Bu geniş kapsam, kavramın etimolojik kökeninde de karşılık bulmaktadır. Yaşamı ya da canlı organizmaları ifade eden "bios" sözcüğü (Lima ve Cicovacki, 2014) ile karakter, alışkanlık, gelenek, töre ve ahlak anlamlarına gelen "ethike/ethos" (Oğuz, Tepe, Örnek Büken ve Kırımsoy Kucur, 2005; Sparrow ve Hutchinson, 2013) sözcüklerinin birleşiminden oluşan biyoetik, biyoloji ve tıp başta olmak üzere yaşam bilimleri alanındaki etik sorunları konu edinmesi nedeniyle çok boyutlu bir çalışma alanı olarak ortaya çıkmıştır (Cevizci, 2013).

Biyoetiğin günümüzde sahip olduğu bu geniş kapsam, kavramın ortaya çıktığı dönemden itibaren geçirdiği gelişim süreciyle yakından ilişkilidir. Kavramın ortaya çıkışı belirli isimlerle ilişkilendirilse de biyoetiğin bugünkü anlamına ulaşması; bilimsel ve teknolojik gelişmeler, etik sorunlar, toplumsal değişimler ve bunlara yönelik hukuki ve kurumsal düzenlemelerin etkisiyle gerçekleşen tarihsel bir sürecin sonucudur. Bununla birlikte biyoetik tartışmaların yönü, içinde geliştiği kültürel bağlama göre farklılaşmaktadır. Bu kültürel ve kavramsal farklılaşmanın güncel yansımaları, bilişim çağında hız kazanan teknolojik gelişmelerin yanı sıra iklim krizi, çevresel bozulma ve sürdürülebilirlik gibi küresel sorunlarda da görülmektedir. Biyoteknoloji, yapay zekâ ve dijital sağlık alanındaki gelişmelerle birlikte artan çevresel kaygılar, biyoetik tartışmaların klinik ve birey merkezli etik sorunların ötesine geçerek toplumsal ve ekolojik boyutları da kapsayan daha geniş bir alana dönüştüğünü göstermektedir (Yılmaz, 2026).

Bu çalışma, biyoetik kavramının ortaya çıkışından günümüze kadar geçen süreçte kavramın gelişimine katkı sağlayan öncü düşünürlerin yaklaşımlarını, biyoetiğin kuramsal ve kurumsal temellerinin oluşumunda etkili olan etik düzenlemeleri ve disiplinin kapsamının genişlemesine katkıda bulunan bilimsel, toplumsal ve teknolojik gelişmeleri inceleyerek biyoetiğin tarihsel dönüşümünü biçimlendiren temel dinamikleri ortaya koymayı amaçlamaktadır.

1. Paul Max Fritz Jahr ve Biyoetiğin Ortaya Çıkışı

Almanya'da dünyaya gelen Paul Max Fritz Jahr (1895-1953), "biyoetik" kavramını ilk kez 1926'da Die Mittelschule dergisinde yayımlanan "Hayat Bilimleri ve Etik Öğretisi" *(Alm: Wissenschaft vom Leben und Sittenlehre)* başlıklı makalesinde kullanmıştır (Muzur ve Rincic, 2015; Steger, 2015; Kalokairinou, 2016). Bu makalede Jahr, kavramın temellerini oluşturmuş (Lima ve Cicovacki, 2014); kavramı geliştirmiş (Muzur ve Rincic, 2015) ve biyoetiği tüm canlıları ve doğayı gereksiz zararlardan korumayı amaçlayan bir insan bilimi olarak tanıtmıştır (Kalokairinou, 2016). Jahr, biyoetik ile ilgili ikinci makalesini 1927'de Kosmos dergisinde "Biyo-Etik: İnsanlar ile Hayvanlar ve Bitkiler Arasındaki Etik İlişkinin İncelenmesi" *(Alm: Bio-Ethik: eine Umschau über die ethischen Beziehungen des Menschen zu Tier und Pflanze)* adıyla yayımlamıştır (Sass, 2007; Aşar, 2019; Yıldız, Kaya ve Şahinoğlu, 2021). Lima ve Cicovacki'ye göre (2014) Jahr, bu makalesinde biyoetiğe ilişkin görüşlerini ayrıntılandırmış; yeni fizyolojik bulguları dönemin ahlaki sorunlarıyla birlikte ele alarak insan ve insan olmayan yaşam biçimlerine yönelik ahlaki sorumlulukları yeniden tanımlamış ve biyoetiği akademik bir disiplin, ilke ve erdem olarak temellendirmiştir (Sass, 2007; Steger, 2015; Kalokairinou, 2016).

Biyoetik kavramını bilimsel ve teknolojik gelişmeler ışığında insan davranışlarını yeniden değerlendirmek amacıyla oluşturan Jahr (Yıldız, Kaya ve Şahinoğlu, 2021), 1927-1934 yılları arasında dört temel argüman ileri sürmüştür: Biyoetik, yeni ve gerekli bir akademik disiplin; ahlaki tutum, inanç ve davranış biçimi; tüm yaşam biçimleri arasındaki etkileşimleri tanıyan ve bunlara saygı gösteren bir yaklaşım ve profesyonel, kamusal, eğitim ve kültür alanlarında sorumluluk üstlenen bir anlayıştır (Sass, 2007; Aşar, 2019). Jahr, 1924-1948 yılları arasında yayımladığı 22 çalışmasında biyoetiğe çeşitli göndermelerde bulunmasına rağmen döneminde yeterince tanınmamış; kavram 1970'e kadar gündemde yer bulamamıştır (Muzur ve Rincic, 2015; Yıldız, Kaya ve Şahinoğlu, 2021).

2. Biyoetiğin Kavramsal Gelişimine Zemin Hazırlayan Süreçler

Biyoetik kavramının ortaya çıkışı genellikle belirli öncü isimlerle ilişkilendirilmekle birlikte, kavramın dayandığı etik düşüncenin biçimlenmesinde farklı düşünürlerin de katkısı bulunmaktadır. Bunlardan biri olan Albert Schweitzer (1875–1965), geliştirdiği "yaşama saygı" anlayışıyla etik sorumluluğun yalnızca insanlarla sınırlandırılmaması gerektiğini savunmuştur. Schweitzer ile Jahr, etiğin kapsamının insan dışındaki canlıları ve bitkileri de içine alacak biçimde genişletilebileceği düşüncesinde ortak bir yaklaşım sergilemiştir (Goldim ve Fernandes, 2011). Bu düşünsel yönelim, yaşamın farklı biçimlerine yönelik etik sorumluluğun tartışılmasına katkıda bulunurken, 20. yüzyılda tıp ve yaşam bilimlerinde yaşanan gelişmeler biyoetiğin kavramsal gelişimini etkileyen yeni sorun alanlarını gündeme getirmiştir. Biyoetiğin kavramsal gelişimi yalnızca kavramı ortaya koyan düşünürlerin çalışmalarıyla değil, tıp ve yaşam bilimlerinde yaşanan gelişmelerin beraberinde getirdiği etik sorunlarla da şekillenmiştir. Özellikle 20. yüzyılın ilk yarısında öjeni ve insanlar üzerinde yürütülen araştırmalar, bilimsel ilerlemenin etik sınırlarına ilişkin tartışmaları belirginleştirmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Yüksek Mahkemesi 1927 yılında Buck v. Bell davasında Virginia eyaletinin haksız biçimde "zekâ geriliği" (*İng: feeblemind*) olarak nitelendirilen Carrie Buck'ı öjenik amaçlarla zorunlu olarak kısırlaştırmasına izin vermiştir. İngiltere'de Charles Darwin'in (1809-1882) takipçileri arasında gelişen modern öjeni 1920'lerde ABD'de etkili bir düşünsel akıma dönüşmüş; John D. Rockefeller Jr. (1874-1960) gibi dönemin önde gelen isimleri, "kusurlu insan" (*İng: defective human*) olarak nitelendirilen kişilerin üreme yoluyla toplumdan ayıklanmasına yönelik araştırmaları desteklemiştir (Roberts, 2020; Suuberg, 2020). Davanın merkezinde ise süreç üzerinde söz hakkı bulunmayan, yoksul ve dezavantajlı bir kadın yer almış (Suuberg, 2020); böylece mahkeme, insan nüfusunun biyolojik olarak "iyileştirilmesi" amacıyla devlet eliyle kontrol edilmesini öngören zorlayıcı bir öjeni politikasına hukuki dayanak sağlamıştır (Berry, 2012). İnsan bedeni üzerindeki müdahalelerin sınırlarına ilişkin sorunların belirginleştiği bu dönemde, araştırmaları düzenlemeye yönelik girişimler de ortaya çıkmış ve Alman Hükümeti 1931'de İnsanlar Üzerindeki Deneylere İlişkin Yönerge'yi kabul etmiştir (Vollman ve Winav, 1996; Ghooi, 2011). İlk olarak Reich İçişleri Bakanı Genelgesi adıyla yayımlanan bu düzenleme 1948 yılına kadar yürürlükte kalmıştır (Ghooi, 2011). Ancak düzenleyici girişimlerin varlığı insan deneklerin korunmasını güvence altına almaya yetmemiş; 1932'de başlayan Tuskegee Sifiliz Çalışması'nda siyahi erkeklerde tedavi edilmemiş sifilizin seyri incelenirken, Halk Sağlığı Hizmetleri 1943'de sifiliz tedavisinde penisilin kullanmaya başlamasına rağmen katılımcılar araştırmanın sürdürülmesi amacıyla tedaviden mahrum bırakılmıştır. Çalışmanın etik açıdan sorgulanmasında Peter Buxtun (1937-2024) önemli rol oynamış ve araştırmanın sona ermesine giden sürece katkıda bulunmuştur (Thomas ve Quinn, 1991). Aynı dönemde insanlara yönelik uygulamalar ciddi etik sorunlar doğururken, Nazi Almanyası 24 Kasım 1933 tarihinde Reich Hayvan Koruma Yasası'nı kabul ederek hayvanlara acı veren veya sağlıklarını bozan çeşitli uygulamaları yasaklamıştır (Özkan, 2018). Buna karşılık insan deneylerinde ağır ihlaller devam etmiş; Japonya'nın 1931'de Mançurya'yı işgal etmesinin ardından, Korgeneral Shiro Ishii (1892-1959)'nin önerisiyle 1936'da Kwantung Ordusu bünyesinde Salgın Hastalıkları Önleme ve Su Arıtma Bölümü adı altında kurulan Birim 731, gizli bir biyolojik ve kimyasal savaş birimi olarak faaliyet göstermiştir (Najmuldeen, 2020). Birimde mahkumlar şarbon, veba, kolera ve çeşitli patojenlere maruz bırakılmış; insan bedeninin bu etkenlere verdiği tepkileri incelemek amacıyla yürütülen deneyler ağır acılara ve ölümlere yol açmıştır (Liang, 2022).

İnsanlar üzerinde yürütülen etik dışı araştırmalar II. Dünya Savaşı'nın sona ermesiyle birlikte son bulmamış; 1946'da Ulusal Sağlık Enstitüsü tarafından finanse edilen ve Guatemala makamlarının iş birliğiyle yürütülen çalışmada Halk Sağlığı Servisi araştırmacıları, çocuklar, mahkumlar, askerler, psikiyatri hastaları ve diğer savunmasız gruplarda katılımcıları aydınlatılmış onamları olmaksızın araştırmalara dahil etmiştir. En az 1308 kişi, 1946-1948 yılları arasında sifiliz, gonore ve şankroid etkenleriyle kasıtlı olarak enfekte edilmiş ve diğer kişiler üzerinde serolojik testler gerçekleştirilmiştir (Rodriguez ve Garcia, 2013). Bu tür ihlaller sürerken, Nazi Almanyası'nda gerçekleştirilen insan deneyleri savaş sonrasında tıbbi araştırmaların etik sınırlarının uluslararası düzeyde belirlenmesini gerekli kılmıştır. Doktorlar Davası, diğer adıyla Nürnberg Tıp Davası (1946-47), toplama kampı mahkumları üzerinde gerçekleştirilen deneyler nedeniyle 23 hekim ve tıp bilim insanının cinayet ve işkence suçlamalarıyla yargılandığı dava olmuştur. Amerikalı nöropsikiyatrist Leopold Alexander (1905-1985), davanın başlamasından iki gün önce, 7 Aralık 1946'da General Telford Taylor'a (1908-1998) gönderdiği "İnsanlar Üzerinde Etik ve Etik Olmayan Deneyler" başlıklı memorandumda insan deneylerinin etik, hukuki ve bilimsel gerekliliklerini ortaya koymuştur (Shuster, 2018).

Böylece deneğin rızasını ve haklarını merkeze alan yaklaşım mahkeme kararlarıyla somutlaşmış (Aşar, 2019) ve 1947'de on maddeden oluşan Nürnberg Kodu'nun ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Nazi deneylerinin beraberinde getirdiği etik ve hukuki boşluğa yanıt niteliğindeki Kod, sonraki araştırma etiği düzenlemelerine temel oluşturmuştur (Ertin ve Temel, 2016). Savaşın ortaya çıkardığı insan hakları ve tıp etiği sorunları yalnızca araştırmalarla sınırlı kalmamış; daha kapsamlı uluslararası düzenlemeleri de beraberinde getirmiştir. Dünya Tıp Birliği Eylül 1948'de Cenevre Bildirgesi'ni kabul etmiş (Cenevre Bildirgesi, 1948); Hipokrat Andı'nın dönemin koşulları doğrultusunda yeniden ele alındığı bildirgede, "hekimin tıbbi bilgisini insanlık yasalarına aykırı biçimde kullanmaması" gerektiği vurgulanmıştır (The Hastings Centers, 2026). Aynı yıl, farklı hukuki ve kültürel birikimlere sahip temsilciler tarafından hazırlanan İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi 10 Aralık 1948'de kabul edilmiş ve evrensel olarak korunması gereken temel insan haklarını ortaya koymuştur (İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi, 1948). Bu gelişmeleri, DTB'nin Ekim 1949'da dünya çapındaki hekimler için etik ilkeler bütünü olarak Uluslararası Tıp Etiği Kodu'nu kabul etmesi izlemiştir (Uluslararası Tıp Etiği Kodu, 1949). Aynı dönemde etik tartışmaların kapsamı insan ve tıp alanının ötesine doğru genişlemeye başlamış; Aldo Leopold (1887-1948), 1949 yılında yayımlanan Bir Kum Yöresi Almanağı ve Oradan Buradan Eskizler *(İng: A Sand County Almanac and Sketches Here and There)* (Leopold, 1949) adlı eserinin "Toprak Etiği" bölümünde teknolojinin aşırı kullanımına yönelik ekolojik eleştirilerini ortaya koymuştur (Leopold, 1949; Giovanni, 2001). Leopold, insan ile doğal çevre arasındaki ilişkiyi antroposentrik (insan-merkezli) ve ekosentrik (çevre-merkezli) yaklaşımlar üzerinden ele alarak çevre etiğinin felsefi temellerinin gelişimine katkıda bulunmuştur (Leopold, 1949; Örs, 2011).

Savaş sonrası dönemde insan hakları ve mesleki etik alanında geliştirilen düzenlemelere paralel olarak, 1950'lerden itibaren tıp ve yaşam bilimlerindeki hızlı ilerlemeler insan bedeni, yaşam ve ölüm üzerinde daha önce mümkün olmayan müdahaleleri gündeme getirmiş ve yeni etik tartışma alanları doğurmuştur. Bu gelişmelerden biri cinsiyet ve tıbbi müdahale ilişkisine yöneliktir. Transseksüalizm 1950'lerden önce neredeyse yalnızca Batı Avrupa tıp literatüründe ele alınırken (Reicherzer, 2008), önceden George Jorgensen Jr. (1926-1989) olarak bilinen II. Dünya Savaşı gazisi Amerikalı Christine Jorgensen'in 1952'de Danimarka'da geçirdiği ve geniş yankı uyandıran cinsiyet değiştirme ameliyatı, bu uygulamaların uluslararası alanda görünürlük kazanmasında etkili olmuştur (Mumford, 2023). Bu gelişmeyi izleyen süreçte John Hopkins Üniversitesi, 1966'da Cinsiyet Kimliği Kliniği'ni açarak cinsiyet değiştirme ameliyatları gerçekleştiren ilk ABD akademik kurumu olmuştur (Reicherzer, 2008). Tıbbın insan yaşamına müdahale olanaklarını daha köklü biçimde değiştiren bir diğer gelişme ise Francis Crick (1916-2004) ve James Dewey Watson'ın (1928-2025) 1953 yılında DNA'nın çift sarmal yapısını ortaya koymasıdır. Bu keşfi izleyen biyoteknolojik gelişmeler; üreme, genetik, organ ve doku nakli, resüsitasyon ve yaşam destek sistemleri gibi alanlarda yeni olanaklar yaratırken, yaşamın başlangıcı, sürdürülmesi ve sona ermesine ilişkin yeni etik sorunları da beraberinde getirmiştir (Patrão Neves, 2019). Bu dönüşümün erken örneklerinden biri, 23 Aralık 1954'te Boston'daki Peter Bent Brigham Hospital'da John Putnam Merrill (1917-1984), Joseph Edward Murray (1919-2012) ve John Hartwell Harrison'ın (1909-1984) öncülüğündeki ekip tarafından sağlıklı tek yumurta ikizleri arasında gerçekleştirilen ilk başarılı böbrek nakli olmuştur (Morris, 2004). Aynı yıllarda tıptaki ilerlemeler yalnızca bireysel tedavi olanaklarını değil, hastalıkların toplum düzeyinde önlenmesini de değiştirmiştir. Jonas Salk (1914-1995) ve ekibi tarafından geliştirilen poliomyelit aşısı, güvenlik ve etkinlik çalışmalarının ardından 1954 yılında bir milyondan fazla çocuğun katıldığı geniş çaplı bir araştırmada denenmiş ve 12 Nisan 1955'te güvenli ve etkili olduğu açıklanmıştır (Tan ve Ponstein, 2019).

Tıp ve yaşam bilimlerindeki ilerlemeler yeni etik sorunları gündeme getirirken, aynı dönemde insan sağlığının çevresel koşullardan bağımsız düşünülemeyeceğine ilişkin farkındalık da güçlenmiştir. Bu açıdan çağdaş çevre hareketinin önemli dönüm noktalarından biri, Rachel Carson'ın (1907-1964) 1962'de yayımlanan "Sessiz Bahar" adlı eseridir. Carson, pestisitlerin kontrolsüz kullanımının çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koyarak bu ilişkinin görünürlük kazanmasına katkıda bulunmuştur (De Jardins, 2006). Aynı yıl tıbbi teknolojilerin gelişmesi, sınırlı tedavi olanaklarından kimlerin yararlanacağı sorununu da gündeme getirmiş; Seattle Yapay Böbrek Merkezi'nde diyaliz tedavisine alınacak hastaları belirlemek üzere kurulan ve yaşam ile ölüm arasındaki seçimleri nedeniyle "Tanrı Komitesi" (*İng: God Committee*) olarak adlandırılan komite, kıt sağlık kaynaklarının dağıtımına ilişkin etik tartışmaların önemli örneklerinden biri olmuştur (Hasting Center Cofounder Willard Gaylin, 2023). Tıbbi araştırmalar alanında ise Maurice Pappworth (1910-1994) ve Henry K. Beecher (1904-1976), sırasıyla 1962 ve 1966'da yayımladıkları çalışmalarla insanlar üzerinde yürütülen etik açıdan sorunlu araştırmaları görünür hale getirmiş; aydınlatılmış onam, katılımcı hakları ve araştırmacının sorumluluğuna ilişkin tartışmaların güçlenmesine katkıda bulunarak araştırma etiği alanındaki ihlallerin açığa çıkarılmasında öncü isimler arasında yer almışlardır (Gaw, 2012). Tıbbın sınırlarını genişleten transplantasyon uygulamaları da yeni etik sorunları beraberinde getirmiş; Thomas Earl Starzl (1926-2017), 1 Mart 1963 tarihinde Denver'da Bennie Solis adlı bir çocuk üzerinde ilk karaciğer naklini gerçekleştirmiştir (Yılmaz ve Akbulut, 2022). İlk girişimlerdeki yüksek ölüm oranlarına karşın tekniğin zamanla geliştirilmesi, karaciğer naklinin yaşam kurtaran bir tedaviye dönüşmesini sağlamıştır (The Hastings Centers, 2026). İnsanlar üzerindeki araştırmalarda ortaya çıkan sorunlara yanıt olarak DTB, 1964'te insan katılımcıları ile tanımlanabilir insan materyali ve verilerini içeren tıbbi araştırmalara etik rehberlik sağlamak amacıyla Helsinki Bildirgesi'ni kabul etmiştir (Helsinki Bildirgesi, 1964). Transplantasyon alanındaki ilerlemeler 1967 yılında Christiaan Barnard'ın (1922-2001) ekibiyle gerçekleştirdiği ilk insandan insana kalp nakliyle yeni bir aşamaya ulaşmış; alıcının 18 gün sonra immün baskılayıcı tedaviye bağlı gelişen enfeksiyon nedeniyle yaşamını yitirmesi, organ naklinin sunduğu olanakların yanı sıra beraberindeki klinik sorunları da ortaya koymuştur (Brink ve Hassoulas, 2009). Bilimsel ilerlemenin sınırlarına ilişkin tartışmalara felsefi bir boyut kazandıran Hans Jonas (1903-1993) ise 1969'da insanlar üzerinde yürütülen araştırmalarda bilimsel yararın katılımcının esenliği, özgürlüğü ve insan onurunun önüne geçemeyeceğini savunarak araştırma etiğinin felsefi temellerine katkıda bulunmuştur (Diekema, 2020). Araştırma ve tıp uygulamalarında ortaya çıkan bu sorunların kamuoyunda giderek daha fazla tartışılması, ABD'de araştırmaların denetiminde değişikliklere ve etik sorunları sistematik biçimde ele alacak kurumların ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Bu sürecin önemli sonuçlarından biri, Daniel John Callahan (1930- 2019) ve Willard Marvin Gaylin (1925-2022) tarafından 1969 yılında kurulan "Toplum, Etik ve Yaşam Bilimleri Enstitüsü" (The Hastings Center) olmuş; merkezin "Hastings Merkez Raporu" adlı yayını da biyoetik alanının gelişimine katkı sağlamıştır (Hasting Center Cofounder Willard Gaylin, 2023).

3. van Rensselaer Potter ve Biyoetiğin Kavramsallaştırılması

Biyoetik alanının ikinci önemli ismi olan Amerikalı biyokimyacı ve onkolog van Rensselaer Potter (1911–2001), kariyerinin ilk dönemini kanser araştırmalarına, sonraki dönemini ise biyoetiğin geliştirilmesine adamıştır (Pitot, Drinkwater ve Kasper, 2002; ten Have ve Gordijn, 2014). Nüfus artışı, savaş, çevre kirliliği, yoksulluk ile siyasi ve teknolojik gelişmeleri insanlığın varlığını tehdit eden sorunlar olarak gören Potter, "hayatta kalma bilimi" olarak tanımladığı biyoetiğin kavramsallaştırılmasını önermiştir (ten Have ve Gordijn, 2014).

Bu doğrultuda 1970'te Perspectives in Biology and Medicine dergisinde "Biyoetik: Hayatta Kalma Bilimi" *(İng: Bioethics: The Science of Survival)* başlıklı makalesini yayımlamış (Potter, 1970) ve biyoetik kavramının kapsamını genişletmiştir (Potter, 1970; Muzur ve Rincic, 2011; Yıldız, Kaya ve Şahinoğlu, 2021). Potter, biyoetiğe yaklaşımını 1971'de yayımladığı ve Aldo Leopold'a (1887–1948) ithaf ettiği "Biyoetik: Geleceğe Köprü" *(İng: Bioethics: Bridge to the Future)* adlı kitabında geliştirmiştir. İnsan seçimlerinin ekosistem, yaşam sistemleri ve toplumlar üzerinde kısa ve uzun vadeli sonuçlar doğurduğunu savunmuştur (Pitot, Drinkwater ve Kasper, 2002). Eserin önsözünde ise doğal bilimler ile insanı konu alan disiplinler arasındaki kopukluğa dikkat çekerek biyoetiği bu iki alan arasında "geleceğe uzanan bir köprü" olarak tanımlamıştır (Örs, 2011). Potter, 1988'de yayımlanan "Küresel Biyoetik: Leopold'un Mirası Üzerine İnşa" *(İng: Global Bioethics: Building on the Leopold Legacy)* adlı kitabında (Potter, 1988; Pitot, Drinkwater ve Kasper, 2002) biyoetiği daha teknik bir çerçevede ele almış ve bu kavramın geliştirilmesi için bilginin uyarlanması gerektiğini belirtmiştir (Potter, 1988; Yıldız, Kaya ve Şahinoğlu, 2021).
Potter, biyoloji ile değerlerin birlikteliğinin insanlığın geleceği açısından önemini vurgulamış; bu yaklaşım özellikle tıp ve sağlık bilimlerinde benimsenerek biyoetik ile sağlık arasında güçlü bir ilişki kurulmasını sağlamıştır (Whitehouse, 2003; Yıldız, Kaya ve Şahinoğlu, 2021). Ayrıca, etiğin biyolojik gerçeklikten ayrı düşünülemeyeceğini ve küresel biyoetik, tıbbi etik ile çevre etiğinin birbiriyle ilişkili olduğunu savunmuştur (Giovanni, 2001). Potter, biyoetiği "biyolojik bilimler" ve "etik" arasında bağ kurarak doğal bilimlerle beşerî değerleri birleştiren bir alan olarak tanımlamış (Muzur ve Rincic, 2011; Muzur ve Rincic, 2015); özellikle tıbbi ve genetik teknolojilerin olası tehlikeleri karşısında insanları ve tüm canlıları korumayı amaçlamıştır (Kalokairinou, 2016). Jahr'ın yaklaşımından farklı olarak Potter'in biyoetik anlayışı daha geniş bir etki alanı oluşturmuş ve küresel ölçekte yaygınlaşmıştır (Muzur ve Rincic, 2011; Muzur ve Rincic, 2015).

4. Biyoetiğin Kurumsallaşması ve Disipliner Gelişimi

Biyoetiğin kurumsallaşmaya başladığı 1970'li yıllar, aynı zamanda çevre sorunlarının hukuki ve etik düzeyde daha görünür hale geldiği bir dönem olmuştur. Batı'da çevre alanındaki önemli düzenlemeler arasında 1970 yılında kabul edilerek 1977'de değiştirilen Temiz Hava Yasası, 1972'de kabul edilerek 1977'de Temiz Su Yasası olarak yeniden düzenlenen Federal Su Kirliliği Yasası ve 1973 tarihli Tehlikeye Açık Türler Yasası yer almıştır (De Jardins, 2006). Çevre hakkının bir insan hakkı olarak uluslararası düzeyde ilk kez ifade edilmesi ise 1972 Stockholm Bildirgesi ile gerçekleşmiştir (Report of the United Nations Conference on the Human Environment, 1973). Biyoetiğin kurumsal gelişimi açısından bir diğer adım, 1 Ekim 1971'de, Georgetown Üniversitesi'nde André Hellegers (1926-1979) öncülüğünde, daha sonra Kennedy Etik Enstitüsü adını alacak olan Joseph ve Rose Kennedy İnsan Üremesi ve Biyoetik İncelemeleri Enstitüsü'nün (*İng: Joseph and Rose Kennedy Institute for the Study of Human Reproduction on Bioethics*) kurulmasıdır (Reich, 1996). Enstitü'nün 1975'te "Bibliography of Bioethics" ve 1978'de "Encyclopedia of Bioethics" başlıklı kaynakları yayımlaması, alanın kapsamının belirginleşmesine ve biyoetik kavramının yaygınlaşmasına katkıda bulunmuştur (Hasting Center, 2026). Çevre alanındaki uluslararası gelişmeler de aynı dönemde hız kazanmış; 5-16 Haziran 1972'de düzenlenen Birleşmişler Milletler (BM) İnsan ve Çevre Konferansı'nda kabul edilen 26 maddeli Stockholm Bildirgesi, çevre sorunlarını uluslararası gündeme taşıyarak ekonomik büyüme, çevre kirliliği ve insan refahı arasındaki ilişkinin tartışılmasına zemin hazırlamıştır (Report of the United Nations Conference on the Human Environment, 1973).

Çevreye yönelik bu yaklaşım felsefi alanda da derinleşmiş; Arne Naess (1912-2009), farklı düşünsel geleneklerden etkilenerek geliştirdiği ekolojik yaklaşımında 1972'de "sığ" ve "derin" ekoloji ayrımını ortaya koymuş (Şakacı ve Günesen, 2023); 1973'te yayımladığı çalışmasında bu ayrımı sistemleştirmiştir (Naess, 1973; Şakacı ve Günesen, 2023). Naess, insan sağlığı ve refahını merkeze alan sığ ekolojinin antroposentrik niteliğine karşı daha bütüncül bir derin ekoloji anlayışı geliştirmiş (De Jardins, 2006) ve biyosferin insanlara sağladığı yarardan bağımsız olarak kendi değeri nedeniyle korunması gerektiğini savunmuştur (Akalın, 2022). Aynı yıllarda araştırma etiğinin kurumsal ve hukuki temelleri de güçlenmiş; 12 Temmuz 1974'te yürürlüğe giren Ulusal Araştırma Yasası ile "Biyomedikal ve Davranış Araştırmalarında İnsan Deneklerin Korunması Hakkında Ulusal Komisyonu" kurulmuş ve Komisyonun çalışmaları sonucunda 1979'da insan araştırmalarına ilişkin genel etik ilkeleri ortaya koyan "Belmont Raporu" yayımlanmıştır (Belmont Raporu, 1979). Etik ilginin insan dışındaki canlılara doğru genişlemesinde ise Peter Singer'in 1975 tarihli Hayvan Özgürleşmesi adlı eseri etkili olmuş; Singer, hayvanların acı çekebilme kapasiteleri nedeniyle çıkarlarının eşit biçimde dikkate alınması gerektiğini savunmuştur (Foëx, 2007). Tıbbi teknolojilerin yaşamı sürdürme kapasitesinin artması ise yaşamın sonuna ilişkin yeni sorunları belirginleştirmiştir. Karen Quinlan'ın 1975'te bitkisel hayata girmesinin ardından ailesinin ventilatör desteğinin sonlandırılması talebinin hastane tarafından reddedilmesi ve konunun mahkemeye taşınması, yaşam desteğinin sınırlarına ilişkin tartışmaların önemli örneklerinden biri olmuştur (Ülman, 2010). Sağlık sorunlarının etik boyutu küresel salgınlarda da görünür hale gelmiş; 1976'da keşfedilen Ebola virüsünün yayılmasında başlangıçta yerel kültürel uygulamalar öne çıkarılırken, sterilize edilmemiş iğnelerin kullanımının da bulaşmada önemli rol oynadığı belirlenmiştir (Rosello et al., 2015). İnsanların tıbbi müdahaleler karşısındaki korunması aynı yıl uluslararası hukukta da güçlendirilmiş; 23 Mart 1976'da yürürlüğe giren BM Kişisel ve Siyasal Haklar Uluslararası Sözleşmesi'nin yedinci maddesi, hiç kimsenin özgür rızası olmaksızın tıbbi veya bilimsel deneye tabi tutulamayacağını hükme bağlamıştır (Kişisel ve Siyasal Haklar Uluslararası Sözleşmesi, 1976). Tıbbın yaşamın başlangıcına müdahalesi de genişlemiş; Patrick Christopher Steptoe (1913-1988) ve Robert Geoffrey Edwards'ın (1925-2013) geliştirdiği IVF (in vitro fertilizasyon) teknikleri sonucunda ilk tüp bebek Louise Joy Brown, 25 Temmuz 1978'de Birleşik Krallık'ta dünyaya gelerek üreme tıbbı ve klinik embriyoloji açısından önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur (Mahmud ve Mirza, 2021). Aynı yıl hayvanların korunmasına yönelik etik yaklaşım uluslararası düzeyde karşılık bulmuş ve 15 Ekim 1978'de Paris'teki UNESCO Merkezi'nde ilan edilen Hayvan Hakları Evrensel Beyannamesi, hayvanlara fiziksel veya psikolojik acı veren tıbbi, bilimsel, ticari vb. her türlü deneyleri hayvan haklarıyla bağdaşmaz olarak nitelendirmiştir (Başağaç Gül, 2024).

Önceki dönemde temelleri atılan kurumsallaşma ve kapsam genişlemesi, izleyen yıllarda biyoetiğin farklı coğrafyalarda akademik bir alan olarak örgütlenmesi ve çevresel sorunların küresel ölçekte ele alınmasıyla yeni bir boyut kazanmıştır. Bu doğrultuda Monash Biyoetik Merkezi 1980'de Peter Singer tarafından Avustralya'nın biyoetiğe adanmış ilk araştırma merkezi olarak kurulmuş ve sağlık hizmetleri ile biyomedikal bilimlerde, özellikle yeni teknolojilerin ortaya çıkardığı etik sorunlara odaklanmıştır (Monash Bioethics Center, 1980). Çevre ile kalkınma arasındaki ilişkinin giderek önem kazanması üzerine BM Genel Kurulu, 1983'te bağımsız bir organ olarak Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun kurulmasına karar vermiştir. Brundtland Komisyonu olarak bilinen bu yapı, çevre ve kalkınma sorunlarına yönelik çözüm önerileri geliştirmek, uluslararası iş birliğini güçlendirmek ve bu konulardaki farkındalığı artırmak amacıyla kurulmuştur (Shelton, 2025).

Biyoetiğin Batı dışındaki gelişimi de aynı dönemde belirginleşmiş; Çin Sağlık Bakanlığı tarafından 1984'te oluşturulan Biyoetik Danışma Merkezi, biyoetiğin ülkede resmi olarak tanınmasına ve Çin'in uluslararası biyoetik tartışmalarına katılımına katkıda bulunmuştur (Hasting Center, 2026). Bu gelişmeyi, Renzong Qiu'nun 1987'de yayımlanan ve Batı biyoetiğini Çin'de sistematik biçimde tanıtan ilk eser olma özelliğini taşıyan "Bioethical" adlı ders kitabı izlemiştir (Cong, 2016). Biyoetiğin coğrafi yayılımıyla eş zamanlı olarak çevresel sorunlara yönelik uluslararası iş birliği de güçlenmiş; 16 Eylül 1987'de kabul edilen Montreal Protokolü, ozon tabakasını incelten insan yapımı yaklaşık 100 kimyasal maddenin üretim ve tüketimini düzenleyen önemli birçok taraflı uluslararası çevre anlaşması olmuştur (Montreal Protocol, 1987). Protokol kapsamında bu maddelerin kullanımının aşamalı olarak sonlandırılmasına yönelik küresel çabalar, ultraviyole radyasyona bağlı cilt kanseri, katarakt ve diğer sağlık sorunlarının önlenmesine de katkı sağlamıştır (Nanyangwe-Moyo, et al., 2024).

Biyoetiğin uluslararası ölçekte yaygınlaşmasına bilimsel ve teknolojideki hızlı ilerlemeler eşlik etmiş; özellikle genetik alanındaki gelişmeler yeni etik tartışmaları gündeme getirmiştir. Bu sürecin önemli dönüm noktalarından biri, Ekim 1990'da başlatılan ve Nisan 2003'te tamamlanan İnsan Genom Projesi olmuş; insan genomunun ilk diziliminin oluşturulması, insan biyolojisine ilişkin bilgiyi önemli ölçüde artırarak genetik ve tıp alanındaki çalışmalara yeni olanaklar sağlamıştır (İnsan Genom Projesi, 1990). Aynı yıl Ashanti DeSilva'nın dünyada onaylanan ilk gen tedavisi klinik çalışmasına katılması, yöntem ve sonuçlarına yönelik eleştirilere rağmen gen tedavisinin insanlarda uygulanabilirliğini göstermesi bakımından önemli bir gelişme olmuştur (The First Human Gene Therapy, 1990). Bilimsel gelişmelerin doğurduğu etik sorunların giderek uluslararası nitelik kazanması, biyoetik alanındaki örgütlenmeyi de güçlendirmiş; Uluslararası Biyoetik Derneği 7 Ekim 1992'de Amsterdam'da, farklı bölgelerde biyoetik alanında çalışanlar arasında iletişim ve bilgi alışverişini geliştirmek, araştırma ve eğitimi desteklemek ve uluslararası biyoetik konferansları düzenlemek amacıyla kurulmuştur. Dernek, ilk Biyoetik Dünya Kongresi'ni Amsterdam'da gerçekleştirmiş ve daha sonra farklı ülkelerde iki yılda bir düzenlenen dünya kongreleriyle faaliyetlerini sürdürmüştür (Uluslararası Biyoetik Derneği, 1992). Bu ilk kongre sırasında Biyoetiğe Feminist Yaklaşımlar Uluslararası Ağı kurulmuştur (Drezgic, 2012). Biyoetiğin uluslararasılaşmasına paralel olarak insan, çevre ve gelecek kuşaklar arasındaki ilişkinin küresel düzeyde ele alınması da güçlenmiş; 1992 BM Çevre ve Kalkınma Konferansı kapsamında kabul edilen Rio Bildirgesi, sürdürülebilir kalkınma, çevrenin korunması, insan sağlığı, kuşaklararası sorumluluk ve ihtiyatlılık yaklaşımını uluslararası gündeme taşımıştır (Rio Declaration, 1992). Aynı yıl kabul edilen Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi ise biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir kullanımının yanı sıra genetik kaynaklardan sağlanan faydaların adil ve hakkaniyetli paylaşımını gündeme getirmiştir (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2011). Biyoetiğin küresel ölçekte kurumsallaşmasının bir diğer önemli adımı, UNESCO Uluslararası Biyoetik Komitesi'nin 1993'de kurulması olmuş; Komite, yaşam bilimleri ve uygulamalarının doğurduğu etik ve hukuki sorunları insan onuru ve özgürlüğü çerçevesinde ele alan uluslararası bir tartışma ortamı oluşturmuştur (International Bioethics Committee, 1993). Biyoetik alanındaki örgütlenmeler bu dönemde çeşitlenmeye devam etmiş ve Amerikan Biyoetik Derneği 1994'te biyoetik alanında araştırma, eğitim, klinik uygulama ve akademik etkileşimi geliştirmek amacıyla kurulmuştur (American Association Bioethics, 1994). Genetik ve biyoteknolojideki ilerlemeler ise Dolly'nin erişkin bir somatik hücreden klonlanan ilk memeli olarak 1996'da üretilmesiyle yeni bir aşamaya ulaşmış; bu gelişme hücresel genetik eşdeğerliğe ilişkin önemli bilgiler sağlarken tıp ve tarımda yeni biyoteknolojik uygulamaların da önünü açmıştır (Alberio ve Wolf, 2021).

Biyoetiğin giderek genişleyen kapsamı kurumsal yapılanmalara da yansımış ve Amerikan Biyoetik Derneği 1998'de Biyoetik Danışmanlığı Derneği ve Sağlık ve İnsani Değerler Derneği ile birleşerek Amerikan Biyoetik ve İnsan Bilimleri Derneği'ni oluşturmuştur (American Association for Bioethics, 1994).

5. Biyoetiğin Kapsamının Genişlemesi ve Küreselleşmesi

Biyoetiğin kapsamının genişlemesiyle birlikte sağlığın yalnızca birey ve klinik uygulamalar üzerinden değil, insan, hayvan ve çevre arasındaki karşılıklı ilişkiler çerçevesinde ele alınması giderek önem kazanmıştır. Bu yönelimin önemli örneklerinden biri, 29 Eylül 2004'te Yaban Hayatı Koruma Derneği tarafından düzenlenen "Tek Dünya, Tek Sağlık: Küreselleşen Dünyada Sağlık Alanında Disiplinlerarası Köprülerin Kurulması" sempozyumda ortaya konulan Manhattan İlkeleri olmuştur. İnsan, evcil hayvan ve yaban hayatı arasındaki hastalık geçişlerinden hareketle hazırlanan 12 maddelik bu ilkeler, salgın hastalıklarla mücadele ile biyolojik çeşitlilik ve ekosistem bütünlüğünün korunmasında disiplinlerarası ve sektörler arası bir yaklaşımın gerekliliğini vurgulamış; insan, hayvan ve çevre sağlığını bir arada ele alan Tek Sağlık anlayışının gelişiminde önemli bir aşamayı temsil etmiştir (Cook, Karesh ve Osofsky, 2004). Biyoetiğin kapsamının genişlemesi, alanın temel değer ve ilkelerinin uluslararası düzeyde ortak bir çerçevede ele alınması ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Bu doğrultuda 2005'te kabul edilen 28 maddelik Biyoetik ve İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi tıp, yaşam bilimleri ve bunlarla ilişkili teknolojilerin insanlara yönelik doğurduğu etik sorunları insan onuru, insan hakları ve temel özgürlüklerle ilişkilendirerek evrensel bir etik çerçeve ortaya koymuştur (Lima ve Cicovacki, 2014; UNESCO Biyoetik ve İnsan Hakları Bildirgesi, 2005). Bunu izleyen bilimsel gelişmeler, biyoetiğin yeni tartışma alanlarıyla karşılaşmasına neden olmuştur. Ulusal Kanser Enstitüsü ile Ulusal İnsan Genom Araştırma Enstitüsü'nün ortak girişimi olarak 2006'da başlatılan Kanser Genom Atlası 33 kanser türünden 20.000'den fazla kanser ve eşleştirilmiş normal örneğin moleküler özelliklerini inceleyerek kanser genomikleri açısından önemli bir gelişme yaratmıştır (The Cancer Genome Atlas, 2006). Aynı yıl ABD Gıda ve İlaç Dairesi, hastalığın moleküler biyolojisine dayalı olarak serviks (rahim ağzı) kanserinin önlenmesine yönelik ilk aşıyı onaylamıştır (McLemore, 2006). Biyoteknoloji alanında ise 2006'da indüklenmiş pluripotent kök hücrelerin geliştirilmesi, hücrelerin yeniden pluripotent duruma dönüştürülmesini mümkün kılarak biyolojik araştırmalara yeni olanaklar sağlamıştır (Moro et al, 2024). Bu gelişmeler, kök hücreler ve yaşamın başlangıcına ilişkin mevcut etik tartışmaların yeni biyoteknolojik olanaklar doğrultusunda genişlemesine katkıda bulunmuştur. Biyoetiğin kapsamını etkileyen gelişmeler yalnızca biyoteknolojiyle sınırlı kalmamış; küresel sağlık sorunları da giderek daha fazla önem kazanmıştır. Meksika'da ve ABD'de ilk vakaları belirlenen H1N1 virüsü (domuz gribi), uluslararası seyahatlerin etkisiyle hızla yayılarak 2009'da küresel bir salgına dönüşmüştür (Al Hajjar ve McIntosh, 2020). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), 11 Haziran 2009'da yayılma düzeyini dikkate alarak salgını "6. evre pandemi" olarak ilan etmiş (Badur, 2010; Al Hajjar ve McIntosh, 2020); süreç, küresel hazırlık ve pandemi etiğine ilişkin tartışmaların uluslararası düzeyde görünürlük kazanmasına zemin hazırlamıştır. Aynı dönemde biyoetik ve sağlık hukukunun örgütsel gelişimi de devam etmiş; Avustralasya Biyoetik ve Sağlık Hukuku Derneği, Avustralya ve Yeni Zelanda'da bu alanlarda faaliyet göstermek üzere 2009'da kurulmuştur (Australasian Association of Bioethics and Health Law, 2009). Küresel sağlık sorunlarıyla birlikte insan sağlığının çevresel koşullarla ilişkisi de yeniden önem kazanmış; The Lancet'ın 2009'da iklim değişikliğinin sağlık üzerindeki etkilerine dikkat çekmesiyle (Costello et al, 2009), sağlık alanında iklim değişikliğine yönelik farkındalık ve katılım giderek artmıştır.

Böylece iklim değişikliği, çevresel kirlilik ve biyolojik çeşitlilik kaybının insan sağlığıyla doğrudan ilişkili sorunlar olarak ele alınması, biyoetik tartışmaların insan sağlığından gezegen sağlığına uzanan daha geniş bir çerçevede değerlendirilmesine katkıda bulunmuştur.

Biyoetiğin insan sağlığını sosyal ve çevresel koşullarla birlikte ele alan kapsamının genişlemesi, temel yaşam gereksinimlerinin insan hakları çerçevesinde değerlendirilmesine de yansımıştır. Bu doğrultuda BM Genel Kurulu tarafından 28 Temmuz 2010'da kabul edilen Su ve Sanitasyon Hakkı, insanın güvenli ve temiz içme suyu ile sanitasyona erişimi için gerekli bir insan hakkı olarak tanımlanmıştır (The Human Right to Water and Sanitation, 2010). Aynı dönemde biyoetik tartışmaların toplumsal boyutu da çeşitlenmiş; Lance Wahlert ve Autumn Fiester tarafından Pennsylvania Üniversitesi'nde 2010'da başlatılan Biyoetik, Cinsellik ve Cinsiyet Kimliği Projesi, diğer adıyla Queer Bioethics, dünyanın farklı bölgelerinden 300'ü aşkın biyoetik araştırmacısını bir araya getirmiştir (Queer Bioethics, 2010). Biyoetiğin kapsamındaki bu genişlemeye genetik teknolojilerdeki hızlı ilerlemeler de eşlik etmiştir. Çin'in bu alanda öne çıkmasıyla, Şubat 2014'te tek hücre aşamasındaki maymun embriyolarında CRISPR-Cas9 gen düzenleme teknolojisinin başarıyla kullanıldığı bildirilmiştir (Niu et al, 2014). Gen düzenlemesine ilişkin küresel etik tartışmalar ise 2018'de HIV'e karşı direnç kazandırmak amacıyla CCR5 geni değiştirilmiş ikiz kız çocuklarının doğumunun kamuoyuna açıklanmasıyla yoğunlaşmış (Raposo, 2019); girişimin uluslararası ve Çin'e özgü embriyonik genetik araştırma ilkelerinin yanı sıra biyomedikal araştırmaların temel etik normlarını ihlal ettiği ortaya konmuştur (Nie, 2018). Genetik müdahalelerin üreme teknolojileriyle birleşmesi de yeni tartışmaları beraberinde getirmiş; dünyanın ilk "üç ebeveynli bebeği" olarak tanımlanan çocuk, Dr. John Zhang ve ekibinin Ürdünlü bir kadına Meksika'da uyguladığı işlem sonucunda 6 Nisan 2015'te dünyaya gelmiştir (Sharma, et al. 2020). Biyoteknolojideki bu gelişmelerle eş zamanlı olarak çevresel sorunlara yönelik küresel girişimler de sürmüş ve 2015'de kabul edilen Paris Sözleşmesi, iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik yasal olarak bağlayıcı uluslararası bir anlaşma olmuştur (The Paris Agreement, 2015). Yaşam bilimlerinin sınırlarını genişleten bir diğer gelişme ise Jun Wu, Juan Carlos Izpisua Belmontee ve Salk Enstitüsü'ndeki çalışma arkadaşlarının 2017'de ilk domuz-insan kimera embriyosunu oluşturduklarını bildirmeleri olmuş; bu gelişme türler arası biyolojik müdahalelerin mümkün hale gelmesinin önemli örneklerinden birini oluşturmuştur (Cripps, 2018).

Genetik müdahaleler etrafında yoğunlaşan etik tartışmaların ardından küresel sağlık gündemi, tüm dünyayı etkileyen yeni bir salgınla karşı karşıya kalmıştır. Çin'in Wuhan kentinde 31 Aralık 2019'da etiyolojisi bilinmeyen pnömoni vakalarının bildirilmesini izleyen süreçte 7 Ocak 2020'de DSÖ, yeni bir koronavirüs tanımlanmış ve kısa sürede uluslararası bir sağlık tehdidine dönüşmüştür. Türkiye'de ilk vakanın 11 Mart 2020'de doğrulanmasıyla (Özlü ve Öztaş, 2020) aynı gün DSÖ'nün COVID-19'u pandemi olarak ilan etmesi (Cucinotta ve Vanelli, 2020), küresel sağlık ve biyoetik açısından yeni tartışmaları beraberinde getirmiştir. Pandemiyle birlikte insan sağlığının çevresel koşullarla ilişkisine yönelik yaklaşım da güçlenmiş; İnsan Hakları Konseyi tarafından 8 Ekim 2021'de kabul edilen Temiz, Sağlıklı ve Sürdürülebilir Bir Çevre Hakkı, temiz, sağlıklı ve sürdürülebilir bir çevreyi insan hakkı olarak tanımıştır (The Human Right to a Clean, Healthy and Sustainable Environment, 2021). Aynı dönemde sağlık hizmetlerinin dijitalleşmesi, yapay zekânın doğurduğu etik sorunları da uluslararası gündeme taşımıştır. DSÖ, 2021'de yayımladığı Sağlıkta Yapay Zekâ Etiği ve Yönetişimi Rehberi ile özerklik, insan refahı ve güvenliği, şeffaflık ve açıklanabilirlik, sorumluluk ve hesap verebilirlik, kapsayıcılık ve hakkaniyet ile sürdürülebilirlik temelinde sağlıkta yapay zekânın etik kullanımına yönelik bir çerçeve ortaya koymuştur (Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health, 2021).

COVID-19 sürecinde belirginleşen ülkeler arası eşitsizlikler ve sağlık ürünlerine adaletsiz erişim ise küresel pandemi yönetiminin yeniden ele alınmasını gerekli kılmış; 78. Dünya Sağlık Asamblesi tarafından 20 Mayıs 2025'te kabul edilen DSÖ Pandemi Sözleşmesi gelecekteki pandemilerde uluslararası iş birliğini, sağlık ürünlerine erişimi ve daha hakkaniyetli bir pandemi yanıtını güçlendirmeyi amaçlamıştır (WHO Pandemic Agreement, 2025). Biyoetiğin yeni teknolojiler karşısındaki kapsamı nöroteknoloji alanında da genişlemiş ve UNESCO tarafından 11 Kasım 2021 tarihinde kabul edilen Nöroteknoloji Etiği Üzerine Tavsiye Kararı, nöroteknoloji etiğine ilişkin ilk küresel normatif çerçeveyi oluşturarak beyin verileri, zihinsel mahremiyet, özerklik, manipülasyon, bilişsel özgürlük ve insan hakları gibi konuları uluslararası etik düzenleme alanına taşımıştır (Recommendation on the Ethics of Neurotechnology, 2025).

TARTIŞMA

Biyoetiğin kavramsal gelişimi tek bir düşünür, olay ya da belirli bir dönemle sınırlandırılamayacak ölçüde çok boyutlu ve kapsamlı bir süreçtir. Kavramın şekillenmesinde tıp ve yaşam bilimlerindeki ilerlemelerin yanı sıra bu ilerlemelerin beraberinde getirdiği etik sorunlar, insan hakları ihlalleri, çevresel kaygılar, toplumsal değişimler ve bunlara yanıt olarak geliştirilen hukuki ve kurumsal düzenlemeler etkili olmuştur. Bu açıdan, biyoetiğin kavramsal gelişimi, birbirinden bağımsız gelişmelerin toplamından ziyade bilimsel, teknolojik, toplumsal ve çevresel değişimlerle birlikte ortaya çıkan etik sorunların ve bu sorunlara getirilen çözüm önerilerinin biçimlendirdiği bir süreç olarak değerlendirilmelidir.

Bu süreçte biyoetiğin gelişiminde rol oynayan önemli etkenlerden biri, insanlar üzerinde yürütülen araştırmalarda ortaya çıkan etik sorunlardır. Bu araştırmalarda yaşanan etik ihlaller, bilimsel yararın tek başına yeterli olmadığını; katılımcıların haklarının, rızasının ve güvenliğinin de gözetilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Nürnberg Kodu'ndan Helsinki Bildirgesi ve Belmont Raporu'na uzanan düzenleyici birikim bu değişimin somut karşılıklarındandır.

Biyoetiğin kapsamının genişlemesinde tıbbın insan yaşamına müdahale olanaklarının artması da etkili olmuştur. Organ nakilleri, yaşam destek sistemleri, yardımcı üreme teknikleri ve genetik teknolojiler; yaşamın başlangıcı, sürdürülmesi ve sona ermesi gibi konularda yeni etik sorunları gündeme getirmiştir. Bu gelişmelerle birlikte tartışmalar, tıbben mümkün olan bir uygulamanın nasıl yapılacağından çok, hangi koşullarda kabul edilebilir olduğu ve sınırlarının nasıl belirlenmesi gerektiği üzerinde yoğunlaşmıştır. Böylece biyoetik, bilimsel ve teknolojik gelişmelerin amaçlarını, sınırlarını ve sonuçlarını sorgulayan daha geniş bir alan hâline gelmiştir.

Biyoetiğin kavramsal gelişimi yalnızca biyomedikal teknolojilerle sınırlı kalmamış; çevre ve diğer canlılara ilişkin etik sorunları da kapsayacak şekilde genişlemiştir. Leopold'un toprak etiği, Carson'ın çevresel zararlar üzerine çalışmaları, Naess'in derin ekoloji yaklaşımı, insanın doğayla ilişkisinin etik açıdan sorgulanmasına katkıda bulunmuştur. Biyolojik çeşitlilik, iklim değişikliği, temiz suya erişim ve sağlıklı çevre hakkının uluslararası gündemde yer alması ise insan sağlığının çevresel koşullardan bağımsız değerlendirilemeyeceğini daha görünür hâle getirmiştir. Hayvanların ahlaki statüsüne ilişkin tartışmalar da etik sorumluluğun yalnızca insanla sınırlı olup olmadığını gündeme taşımıştır. Böylece biyoetiğin kapsamı, insan yaşamına ilişkin sorunların yanı sıra insan dışı canlıları, çevreyi ve farklı yaşam biçimlerine yönelik etik sorumlulukları da içerecek biçimde genişlemiştir.

Biyoetiğin kavramsal gelişiminde bireysel hakların yanı sıra adalet ve eşitlik sorunları da giderek önem kazanmıştır. Sağlık kaynaklarının dağıtımı, savunmasız grupların korunması, temiz su ve sağlıklı çevreye erişim gibi konular, etik sorunların yalnızca bireysel konular üzerinden değerlendirilemeyeceğini göstermiştir.

Özellikle küresel salgınlar, sağlık sorunlarının ülkeler arasında karşılıklı etkiler yarattığını ortaya koyarak erişim, dayanışma, hakkaniyet ve uluslararası sorumluluk konularını öne çıkarmıştır. Böylece biyoetik değerlendirmelerin kapsamı bireylerden kurumlara, devletlere ve uluslararası yapılara doğru genişlemiştir.

Biyoetiğin farklı ülkelerde kurumsal yapılar kazanması da kavramın gelişiminde önemli bir aşamayı temsil etmektedir. Araştırma merkezlerinin, ulusal ve uluslararası derneklerin, etik komitelerin, akademik yayınların ve başvuru kaynaklarının oluşturulması, biyoetiğin akademik ve uygulamalı bir çalışma alanı olarak gelişmesine ve kurumsal kimlik kazanmasına katkıda bulunmuştur. Alanın farklı coğrafyalara yayılmasıyla birlikte kültürel ve toplumsal farklılıklar da biyoetik tartışmalarda daha fazla dikkate alınmaya başlanmıştır. Böylece biyoetiğin gelişimi, yalnızca ele aldığı konuların değil, bu konuların değerlendirildiği bakış açılarının da çeşitlenmesini beraberinde getirmiştir.

Son yıllarda yapay zekâ, genom düzenleme ve nöroteknoloji alanındaki gelişmeler, biyoetiğin kavramsal sınırlarının yeniden tartışılmasına neden olmaktadır. Bu teknolojiler yalnızca tedavi ve araştırma olanaklarını artırmamakta; mahremiyet, özerklik, hakkaniyet, insan müdahalesinin sınırları ve gelecek kuşaklara karşı sorumluluk gibi mevcut etik sorunları yeni biçimlerde gündeme getirmektedir. Bu nedenle çağdaş biyoetik açısından önemli olan yalnızca teknolojinin ortaya çıkardığı sonuçlara sonradan yanıt vermek değil, teknolojinin geliştirilmesi ve uygulanması sırasında ortaya çıkabilecek etkileri önceden değerlendirebilecek bir etik yaklaşım geliştirmektir. Sağlıkta yapay zekâ ve nöroteknoloji konusunda uluslararası etik çerçevelerin teknolojiler henüz gelişim sürecindeyken oluşturulmaya başlanması, bu yönelimin günümüzde giderek daha belirgin hâle geldiğini göstermektedir.

Bütün bu süreçler birlikte değerlendirildiğinde, biyoetiğin kavramsal gelişiminin hem bilimsel ve teknolojik gelişmelerin ortaya çıkardığı yeni etik sorunlar hem de etik sorumluluğun kapsamının genişlemesiyle şekillendiği görülmektedir. Etik sorumluluk bireyden topluma, diğer canlılara, çevreye ve gelecek kuşaklara doğru genişlerken, biyoetik de araştırma ve klinik uygulamalara ilişkin sorunların ötesine geçerek küresel sağlık, çevre ve yeni teknolojilerin beraberinde getirdiği etik sorunları kapsayan daha geniş bir alan hâline gelmiştir.

SONUÇ

Biyoetiğin günümüzde sahip olduğu kavramsal çerçeve, farklı dönemlerde karşılaşılan etik sorunlar ve bu sorunlara yönelik geliştirilen yaklaşımların birikimi sonucunda oluşmuştur. Bu gelişim sürecinde Jahr ile ortaya çıkan biyoetik kavramı, Potter'ın bakış açısıyla yeniden ele alınmış; sonraki dönemlerde farklı düşünürlerin katkıları, kurumsallaşma süreci, etik düzenlemeler ile bilimsel ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda yeni anlam ve çalışma alanları kazanmıştır. Böylece biyoetik, yalnızca tıp ve araştırma uygulamalarında karşılaşılan etik sorunlarla sınırlı kalmayarak insan yaşamı ve sağlığının yanı sıra toplumu, diğer canlıları, çevreyi, gezegeni ve yaşamla ilişkili daha geniş sorunları kapsayan bir alan hâline gelmiştir. Bu yönüyle biyoetik, değişen koşullar ve gündeme gelen yeni etik sorunlar doğrultusunda kapsamı ve tartışma alanları sürekli gelişen dinamik bir alan niteliğindedir.

KAYNAKLAR

Akalın, M. (2022). Çevre Etiği Çevreye Felsefi Yönelimler. Ankara: Iksad Yayınevi.

Alberio, R. & Wolf, E. (2021). 25th Anniversary of Cloning by Somatic-Cell Nuclear Transfer: Nuclear transfer and the development of genetically modified/gene edited livestock. Reproduction, 162, F59-F68.

Al Hajjar S, & McIntosh K. (2020). The First Inflluenza Pandemic of the 21st Century. Ann Saudi Med, 30 (1), 1-10.

American Association for Bioethics. (1994). https://asbh.org/uploads/about/AAB_Guide_to_Archives.pdf (Erişim tarihi: 11.09.2026).

Aşar, H. (2019). Tıp Etiğinden Bio-Etiğe: Fritz Jahr. Kilikya Felsefe Dergisi, 2, 42-56.

Australasian Association of Bioethics and Health Law. (2009). https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=The+Australasian+Association+of+Bioethics+and+Health+Law&ie=UTF-8&oe=UTF-8 (Erişim tarihi: 12.09.2026).

Badur S. (2010). H1N1 Epidemiyolojisi ve Virüs. ANKEM Dergisi, 24 (EK 2), 190-195.

Başağaç Gül, T. (2024). Yasal ve Etik Boyutlarıyla Hayvan Deneyleri 3R'ler ve Diğer İlkeler. Altıntaş, L. (Ed) Laboratuvar Hayvanlarında İlaç Kullanımı. Ankara: Türkiye Klinikleri.

Belmont Raporu. (1979). https://www-hhs-gov.translate.goog/ohrp/regulations-and-policy/belmont-report/read-the-belmont-report/index.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc (Erişim tarihi: 10.09.2026).

Berry, R. M. (2012). From Involuntary Sterilization to Genetic Enhancement: The Unsettled Legacy of Buck v. Bell. Notre Dame Journal of Law, Ethics & Public Policy, 12 (2), 401- 448.

Brink, J. G. & Hassoulas, J. (2009). The first human heart transplant and further advances in cardiac transplantation at Groote Schuur Hospital and the University of Cape Town. Cardiovascular Journal of Africa, 20 (1), 30-35.

Cenevre Bildirgesi. (1948). https://www-wma-net.translate.goog/policies-post/wma-declaration-of-geneva/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc (Erişim tarihi: 09.09.2026).

Cevizci, A. (2013). Uygulamalı Etik. 1. Baskı, İstanbul: Say Yayınları.

Cong, Y. (2016). Introduction of Bioethics in China. BIOETHICS Update 2, 8-22.

Cook, R. A., Karesh, W. B. & Osofsky, S. A. (2004). The Manhattan Principles on "One World, One Health". Conference Summary. One World, One Health: Building Interdisciplinary Bridges to Health in a Globalized World, 29 September 2004, New York. Wildlife Conservation Society, New York. https://www.oneworldonehealth.org/sept2004/owoh_sept04.html (Erişim tarihi: 22.09.2026).

Costello A, et al. (2009). Lancet and University Colege London Institute for Global Health Commission: Managing the health effects of climate change. The Lancet, 373 (9676), 1693-1733.

Cripps, Y. (2018). The Global Person: Pig-Human Embryos, Personhood, and Precision Medicine. Indiana Journal of Global Legal Studies, 25 (2), 701-727.

Cucinotta D, & Vanelli M. (2020). WHO Declares COVID-19 a Pandemic. Acta Biomed, 91 (1), 157- 160.

Des Jardins, J. R. (2006). Çevre Etiği Çevre Felsefesine Giriş. Ankara: İmge Kitabevi.

Diekema, D. S. (2020). Hans Jonas and the Ethics of Human Subjects Research. Hasting Center Report, 50 (1), 8-9.

Drezgic, R. (2012). On Feminist Engagements with Bioethics. FILOZOFIJA I DRUŠTVO, 23 (4), 19-31.

Ertin, H. & Temel, M. K. (2016). İnsan Üzerindeki Deneyler ve İlgili Etik – Yasal Metinler, Anadolu Kliniği, 21 (3), 223-234.

Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health. (2021). https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200 (Erişim tarihi: 12.09.2026).

Foëx, B. A. (2007). The Ethics of Animal Experimentation. Emerg Med J, 24, 750-751.

Gaw, A. (2012). Exposing Unethical Human Research: The Transatlantic Correspondence of Beecher and Pappworth. Annals of Internal Medicine, 156 (2), 150-155.

Ghooi, R. B. (2011). The Nuremberg Code – A Critique. Perspectives in Clinical Research, 2 (2), 72-76.

Giovanni R. (2001), Potter's Personal History of Bioethics an Examination and Survey. Global Bioethics, 14 (4), 63-71.

Goldim, J. R. & Fernandes, M. S. (2011). From Reverence for Life to Bioethics: Albert Schweitzer a Bioethics Precursor. JAHR, 2 (4), 505-509.

Hastings Center Cofounder Willard Gaylin 1925-2022. (2023). https://www.thehastingscenter.org/news/remembering-willard-gaylin/ (Erişim tarihi: 25.07.2024).

Helsinki Bildirgesi. (1964). https://www-wma-net.translate.goog/policies-post/wma-declaration-of-helsinki/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc (Erişim tarihi: 10.09.2026).

International Association of Bioethics. (1992). https://uia.org/s/or/en/1100018830 (Erişim tarihi: 11.09.2026).

International Bioethics Committee. (1993). https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000220865 (Erişim tarihi: 11.09.2026).

İnsan Genom Projesi. (1990). https://www-genome-gov.translate.goog/human-genome-project?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc (Erişim tarihi: 11.09.2026).

İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi. (1948). https://www-un-org.translate.goog/en/about-us/universal-declaration-of-human-rights?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc (Erişim tarihi: 09.09.2026).

Kalokairinou, E. M. (2016). Fritz Jahr's Bioethical Imperative: Its Origin, Point, and Influence. JAHR, 7 (2), 14, 149-156.

Kişisel ve Siyasi Haklar Uluslararası Sözleşmesi. (1976). https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-civil-and-political-rights (Erişim tarihi: 11.09.2026).

Leopold, A. (1949). A Sand County Almanac and Sketches Here and There. New York: Oxford University Press.

Liang, J. (2022). A History of Japan's Unit 731 and Implications for Modern Biological Warfare. Proceeding of the 2022 3rd International Conference on Language, Art and Cultural Exchange (ICLACE 2022), The Netherlands: Atlantis Press.

Lima NS, & Cicovacki P. (2014). Bio-Ethics: Past, Present, and Future. JAHR, 5 (2), 10, 263-275.

Macer, D. (1998). Bioethics is Love of Life: An Alternative Textbook. Eubios Ethics Institute.

Macer, D. (2008). Moral Games for Teaching Bioethics. UNESCO Chair in Bioethics.

Mahmud, N. & Mirza, F. N. (2021). A Tale of Louise Joy Brown: Story goes on. Bangladesh Journal of Fertility & Sterility, 1 (1), 47-51.

McLemore, M. R. (2006). Gardasil®: Introducing the New Human Papillomavirus Vaccine. Clinical Journal of Oncology Nursing, 10 (5), 559-560.

Monash Bioethics Center. (1980). https://www.monash.edu/arts/about (Erişim tarihi: 13.09.2026).

Moro L. G. et al. (2024). A Brief History of Cell Culture: From Harrison to Organs-on-a-Chip. Cell, 13 (24), 2068.

Morris, P. J. (2004). Transplantation – A Medical Miracle of the 20th Century. The New England Journal of Medicine, 351 (26), 2678-2680.

Mumford, K. (2023). Ethically Navigating the Evolution of Gender Affirmation Surgery. AMA Journal of Ethics, 25 (6), E383-385.

Muzur, A, & Rincic, I. (2015). Two Kinds of Globality: A Comparison of Fritz Jahr and Van Rensselaer Potter's Bioethics. Global Bioethics, 26 (1), 23-27.

Muzur, A. & Rincic, I. (2011). Fritz Jahr (1895-1953) – the Man Who Invented Bioethics A Preliminary Biography and Bibliography. Synthesis Philosophica, 26 (1), 133-139.

Naess, A. (1973). The Shallow and the Deep, Long-range Ecology Movement. A Summary. An Interdisciplinary Journal of Philosophy, 16, 95-100.

Najmuldeen, A. (2020). II. Dünya Savaşı'nda Japonya'nın Uyguladığı Asya Katliamları. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 7 (8), 191-201.

Nanyangwe-Moyo, T. et. al. (2024). Learning from the Montreal Protocol to Improve the Global Governance of Antimicrobial Resistance. BMJ Global Health, 9 (10), e015690, 1-7.

Nie, J. B. (2018). He Jiankui's Genetic Misadventure: Why Him? Why China? The Hasting Center Center of Bioethics Fourm. https://www.thehastingscenter.org/jiankuis-genetic-misadventure-china/ (Erişim tarihi: 23.11.2025).

Niu, Y. et al. (2014). Generation of Gene-Modified Cynomolgus Monkey via Cas9/RNA-Mediated Gene Targeting in One-Cell Embryos. Cell, 156 (4), 836-843.

Oğuz, N. Y., Tepe, H., Örnek Büken, N. & Kırımsoy Kucur, D. (2005). Biyoetik Terimleri Sözlüğü. Ankara: Türkiye Felsefe Kurumu.

Örs, Y. (2011). Bir Bilim Felsefeci Olarak Yaman Örs'ün Yaklaşımıyla Etik'in Anlamı ve Anlamsızlığı. Derleyen: Zümrüt Alpınar. 1. Basım, Ankara: Efil Yayınları.

Özkan, S. (2018). Hitler ve Ekolojik Düşünce. 21. Yüzyılda Eğitim ve Toplum, 7 (19), 297-312.

Özlü, A. & Öztaş, D. (2020). Yeni Corona Pandemisi (COVID-19) ile Mücadelede Geçmişten Ders Çıkartmak. Ankara Med J, 2, 468-481.

Patrão Neves, M. C. (2019). (Bio)Ethics, Science, and Society: Challenges for BioPolitics. Portugal: Glaciar.

Pitot, H. C., Drinkwater, N. R. & Kasper, C. B. (2002). Memorial Resolution of the Faculty of the University of Wisconsin-Madison on the Death of Professor Emeritus Van Rensselaer Potter II. UW-Madison Fac Doc 1628, 1-2.

Potter, V. R. (1970). Bioethics, the Science of Survival. Perspectives in Biology and Medicine, 14 (1), 127-153.

Potter, V. R. (1988). Global Bioethics: Building on the Leopold Legacy. Michigan: Michigan State University Press.

Queer Bioethics. (2010). https://penntoday.upenn.edu/news/queer-bioethics-comes-life-penn (Erişim tarihi: 12.09.2026).

Raposo, V. L. (2019). The First Chinese Edited Babies: A Leap of Faith in Science. JBRA Assist. Reprod., 23 (3), 197-199.

Recommendation on the Ethics of Neurotechnology. (2025). https://www.unesco.org/en/legal-affairs/recommendation-ethics-neurotechnology (Erişim tarihi: 12.09.2026).

Reich, W. T. (1996). Revisiting the Launching of the Kennedy Institute: Re-visioning the Origins of Bioethics. Kennedy Inst Ethics J., 6 (4), 323-327.

Reicherzer, S. (2008). Evolving Language and Understanding in the Historical Development of the Gender Identity Disorder Diagnosis. Journal of LGBT Issues in Counseling, 2 (4), 326-347.

Report of the United Nations Conference on the Human Environment. (1973). New York: United Nations Publication.

Rio Declaration on Environment and Development. (1992). United Nations.

Roberts, W. C. (2020). Facts and Ideas from anywhere. Proc (Bayl Univ Med Cent), 33 (4), 703-707.

Rodriguez, M. A. & Garcia, R. (2013). First, Do No Harm: The US Sexually Transmitted Disease Experiments in Guatemala. American Journal of Public Healt, 103 (12), 2122-2126.

Rosello, A. et al. (2015). Ebola Virus Disease in the Democratic Republic of the Congo, 1976-2014. eLIFE, 4, e09015, 1-19.

Sass, H. M. (2007). Fritz Jahr's 1927 Concept of Bioethics. Kennedy Institute of Ethics Journal, 17 (4), 279-295.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2011). Convention on Biological Diversity: text and annexes. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.

Sharma, H. et al. (2020). Development of Mitochondrial Replacement Therapy: a Review. Heliyon, 6 (9), e04643, 1-7.

Shelton, D. (2025). Stockholm Declaration (1972) and Rio Declaration (1992). https://opil.ouplaw.com/display/10.1093/law:epil/9780199231690/law-9780199231690-e1608 (Erişim tarihi: 12.09.2026).

Shuster, E. (2018). American Doctors at the Nuremberg Medical Trial. AJPH, 108 (1), 47-52.

Sparrow, T. & Hutchinson, A. (2013). A History of Habit: From Aristotle to Bourdieu. Lanham, MD: Lexington Books, 19.

Steger, F. (2015). Fritz Jahr's (1895-1953) European Concept of Bioethics and Its Application Potential. JAHR, 6 (2), 12, 215-222.

Suuberg, A. (2020). Buck v. Bell, American Eugenics, and the Bad Man Test: Putting Limits on Newgenics in the 21st Century. Minnesota Journal of Law & Inequality, 38 (1), 115-134.

Şakacı, B. K, & Günesen, M. (2023). Derin Ekoloji ve Derin Ekolojinin Düşündürdükleri. Akademik Düşünce Dergisi, 8, 67-85.

Tan, S. Y. & Ponstein, N. (2019). Jonas Salk (1914-1995): A Vaccine against Polio. Singapore Med J, 60 (1), 9-10.

ten Have, H. A. M. J, & Gordijn, B. (2014). Handbook of Global Bioethics. In: ten Have HAMJ, Gordijn B. Springer.

The Cancer Genome Atlas. (2006). https://www.genome.gov/Funded-Programs-Projects/Cancer-Genome-Atlas (Erişim tarihi: 12.09.2026).

The First Human Gene Therapy. (1990). https://resources.biomol.com/biomol-blog/the-first-human-gene-therapy (Erişim tarihi: 11.09.2026).

The Hasting Center. (2026). The Hasting Center Bioethics Timeline. https://www.thehastingscenter.org/bioethics-timeline/?utm_source=chatgpt.com (Erişim tarihi: 07.09.2026).

The Human Right to a Clean, Healthy and Sustainable Environment. (2021). https://digitallibrary.un.org/record/3983329?v=pdf (Erişim tarihi: 12.09.2026).

The Human Right to Water and Sanitation. 2010. https://digitallibrary.un.org/record/687002?v=pdf (Erişim tarihi: 12.09.2026).

The Montreal Protocol. (1987). https://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol (Erişim tarihi: 12.09.2026).

The Paris Agreement. (2015). https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement (Erişim tarihi: 12.09.2026).

Thomas, S. B. & Quinn, S. C. (1991). The Tuskegee Syphilis Study, 1932 to 1972: Implications for HIV Education and AIDS Risk Education Programs in the Black Community. American Journal of Public Health, 81 (11), 1498-1505.

Uluslararası Tıp Etiği Kodu. (1949). https://www-wma-net.translate.goog/policies-post/wma-international-code-of-medical-ethics/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc (Erişim tarihi: 09.09.2026).

UNESCO Biyoetik ve İnsan Hakları Bildirgesi. (2005). https://www.unesco.org.tr/Content_Files/Content/Sektor/Sosyal_ve_Beseri_B/evrensel_bildirgesi.pdf (Erişim tarihi: 18.09.2026).

Ülman, Y. I. (2010). Etik, Biyoetik, Hukuk: Temel Kavramlar ve Yaklaşımlar. Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 1 (1), 1- 4.

Vollmann, J., & Winav, R. (1996). Informed Consent in Human Experimentation before the Nuremberg Code. BMJ, 313 (7070), 1445-1449.

Whitehouse, P. J. (2003). The Rebirth of Bioethics: Extending the Original Formulations of Van Rensselaer Potter. The American Journal of Bioethics, 3 (4), 26-31.

WHO Pandemic Agreement. (2025). https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA78/A78_R1-en.pdf (Erişim tarihi: 12.09.2026).

Yıldız, A., Kaya, R., & Şahinoğlu, S. (2021). Biyoetik Teriminin Ortaya Çıkışı ve Türkiye'deki Yansımaları. Lokman Hekim Dergisi, 11 (2), 249-257.

Yılmaz, S. (2026). Doğu ve Batı Perspektiflerinden Biyoetik: XXI. Yüzyılın İlk Çeyreğine Ait Tematik Bir İçerik Analizi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Yılmaz, S. & Akbulut, S. (2022). In Memoriam of Thomas Starzl, the Pioneer of Liver Transplantation. World Journal of Transplantation, 12 (3), 55-58.

GİRİŞİMSEL RADYOLOJİ HEMŞİRESİNDE PERİYODİK İŞ SAĞLIĞI GÖZETİMİ SIRASINDA SAPTANAN PAPİLLER TİROİD KARSİNOMU: BİR OLGU SUNUMU

Sümeyye KOÇ
Konya Şehir Hastanesi, Aile Hekimliği Kliniği
ORCID: 0000-0003-1326-7110

ÖZET
İş sağlığı gözetimi, daha önce fark edilmemiş sağlık sorunlarının belirlenmesine ve uygun klinik değerlendirmeye yönlendirilmesine olanak tanır. Bu olguda, girişimsel radyoloji biriminde çalışan 29 yaşındaki erkek hemşirenin rutin yıllık iş sağlığı gözetimi sırasında saptanan tiroid patolojisinin klinik seyri sunulmuştur. 2024 yılında yapılan periyodik değerlendirmede, laboratuvar incelemelerinde tirotoksikoz saptanmış ve tiroid ultrasonografisinde nodül olmaksızın difüz tiroid parankim değişiklikleri izlenmiştir. Endokrinoloji değerlendirmesi sonrasında tiroid sintigrafisi ile Graves hastalığı tanısı konulmuş ve medikal tedaviye başlanmıştır. Yaklaşık altı ay sonra gerçekleştirilen ara iş sağlığı değerlendirmesinde yeni bir klinik anormallik saptanmamıştır. Yaklaşık altı ay sonra, 2025 yılındaki planlı yıllık iş sağlığı gözetiminde tiroid fonksiyon testleri normal sınırlarda olmasına rağmen, kontrol ultrasonografisinde sol tiroid lobunda yeni gelişmiş 17 × 10 mm boyutunda şüpheli bir nodül saptanmıştır. İnce iğne aspirasyon biyopsisi papiller tiroid karsinomu açısından malignite ile uyumlu bulunmuş ve total tiroidektomi uygulanmıştır. Histopatolojik incelemede fokal vasküler invazyon içeren, 1,5 cm boyutunda klasik tip papiller tiroid karsinomu (pT1b pNx) ve eşlik eden Hashimoto tiroiditi saptanmıştır. Sonrasında radyoaktif iyot ablasyonu uygulanmış ve levotiroksin tedavisine başlanmıştır. Çalışma süresi boyunca kişisel dozimetri ölçümleri normal sınırlar içinde kalmıştır. Bu olgu, yapılandırılmış ve longitudinal iş sağlığı gözetiminin, klinik olarak önemli patolojilerin saptanmasındaki potansiyel değerini göstermektedir. Ayrıca, iş sağlığı gözetimi sırasında bir sağlık sorununun saptanmasının, bu durumun mesleki maruziyete bağlı olduğu anlamına gelmediğini vurgulamakta ve işyeri hekiminin erken fark etme, koordinasyon ve zamanında uzman yönlendirmesindeki rolünü ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: İş Sağlığı; Sağlık Gözetimi; Girişimsel Radyoloji; Papiller Tiroid Karsinomu; Mesleki Radyasyon

PAPILLARY THYROID CARCINOMA DETECTED DURING PERIODIC OCCUPATIONAL HEALTH SURVEILLANCE IN AN INTERVENTIONAL RADIOLOGY NURSE: A CASE REPORT

ABSTRACT
Occupational health surveillance provides an opportunity to identify previously unrecognized health abnormalities and facilitate appropriate clinical evaluation. We report the case of a 29-year-old male nurse working in an interventional radiology unit who was evaluated during routine annual occupational health surveillance. In 2024, laboratory testing revealed thyrotoxicosis, and thyroid ultrasonography showed diffuse thyroid abnormalities without a discrete nodule. Following endocrinologic evaluation, Graves' disease was diagnosed by thyroid scintigraphy, and medical treatment was initiated. At an interim occupational health assessment approximately six months later, no new clinically significant abnormality was identified.

Approximately six months thereafter, during the scheduled annual surveillance visit in 2025, thyroid function tests were within normal limits. However, follow-up ultrasonography identified a new suspicious nodule measuring 17 × 10 mm in the left thyroid lobe. Fine-needle aspiration biopsy was suggestive of papillary thyroid carcinoma, and the patient underwent total thyroidectomy. Histopathological examination confirmed a 1.5-cm classic papillary thyroid carcinoma with focal vascular invasion (pT1b pNx) and concomitant Hashimoto thyroiditis. Radioactive iodine ablation was subsequently administered, followed by levothyroxine replacement therapy. Personal dosimetry measurements remained within normal limits throughout his occupational tenure. This case highlights the potential value of structured, longitudinal occupational health surveillance and serial comparative evaluations in detecting clinically important pathology. It also emphasises that detection of a health condition during workplace surveillance should not be equated with occupational causation, underscoring the coordinating role of the occupational health physician in early recognition and timely specialist referral.
Keywords: Occupational Health; Health Surveillance; Interventional Radiology; Papillary Thyroid Carcinoma; Occupational Radiation

GİRİŞ

Koruyucu iş sağlığı uygulamalarının önemli bir bileşeni olan periyodik sağlık gözetimi, çalışanların sağlık durumlarının sistematik olarak değerlendirilmesine ve daha önce fark edilmemiş sağlık sorunlarının ortaya çıkarılmasına olanak tanır. İş sağlığı kapsamında yürütülen sağlık gözetimi, genel sağlık taramasından farklı olarak; işyerindeki tehlikeler, mesleki maruziyetler ve çalışan grubunun özellikleri dikkate alınarak planlanmalıdır.[1] Türkiye'de bu yaklaşım, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 15. maddesi kapsamında düzenlenmiş olup, çalışanların yürüttükleri işin niteliği ve işyerindeki tehlikeler doğrultusunda periyodik sağlık gözetiminden geçirilmesini öngörmektedir.[2]

Girişimsel radyoloji çalışanları, floroskopi eşliğinde gerçekleştirilen işlemler sırasında saçılan iyonizan radyasyona maruz kalma riski taşıyan özel bir meslek grubudur. Bu grupta radyasyon maruziyetinin azaltılması amacıyla uygun korunma önlemlerinin uygulanması ve kişisel dozimetreler aracılığıyla maruziyetin düzenli olarak izlenmesi, iş sağlığı ve güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır.[3,4] Bununla birlikte, iş sağlığı gözetimi sırasında saptanan sağlık sorunlarının her zaman mesleki maruziyete bağlı olduğu varsayılmamalıdır. Bu olgu sunumunda, bir girişimsel radyoloji hemşiresinde rutin iş sağlığı gözetimi sırasında saptanan tiroid patolojisinin seyri ve bunu izleyen uzmanlık değerlendirmeleri sunulmaktadır.

Bu olgu sunumu, CARE (CAse REport) kılavuzuna uygun olarak hazırlanmıştır.[5]

OLGU SUNUMU

2018 yılından bu yana girişimsel radyoloji ünitesinde çalışan 29 yaşındaki erkek hemşire, kurumun iş sağlığı gözetim programı kapsamında düzenli olarak takip edilmekteydi. Bu birimde çalışanlara uygulanan protokol doğrultusunda laboratuvar tetkikleri, tam kan sayımı, periferik kan yayması, tiroid ultrasonografisi ile göz ve dermatoloji muayeneleri periyodik olarak yapılmaktaydı.

Şubat 2024'teki periyodik muayenesinde, bilinen kronik hastalığı veya düzenli ilaç kullanımı olmayan çalışanın taşikardi dışında aktif bir yakınması bulunmamaktaydı. Rutin laboratuvar incelemelerinde tiroid fonksiyon testlerinde bozukluk saptandı. Serbest triiyodotironin (fT3) ve serbest tiroksin (fT4) düzeyleri yüksek, tiroid stimülan hormon (TSH) düzeyi ise baskılanmıştı (fT3: 14 ng/L; referans aralığı, 2,00–4,40 ng/L; fT4: 38,8 ng/L; referans aralığı, 9,3–17 ng/L; TSH: 0,01 mU/L; referans aralığı, 0,27–4,2 mU/L).

Diğer rutin laboratuvar incelemelerinde klinik açıdan anlamlı bir anormallik saptanmadı. Göz ve dermatoloji muayeneleri normaldi ve periferik kan yaymasında patolojik bulgu görülmedi.
Tiroid ultrasonografisinde bez normal boyutlarda olmakla birlikte heterojen görünüm, yaygın ekojenite azalması, hipoekoik alanlar, fibröz septalar ve artmış vaskülarite izlendi. Tiroid bezinde nodül saptanmadı. Bulgular başlangıçta tiroidit ile uyumlu olarak değerlendirildi.
Tiroid fonksiyon testlerindeki bozukluk ve ultrasonografik bulgular doğrultusunda çalışan ileri değerlendirme amacıyla Endokrinoloji Bölümüne yönlendirildi. Endokrinolojik değerlendirmede anti-tiroglobulin antikor düzeyi yüksek (240 U/mL; referans aralığı, 0–115 U/mL), anti-tiroid peroksidaz antikor düzeyi ise hafif yüksek (39,10 U/mL; referans aralığı, <34 U/mL) bulundu. Tiroid sintigrafisinde bilateral hiperplastik tiroid dokusu ve radyofarmasötiğin yaygın, homojen ve artmış tutulumu izlendi; bulgular Graves hastalığı ile uyumlu bulundu. Taşikardiye yönelik semptomatik tedavi amacıyla propranolol, tirotoksikoz tedavisi için ise metimazol başlandı ve çalışan Endokrinoloji Bölümünde düzenli takibe alındı.
Yaklaşık altı ay sonraki ara iş sağlığı değerlendirmesinde yeni bir yakınma veya klinik açıdan anlamlı anormal bulgu saptanmadı.
2025 yılındaki yıllık iş sağlığı muayenesinde tiroid fonksiyon testleri referans aralığına dönmüştü (fT3: 2,93 ng/L; fT4: 12,2 ng/L; TSH: 1,79 mU/L). Ancak çalışan klinik ve biyokimyasal olarak ötiroid olmasına rağmen, tiroid ultrasonografisinde sol lobun alt kesiminde 17 × 10 mm boyutunda, lobüle konturlu ve hipoekoik yeni bir nodül saptandı. Nodül içerisinde noktasal ekojen odaklar izlenirken, tiroid parankimindeki heterojenite ve artmış vaskülaritenin devam ettiği görüldü. Ayrıca sol servikal seviye IV'te 8 × 4 mm boyutunda hafif belirgin bir lenf nodu izlendi.
Yeni saptanan şüpheli nodül nedeniyle, tiroid fonksiyonlarının normalleşmiş olmasına rağmen ileri değerlendirme yapıldı. İnce iğne aspirasyon biyopsisi malignite ile uyumlu bulundu ve bulgular papiller tiroid karsinomunu düşündürdü. Bunun üzerine hasta Genel Cerrahi Bölümüne yönlendirildi. Nisan 2025'te total tiroidektomi uygulandı. Histopatolojik incelemede sol lob alt polünde 1,5 × 1,3 × 1,2 cm boyutunda, unifokal, klasik tip papiller tiroid karsinomu saptandı. Cerrahi sınırlar negatifti ve tümöre en yakın cerrahi sınır 1 mm olarak ölçüldü. Fokal vasküler invazyon mevcuttu; lenfatik veya perinöral invazyon ve ekstratiroidal yayılım saptanmadı (pT1b pNx). Ayrıca eşlik eden Hashimoto tiroiditi de tespit edildi.
Ameliyat sonrası hastaya 10 gün istirahat raporu verildi. Haziran 2025'te 100 mCi I-131 ile rezidüel tiroid dokusuna yönelik ablasyon tedavisi uygulandı. Tedaviden bir hafta sonra gerçekleştirilen tüm vücut taramasında patolojik I-131 tutulumu izlenmedi. Bir hafta daha istirahat sonrasında levotiroksin replasman tedavisi başlandı.
Takip süresince kişisel dozimetre ile izlem düzenli olarak sürdürüldü ve anormal dozimetre ölçümü bildirilmedi**.** Çalışanın görev yerinin değiştirilmesine gerek görülmedi. Uygun iş sağlığı ve radyasyondan korunma eğitimi verildi ve çalışan gerekli kişisel koruyucu ekipmanları kullanmaya devam etti. İlgili uzmanlık birimindeki klinik izlemi ve iş sağlığı gözetimi halen devam etmektedir.
Olgu sunumunun ve beraberindeki klinik bilgilerin yayımlanması için hastadan yazılı bilgilendirilmiş onam alınmıştır.

TARTIŞMA

Bu olgu, yapılandırılmış ve protokole dayalı iş sağlığı gözetiminin, klinik açıdan önemli sağlık sorunlarının saptanmasındaki potansiyel değerini açık biçimde ortaya koymaktadır. Çalışanda tiroid fonksiyon bozukluğu ilk kez 2024 yılındaki planlı sağlık gözetimi sırasında saptanmış ve bu bulgu uzman değerlendirmesine yönlendirilerek tedavi sürecinin başlatılmasını sağlamıştır. Bir yıl sonraki değerlendirmede tiroid fonksiyonları normale dönmüş olmakla birlikte, aynı takipte yeni bir tiroid nodülü tespit edilmiş ve bu nodülün papiller tiroid karsinomu olarak tanı alması, iş sağlığı gözetiminin başlangıçta belirgin bir yakınmayla kendini göstermeyen klinik açıdan önemli durumların fark edilmesine olanak sağlayabileceğini göstermektedir.

Bulguların zaman içindeki seyri bu olguda özellikle dikkat çekicidir. 2024 yılında yapılan tiroid ultrasonografisinde belirgin bir nodül saptanmazken, yalnızca yaygın parankimal değişiklikler izlenmiş; 2025 yılındaki kontrol görüntülemesinde ise ileri değerlendirme gerektiren, 17 × 10 mm boyutunda yeni bir nodül ortaya çıkmıştır. Güncel literatürde mesleki radyasyona maruz kalan sağlık çalışanlarında tiroid nodülü sıklığına dikkat çekilmekle birlikte, çalışmalar arasındaki yöntemsel farklılıklar nedeniyle nedensel ilişkinin kurulmasına yönelik önemli sınırlılıklar bulunmaktadır.[6] Bu bulgular, sağlık gözetimi kapsamındaki değerlendirmelerin yalnızca o ana ait bağımsız veriler olarak değil, önceki muayenelerle birlikte ve zaman içindeki seyri gözetilerek yorumlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Böyle bütüncül bir yaklaşım, yeni ortaya çıkan yapısal değişikliklerin gözden kaçmasının önüne geçebilir.

Olgu, aynı zamanda işyeri hekimlerinin işyerine dayalı sağlık gözetimi ile klinik sağlık hizmetleri arasındaki koordinasyonu sağlama konusundaki rolünü de ortaya koymaktadır. İlk saptanan biyokimyasal anormallik, çalışanın Endokrinoloji Bölümüne yönlendirilmesini sağlamış; sonraki değerlendirmede şüpheli bir nodülün tespit edilmesi ise ileri inceleme ve cerrahi değerlendirme için yeni bir yönlendirme sürecini başlatmıştır. Bu açıdan iş sağlığı gözetimi, uzmanlık alanındaki tanı ve tedavinin yerine geçen bir uygulama olmaktan çok; hastalıkların fark edilmesini, uygun yönlendirmelerin yapılmasını ve takip sürecinin sürekliliğinin sağlanmasını hedefleyen bir çerçeve işlevi görmüştür. Bu ayrım, iş sağlığı uygulamaları açısından özellikle önemlidir; zira saptanan klinik açıdan anlamlı sağlık sorunları her zaman mesleki kökenli olmayabilir.

Çalışanın girişimsel radyoloji ünitesinde görev yapıyor olması nedeniyle mesleki radyasyon maruziyeti ayrıca değerlendirilmelidir. Girişimsel radyoloji çalışanlarına yönelik önceki araştırmalarda, mesleki radyasyon maruziyetiyle ilişkili olası yaşam boyu kanser riskleri modellenmeye çalışılmıştır. Güney Kore'de girişimsel radyoloji çalışanları arasında yürütülen ülke çapındaki bir araştırmada, modellenen maruziyet senaryolarına göre tüm kanserler için tahmini yaşam boyu atfedilebilir risk; erkek radyologlarda 100.000 kişide 338, erkek radyoloji teknisyenlerinde 100.000 kişide 121 ve kadın hemşirelerde 100.000 kişide 156 olarak hesaplanmıştır. İncelenen organlar arasında tiroid kanseri, tüm meslek gruplarında tahmini yaşam boyu atfedilebilir riskin en yüksek olduğu kanser türü olarak öne çıkmıştır.[7] Bunun yanı sıra, 3,4 milyondan fazla kişiyi kapsayan altı kohort çalışmasının değerlendirildiği 2024 tarihli bir meta-analizde, mesleki radyasyon maruziyeti bulunan çalışanlarda tiroid kanseri riskinin %67 daha yüksek olduğu bildirilmiştir (OR, 1,61; %95 GA, 1,27–2,04).[8]

Bu bulgular, radyasyona maruz kalan sağlık çalışanlarında tiroidle ilişkili anormalliklerin değerlendirilmesine mesleki bir çerçeve sunmaktadır. Bununla birlikte, söz konusu sonuçlar toplum düzeyindeki ilişkileri ve modellenmiş riskleri yansıtmakta olup, bireysel düzeyde nedensellik ortaya koymamaktadır.

Nitekim bu olguda da kişisel dozimetre ölçümleri normal sınırlar içinde seyretmiş; tiroid hastalığının iş sağlığı gözetimi sırasında saptanmış olması ile malignitenin mesleki radyasyon maruziyetine atfedilmesi birbirinden açık biçimde ayrılmalıdır.

Bulgular ayrıca kuruma özgü sağlık gözetimi protokolü çerçevesinde değerlendirilmelidir. Tiroid ultrasonografisi ve laboratuvar incelemeleri, bu meslek grubu için kurumumuzda oluşturulan sağlık gözetimi programının bileşenleri olup, tüm girişimsel radyoloji çalışanları için evrensel olarak gerekli standart incelemeler şeklinde yorumlanmamalıdır. Sağlık gözetimi uygulamaları; mesleki risk değerlendirmesine, ulusal mevzuata, kurumların kendi protokollerine ve mevcut kaynaklara bağlı olarak farklılık gösterebilir. Tek bir olguya dayanan bu çalışma, belirli bir sağlık gözetimi stratejisinin etkinliğini veya maliyet-etkinliğini ortaya koyamayacağı gibi, farklı çalışma ortamlarında yıllık tiroid ultrasonografisinin rutin olarak uygulanması gerektiğine dair bir çıkarım da yapılamaz.

Sonuç olarak, periyodik ve uzunlamasına iş sağlığı gözetimi, sağlık çalışanlarında klinik açıdan önemli sağlık sorunlarının erken fark edilmesine ve uygun uzmanlık alanlarına zamanında yönlendirilmesine katkı sağlayabilir. Radyasyona maruz kalan çalışanlarda gözetim kapsamında elde edilen bulguların, zaman içerisindeki değişimler ve bireyin genel klinik özellikleri ile birlikte değerlendirilmesi önemlidir. Bununla birlikte, iş sağlığı gözetimi sırasında bir hastalığın saptanması, tek başına hastalığın mesleki maruziyete bağlı olduğunu göstermemektedir. Bu nedenle, klinik bulguların saptanması ile bunların mesleki nedene atfedilmesi arasındaki ayrımın titizlikle korunması, iş sağlığı gözetiminin doğru ve bilimsel biçimde yürütülmesi açısından temel bir gerekliliktir.

KAYNAKLAR

1. Lele DV. OCcupational Health Surveillance. *Indian J Occup Environ Med*. 2018;22(3):117-120. doi:10.4103/ijoem.IJOEM_251_18

2. Republic of Türkiye. Occupational Health and Safety Law No. 6331 (Article 15 – Health Surveillance). Official Gazette No. 28339, 30 June 2012.

3. López PO, Dauer LT, Loose R, Martin CJ, Miller DL, Vañó E, Doruff M, Padovani R, Massera G, Yoder C; Authors on Behalf of ICRP. ICRP Publication 139: Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures. Ann ICRP. 2018 Mar;47(2):1-118. doi: 10.1177/0146645317750356.

4. Miller DL, Vano E, Balter S, Kitahara CM, Wunderle KA, Reimer P, Fisher RF, Jones AK, Schueler BA, Paulo G, Efstathopoulos E, Bartal G. Occupational Protection in Interventional Radiology. A Joint Guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. Cardiovasc Intervent Radiol. 2026 Apr;49(4):716-733. doi: 10.1007/s00270-025-04195-4. Epub 2026 Feb 12. PMID: 41677810; PMCID: PMC13021820.

5. Gagnier JJ, Kienle G, Altman DG, Moher D, Sox H, Riley D; CARE Group. The CARE guidelines: consensus-based clinical case reporting guideline development. J Med Case Rep 2013;7:223.

6. Andreadi A, Andreadi S, Cerilli M, Todaro F, Lazzaroni M, Lodeserto P, Meloni M, Ferrari C, Bellia A, Coppeta L, Magrini A, Lauro D. Occupational Radiation Exposure and Thyroid Nodules in Healthcare Workers: A Review. Int J Mol Sci. 2025 Jul 7;26(13):6522. doi: 10.3390/ijms26136522. PMID: 40650298; PMCID: PMC12249579.

7. Lee WJ, Bang YJ, Cha ES, Kim YM, Cho SB. Lifetime cancer risks from occupational radiation exposure among workers at interventional radiology departments. Int Arch Occup Environ Health. 2021 Jan;94(1):139-145. doi: 10.1007/s00420-020-01569-8. Epub 2020 Sep 7. PMID: 32894336.

8. Qu H, He C, Xu H, Ren X, Sun X, Xu Y. Occupational radiation exposure and risk of thyroid cancer: A meta-analysis of cohort studies. Oncol Lett. 2024 Jul 15;28(3):437. doi: 10.3892/ol.2024.14570. PMID: 39081964; PMCID: PMC11287109.

İŞİTME KAYIPLI ÇOCUKLARDA ALGILANAN STRES, RUHSAL UYUM VE EBEVEYN ÖZ YETERLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Dr. Öğr. Üyesi Rahmiye Nur AKTAN YILMAZ
İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Odyoloji Bölümü
ORCID: 0000-0002-4900-7401

Dr. Öğr. Üyesi Ali KARAAĞAÇ
İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Podoloji Programı
ORCID: 0000-0002-4327-7347

Öğr. Gör. Başak GÖKSEL KARAAĞAÇ
İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Radyoterapi Programı
ORCID: 0000-0001-7829-0210

ÖZET

İşitme kaybı, çocukların iletişim becerilerinin yanı sıra psikososyal gelişimlerini ve aile dinamiklerini de etkileyebilen çok boyutlu bir sağlık sorunudur. Çocuğun ruhsal uyumu ile ebeveynlerin çocuklarının gelişim sürecini yönetmeye ilişkin öz yeterlik algıları arasındaki ilişkinin belirlenmesi, aile merkezli odyolojik rehabilitasyon yaklaşımlarının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu araştırmada, işitme kayıplı çocuklarda algılanan stres, ruhsal uyum ve ebeveyn öz yeterliği arasındaki ilişkilerin incelenmesi amaçlanmıştır. Kesitsel olarak planlanan çalışmaya İstanbul'da bulunan iki özel eğitim ve rehabilitasyon merkezinde eğitim alan 7–11 yaş aralığındaki işitme kayıplı çocuklar ile ebeveynleri dahil edilmiştir. Araştırma verileri Sosyodemografik Bilgi Formu, Algılanan Stres Ölçeği, Hacettepe Ruhsal Uyum Ölçeği ve Ebeveyn Öz Yeterlik Ölçeği kullanılarak toplanmış, analizlerde tanımlayıcı istatistiklerin yanı sıra grup karşılaştırmaları ve korelasyon analizlerinden yararlanılmıştır. Bulgular, çocukların algılanan stres ve ruhsal uyum düzeylerinin bazı sosyodemografik değişkenlerden bağımsız olduğunu, buna karşın aylık gelir düzeyi, eğitim süresi ve kardeş sayısının belirli ölçek puanları üzerinde anlamlı etkileri bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca ebeveyn öz yeterliği arttıkça çocuklarda gözlenen nevrotik ve davranışsal sorunların azaldığı, eğitim süresinin uzamasıyla algılanan stres düzeylerinin düştüğü belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, işitme kayıplı çocukların psikososyal değerlendirilmesinde yalnızca çocuğun bireysel özelliklerinin değil, aileye ilişkin değişkenlerin de dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Aile merkezli destek programlarının güçlendirilmesi, hem çocukların psikolojik uyumlarının desteklenmesine hem de rehabilitasyon sürecinin etkinliğinin artırılmasına katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: İşitme kaybı, algılanan stres, ruhsal uyum, ebeveyn öz yeterliği, odyolojik rehabilitasyon.

RELATIONSHIPS BETWEEN PERCEIVED STRESS, PSYCHOLOGICAL ADJUSTMENT, AND PARENTAL SELF-EFFICACY IN CHILDREN WITH HEARING LOSS

ABSTRACT

Hearing loss is a multidimensional condition that influences not only children's communication abilities but also their psychosocial development and family functioning. Understanding the relationship between children's psychological adjustment and parents' perceptions of self-efficacy is essential for strengthening family-centred audiological rehabilitation. This study aimed to investigate the relationships among perceived stress, psychological adjustment, and parental self-efficacy in children with hearing loss. This cross-sectional study included children aged 7–11 years with hearing loss and their parents who were receiving educational support at two special education and rehabilitation centres in Istanbul. Data were collected using the Sociodemographic Information Form, the Perceived Stress Scale, the Hacettepe Psychological Adjustment Scale, and the Parental Self-Efficacy Scale. Descriptive statistics, comparative analyses, and correlation analyses were performed to evaluate the findings. The results indicated that perceived stress and psychological adjustment did not differ significantly according to several sociodemographic variables; however, monthly household income, duration of education, and number of siblings were associated with significant differences in selected scale scores. Higher parental self-efficacy was associated with lower levels of neurotic and behavioural problems in children, whereas longer educational duration was related to reduced perceived stress. These findings highlight the importance of considering family-related factors alongside individual child characteristics during psychosocial assessment. Integrating family-centred support strategies into audiological rehabilitation programmes may contribute to improved psychological well-being and more effective long-term rehabilitation outcomes for children with hearing loss.

Keywords: Hearing loss, perceived stress, psychological adjustment, parental self-efficacy, audiological rehabilitation.

KOKLEAR İMPLANTLI ÇOCUKLARDA VESTİBÜLER SEMPTOMLAR VE KLİNİK DENGE PERFORMANSI: KARŞILAŞTIRMALI BİR ARAŞTIRMA

Dr. Öğr. Üyesi Ali KARAAĞAÇ
İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Podoloji Programı
ORCID: 0000-0002-4327-7347

Dr. Öğr. Üyesi Rahmiye Nur AKTAN YILMAZ
İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Odyoloji Bölümü
ORCID: 0000-0002-4900-7401

Öğr. Gör. Başak GÖKSEL KARAAĞAÇ
İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Radyoterapi Programı
ORCID: 0000-0001-7829-0210

ÖZET
Koklear implant uygulaması, ileri ve çok ileri derecede sensörinöral işitme kaybı bulunan çocuklarda işitsel rehabilitasyonun en etkili yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, implantasyonun vestibüler sistem üzerindeki olası etkileri son yıllarda giderek daha fazla araştırılmaktadır. Bu çalışma, koklear implant kullanan çocuklarda vestibüler semptomların ve klinik denge performansının normal işiten akranlarıyla karşılaştırılmasını ve vestibüler semptomlarla denge performansı arasındaki ilişkinin değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Karşılaştırmalı kesitsel araştırmaya 7–17 yaş aralığında toplam 100 çocuk dahil edilmiştir. Çalışma grubunu tek taraflı koklear implant kullanan 50 çocuk, kontrol grubunu ise normal işiten 50 çocuk oluşturmuştur. Vestibüler semptomlar Pediatrik Vestibüler Semptom Ölçeği ile, klinik denge performansı ise Fukuda Adımlama Testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Veriler uygun parametrik ve parametrik olmayan istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiş, anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir. Analizler sonucunda koklear implant kullanan çocukların vestibüler semptom puanlarının kontrol grubuna göre anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Fukuda Adımlama Testi'nde yer değiştirme mesafesi, açı değişikliği ve dönüş yönü açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Bulgular, koklear implant kullanan çocuklarda vestibüler fonksiyonların yalnızca öznel semptomlarla değil, fonksiyonel denge performansıyla da ilişkili olabileceğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, koklear implantlı çocukların izlem süreçlerinde işitsel değerlendirmelerin yanında vestibüler değerlendirmelerin de rutin klinik uygulamalara dahil edilmesinin erken dönemde olası denge problemlerinin belirlenmesine katkı sağlayabileceğini düşündürmektedir.
Anahtar Kelimeler: Koklear implant, vestibüler semptom, denge, Pediatrik Vestibüler Semptom Ölçeği, Fukuda Adımlama Testi.

VESTIBULAR SYMPTOMS AND CLINICAL BALANCE PERFORMANCE IN CHILDREN WITH COCHLEAR IMPLANTS: A COMPARATIVE STUDY

ABSTRACT

Cochlear implantation is regarded as one of the most effective rehabilitation strategies for children with severe to profound sensorineural hearing loss. However, increasing attention has been directed toward its potential influence on vestibular function. This study aimed to compare vestibular symptoms and clinical balance performance between children using cochlear implants and their normal-hearing peers, and to evaluate the relationship between vestibular symptoms and functional balance outcomes. A comparative cross-sectional design was employed, including 100 children aged 7–17 years. The study group consisted of 50 unilateral cochlear implant users, while 50 age-matched normal-hearing children served as the control group. Vestibular symptoms were assessed using the Pediatric Vestibular Symptom Questionnaire, and clinical balance performance was evaluated with the Fukuda Stepping Test. Statistical analyses were performed using appropriate parametric and non-parametric methods, with statistical significance set at $p<0.05$. Children with cochlear implants demonstrated significantly higher vestibular symptom scores than their normal-hearing peers. In addition, significant differences were observed between the groups regarding displacement distance, rotation angle, and turning direction in the Fukuda Stepping Test. These findings indicate that vestibular involvement in children with cochlear implants may be reflected not only in subjective symptom reports but also in functional balance performance. Incorporating vestibular assessment into routine audiological follow-up may facilitate earlier identification of balance-related problems and contribute to a more comprehensive rehabilitation approach in pediatric cochlear implant users.

Keywords: Cochlear implant, vestibular symptoms, balance, Pediatric Vestibular Symptom Questionnaire, Fukuda Stepping Test.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

OTİZM SPEKTRUM BOZUKLUĞU OLAN ÇOCUKLARDA PROBLEM DAVRANIŞLARIN AZALTILMASINDA İZLERLİK SÖZLEŞMELERİ

Dr. Öğr. Üyesi Beyhan Özge YERSEL
Başkent Üniversitesi Sosyal Bilimler MYO Çocuk Gelişimi Programı
ORCID: 0000-0003-4736-1391

ÖZET
Otizm Spektrum Bozukluğu (OSB), sosyal iletişim ve sosyal etkileşim alanlarında kalıcı yetersizlikler ile sınırlı ve yineleyici davranış, ilgi veya etkinlik örüntüleriyle karakterize nörogelişimsel bir bozukluktur. OSB'nin bireyin sosyal ilişkileri, iletişim becerileri, ilgi ve davranışları üzerindeki etkileri, bazı durumlarda problem davranışların ortaya çıkmasına yol açabilmektedir. OSB olan çocuklarda problem davranışların ortaya çıkmasında iletişim becerilerindeki yetersizlikler, duyusal hassasiyetler, bireyin gelişim düzeyine uygun olmayan beklentiler ve çevresel pekiştireçler gibi çeşitli faktörler rol oynayabilmektedir. Problem davranışlar; bireyin öğrenmesini engelleyen, sosyal ilişkilerini olumsuz yönde etkileyen, bireyin kendisine ya da çevresine fiziksel veya sosyal açıdan zarar verebilen ve süreklilik gösteren davranışlar olarak tanımlanabilir. Problem davranışlar, OSB olan çocukların öğrenme süreçlerini ve sosyal katılımlarını sınırlandırmaktadır. Bu davranışlar, ayrıca aileleri, öğretmenleri ve çocuğun çevresindeki diğer kişiler açısından da çeşitli güçlüklere neden olabilmektedir. Bu nedenle problem davranışların azaltılması ve uygun davranışların artırılmasına yönelik etkili uygulamalardan yararlanılması son derece önemlidir. Bu davranışların azaltılmasında kullanılabilecek uygulamalardan biri izlerlik sözleşmesidir. İzlerlik sözleşmesi; ev, okul ve benzeri ortamlarda birey ile anne-baba, öğretmen, akran veya başka bir kişi arasında hedef davranışlara ve bu davranışların sonuçlarına ilişkin belirlenen koşulların kabul edildiği yazılı veya sözlü bir anlaşmadır. İzlerlik sözleşmeleri, çocuğun bireysel özelliklerine uygun kuralların ve sonuçların belirlenmesine, çocuğun sürece aktif katılımına ve uygun davranışların sistematik olarak pekiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, OSB olan çocuklarda problem davranışların azaltılmasında izlerlik sözleşmelerinin kullanımını alanyazın doğrultusunda incelemektir.
Anahtar kelimeler: Otizm spektrum bozukluğu, problem davranışlar, izlerlik sözleşmeleri

CONTINGENCY CONTRACTS FOR REDUCING PROBLEM BEHAVIORS IN CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER

ABSTRACT
Autism spectrum disorder (ASD) is a neurodevelopmental disorder characterized by persistent deficits in social communication and social interaction, as well as restricted and repetitive patterns of behavior, interests, or activities. The effects of ASD on individuals' social relationships, communication skills, interests, and behaviors may, in some cases, contribute to the emergence of problem behaviors. Various factors may contribute to the occurrence of problem behaviors in children with ASD, including communication deficits, sensory sensitivities, developmentally inappropriate expectations, and environmental contingencies. Problem behaviors can be defined as persistent behaviors that interfere with an individual's learning, negatively affect social relationships, or cause physical or social harm to the individual or others. Such behaviors may limit the learning opportunities and social participation of children with ASD and may also pose various challenges for families, teachers, and others in the child's environment.

Therefore, the use of effective practices to reduce problem behaviors and increase appropriate behaviors is of considerable importance. One practice that can be used to reduce problem behaviors is contingency contracting. A contingency contract is a written or verbal agreement between an individual and a parent, teacher, peer, or another person in home, school, or similar settings that specifies target behaviors and the consequences contingent upon their occurrence. Contingency contracts allow rules and consequences to be tailored to the child's individual characteristics, promote the child's active participation in the process, and facilitate the systematic reinforcement of appropriate behaviors. The purpose of this study is to examine the use of contingency contracts for reducing problem behaviors in children with ASD based on the relevant literature.
Keywords: Autism spectrum disorder, problem behaviors, contingency contracts.

GİRİŞ

Otizm spektrum bozukluğu (OSB), erken gelişim döneminde belirti vermeye başlayan, sosyal iletişim ve sosyal etkileşimde süreğen güçlükler ile sınırlı ve tekrarlayıcı davranış, ilgi veya etkinlik örüntüleriyle karakterize nörogelişimsel bir bozukluk olarak ifade edilmektedir (American Psychiatric Association [APA], 2022). Son yıllarda yürütülen epidemiyolojik çalışmalar, otizm spektrum bozukluğunun bildirilen yaygınlığında artış olduğunu göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde yürütülen güncel izleme çalışmalarında, 2022 yılında sekiz yaşındaki çocuklar arasında OSB yaygınlığının yaklaşık 31 çocukta 1 (%3,2) olduğu bildirilmiştir (Shaw et al., 2025). Türkiye'de ise OSB'nin yaygınlığına ilişkin ulusal düzeyde güncel ve kapsamlı epidemiyolojik veriler sınırlıdır (Kaya, 2026). Yaygınlığın artması nedeniyle bu gruptaki bireylerin gelişimsel özelliklerinin ve destek gereksinimlerinin ele alınması son derece önemlidir.

OSB olan çocuklarda erken dönemde gelişimsel olarak bazı farklılıklar görülmektedir (APA, 2022). Bununla birlikte OSB olan çocuklarda günlük yaşamlarını olumsuz etkileyebilecek problem davranışlar da görülebilmektedir (Ergün ve Öncül, 2025). Problem davranışlar; bireyin kendisinin ya da diğer bireylerin öğrenme süreçlerini engelleyen, sosyal ilişki ve etkileşimleri olumsuz etkileyen ve bireyin kendisine ya da çevresindeki kişilere zarar verebilen davranışlar olarak tanımlanmaktadır (Erbaş, Kırcaali-İftar ve Tekin-İftar, 2011). Matson ve diğerleri (2010, 2011) ile Minshawi ve diğerlerinin (2014) çalışmalarında, OSB olan öğrencilerde saldırganlık, kendine zarar verme, öfke nöbetleri, stereotipik davranışlar ve sosyal uyum güçlükleri gibi problem davranışların görülebildiği bildirilmektedir (akt. Kaya, 2026). Problem davranışların ortaya çıkmasında, bireyin bulunduğu ortamda itici uyaranların varlığı ve yetişkin tarafından sunulan ilginin sınırlı olması gibi çevresel etmenlerin rol oynayabileceği belirtilmektedir (Yıldırım ve Kılıç, 2024). Chezan vd. (2023), OSB tanısı alan çocuklarda problem davranışların, tipik gelişim gösteren ya da farklı yetersizlik gruplarındaki akranlarına kıyasla daha sık görülebildiğini belirtmiştir. Problem davranışların süreklilik göstermesi, OSB olan bireyin yaşam kalitesinin yanı sıra aile üyeleri, öğretmenleri ve akranlarının iyi oluşunu da olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Kaya, 2026). Bununla birlikte, problem davranışlar bireyin eğitim ortamlarından uzaklaşmasına, sosyal ilişkilerinin sınırlanmasına ve toplumsal yaşama katılımının güçleşmesine yol açabilmektedir (Güder vd., 2018). Bu nedenle problem davranışların azaltılması, bireyin sosyal uyumunun ve akademik süreçlere katılımının desteklenmesi ve yaşam kalitesinin artırılması açısından önem taşımaktadır (Başkonuş, 2024).

Otizm Spektrum Bozukluğunda Problem Davranışların Azaltılmasına Yönelik Uygulamalar

OSB'li çocukların problem davranışlarının azaltılması ve var olan becerilerin desteklenebilmesi için sistemli ve düzenli bir biçimde desteklenmeleri gerekmektedir (Cihan, 2016). Problem davranışların azaltılması ve uygun davranışların artırılmasında farklı davranış yönetimi uygulamalarından yararlanılabilmektedir. Erken çocukluk döneminde olumlu davranışsal destek kapsamında kullanılabilecek ılımlı ve kanıt temelli uygulamalar arasında davranış sözleşmesi ve dönüştürülebilir sembol pekiştirme sistemi gibi uygulamalar yer almakta; bu uygulamaların hem okul hem de ev ortamlarında kullanılabileceği belirtilmektedir (Uğurlu-Akbay, 2023). Bu uygulamalardan biri olan ve izlerlik sözleşmesi olarak da adlandırılan davranış sözleşmeleri, bu çalışmanın odağını oluşturmaktadır.

İzlerlik Sözleşmeleri

İzlerlik sözleşmesi; ev, okul ve benzeri ortamlarda birey ile anne-baba, öğretmen, akran ya da başka bir kişi arasında hedef davranışların ve bu davranışların sonuçlarının önceden belirlenen koşullar doğrultusunda düzenlendiği yazılı veya sözlü bir anlaşma olarak tanımlanmaktadır (Besler, 2014). Besler (2014), izlerlik sözleşmesinin temel bileşenlerini davranış, koşul, ölçüt ve pekiştireçler olarak ifade etmektedir. İzlerlik sözleşmeleri, sözleşmenin taraflarına karşılıklı sorumluluk yüklemektedir. Sözleşmede çocuk tarafından gerçekleştirilmesi beklenen davranış ile bu davranışın gerçekleştirilmesi durumunda anne-baba, öğretmen ya da akran tarafından sunulacak sonuç önceden belirlenmektedir. Çocuğun sözleşmede belirtilen davranışı yerine getirmesinin ardından, diğer taraf önceden kararlaştırılan sonucu sunarak kendi sorumluluğunu yerine getirmektedir (Cihan, 2016).

İzlerlik sözleşmesi uygulanmasında belli basamakların takip edilmesi gerekmektedir. Uğurlu-Akbay'a (2023) göre izlerlik sözleşmesinin uygulanmasında izlenen basamaklar şu şekilde sıralanabilir:

1. Değiştirilmesi hedeflenen davranış gözlenebilir ve ölçülebilir biçimde tanımlanır.
2. Uygun davranışın ardından sunulacak etkili pekiştireçler belirlenir.
3. Hedef davranışa ilişkin başlama düzeyi verisi toplanır.
4. Çocuk ve uygulayıcının katılımıyla sözleşmenin içeriği, kuralları ve davranışların sonuçları belirlenir.
5. Sözleşme uygulanır ve uygun davranışların ardından belirlenen pekiştireçler sunulur.
6. Hedef davranış için belirlenen ölçüte ulaşılıp ulaşılmadığı değerlendirilir.

İzlerlik sözleşmeleri uygun davranışların artırılması ve uygun olmayan davranışların azaltılmasına yönelik kullanılabileceği gibi sosyal becerilerin kazandırılması, akademik becerilerin geliştirilmesi gibi durumlarda da kullanılabilir (Besler, 2014; Simonsen vd., 2008; Uğurlu-Akbay, 2023). İzlerlik sözleşmeleri, problem davranışların azaltılmasının yanı sıra sosyal ve akademik davranışların kazandırılması ve sürdürülmesinde kullanılabilmekte; bireysel uygulamaların yanında grup düzeyinde de uygulanabilmektedir (Besler, 2014).

OSB Olan Çocuklarda İzlerlik Sözleşmelerinin Kullanımı

OSB olan çocuklarda izlerlik sözleşmeleri, öz yönetim becerilerinin desteklenmesinde yararlanılabilecek uygulamalardan biri olarak değerlendirilmektedir (Mruzek vd., 2007). Alanyazında OSB olan çocuklarda izlerlik sözleşmelerinin kullanımını doğrudan ele alan ve farklı hedef davranışlara yönelik uygulama örnekleri sunan çalışmalar incelendiğinde, izlerlik sözleşmelerinin farklı amaçlarla kullanılabildiği görülmektedir. Bu bölümde, ulusal ve uluslararası alanyazındaki bazı araştırma bulgularına yer verilmiştir.

Mruzek vd. (2007), ilkokul ortamında davranış kurallarına uyumu artırmak amacıyla OSB tanısı olan 10 yaşındaki bir çocuk ile DEHB ve olası Asperger sendromu tanısı olan 9 yaşındaki bir çocukla izlerlik sözleşmesi uygulamıştır. Müdahale öncesinde çocuklarda öfke nöbetleri, uygun olmayan seslendirmeler ve fiziksel saldırganlık gibi problem davranışların görüldüğü ifade edilmiştir. Çocuklarla iş birliği içinde hazırlanan sözleşmeler süreç içerisinde gereksinimlere göre yeniden düzenlenmiş ve ilerleyen aşamalarda öz izleme uygulamaya dâhil edilmiştir. Araştırma sonucunda izlerlik sözleşmelerinin her iki katılımcının da davranış kurallarına uyumunu artırmada etkili olduğu görülmüştür (Mruzek vd., 2007).

Hawkins vd. (2011), OSB olan dört erkek çocukla gerçekleştirdikleri çalışmada izlerlik sözleşmelerinin problem davranışlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada saldırganlık, yerinden kalkma, uygun olmayan fiziksel temas ve yüksek sesli vokalizasyon gibi problem davranışların azaltılması ile uygun davranışların artırılması amaçlanmıştır. Araştırma sonunda ev ve okul ortamlarında uygulanan izlerlik sözleşmelerinin hedef davranışlarda olumlu değişiklikler sağladığı belirlenmiştir.

OSB olan çocuklarla gerçekleştirilen bir başka çalışma Alwahbi ve Hua (2021) tarafından yürütülmüştür. Alwahbi ve Hua (2021), OSB olan üç çocuk ve tipik gelişim gösteren altı akranla sosyal etkileşim becerilerini geliştirmek amacıyla akran eğitimi ve izlerlik sözleşmesinden yararlanmıştır. Çalışma sonucunda akran eğitiminin tek başına sosyal etkileşim üzerinde yeterli değişiklik oluşturmadığı, izlerlik sözleşmesinin eklenmesiyle birlikte sosyal etkileşimlerin arttığı belirlenmiştir.

Chagolla ve Penrod (2022), OSB olan bir kız ergenle gerçekleştirdikleri çalışmada porsiyon kontrolünü hedeflemiştir. Araştırmada besin günlüğü, kısa süreli besin seçimi eğitimi ve izlerlik sözleşmesinden oluşan bir müdahalenin etkililiği değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda uygulanan müdahalenin tüketilen porsiyonların yönetiminde etkili olduğu ve elde edilen sonuçların genelleme oturumlarında da korunduğu belirlenmiştir.

Türkiye'de ise Ceyhun ve Kaya (2026), dijital izlerlik sözleşmelerinin etkililiğini yedi-sekiz yaşlarındaki OSB olan üç çocuk üzerinde değerlendirmiştir. Araştırmacılar öğretim sırasında oturma ve göreve katılım davranışlarını artırmayı hedeflemiş ve bu amaç doğrultusunda dijital izlerlik sözleşmelerinden yararlanmıştır. Araştırma sonucunda çalışmaya katılan üç çocuğun da hedef davranışları edindiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, elde edilen performansın iki, dört ve altıncı haftalarda da korunduğu görülmüştür.

Bu araştırmalardan hareketle, izlerlik sözleşmelerinin OSB olan çocuklarda problem davranışların azaltılmasının yanı sıra uygun davranışların, sosyal etkileşimin ve öz yönetim becerilerinin desteklenmesinde kullanılabildiği görülmektedir. Araştırmalarda farklı hedef davranışların ele alınması, izlerlik sözleşmelerinin bireysel ihtiyaçlara göre uyarlanabildiğini göstermektedir. Ayrıca, az sayıda katılımcıyla yürütülen çalışmalarda izlerlik sözleşmesinin, müdahale programlarına ek olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu nedenle OSB olan çocuklardaki etkililiğinin farklı hedef davranışlar ve katılımcı özellikleri açısından incelendiği yeni araştırmalara gereksinim bulunmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

İzlerlik sözleşmeleri, hedef davranışların ve bu davranışların ardından ortaya çıkacak sonuçların önceden açık biçimde belirlenmesine olanak sağlayan uygulamalardır. Sözleşmenin taraflar arasında karşılıklı etkileşimi gerektirmesi, uygulama sürecinde iş birliğini destekleyebilmektedir (Besler, 2014). İzlerlik sözleşmeleri hem bağımsız bir uygulama olarak hem de müdahale programlarına ek olarak kullanılabilmektedir (Bowman-Perrott vd., 2015). Ebeveynler, öğretmenler ve psikologlar gibi farklı kişiler tarafından uygulanabilmesi ve yazılı ya da sözlü olarak hazırlanabilmesi de uygulama açısından kolaylık sağlamaktadır (Cooper vd., 2019; Bowman-Perrott vd., 2015).

Bu bilgilerden hareketle, sonraki araştırmalar için şu önerilerde bulunulabilir:

- İzlerlik sözleşmelerinin farklı yaş gruplarındaki OSB olan çocuklar üzerindeki etkileri incelenebilir.
- İzlerlik sözleşmelerinin farklı hedef davranışlar üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- İzlerlik sözleşmelerinin tek başına kullanıldığı araştırmaların sayısı artırılabilir.
- İzlerlik sözleşmelerinin etkililiğinin yanı sıra kalıcılık ve genelleme üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmalar yürütülebilir.

KAYNAKLAR

Alwahbi, A., & Hua, Y. (2021). Using contingency contracting to promote social interactions among students with ASD and their peers. *Behavior Modification, 45*(5), 671–694. https://doi.org/10.1177/0145445520901674

American Psychiatric Association. (2022). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed., text rev.; DSM-5-TR). American Psychiatric Association Publishing. https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425787

Başkonuş, T. (2024). Problem davranışların azaltılmasında işlevsel iletişim öğretiminin önemi. *ASES Ulusal Sosyal Bilimler Dergisi, 4*(2), 243–253. https://doi.org/10.5281/zenodo.14576766

Besler, F. (2014). İzlerlik sözleşmesi. E. Tekin-İftar (Ed.), *Uygulamalı davranış analizi* içinde (ss. 392–410). Vize Yayıncılık.

Bowman-Perrott, L., Burke, M. D., de Marin, S., Zhang, N., & Davis, H. (2015). A meta-analysis of single-case research on behavior contracts: Effects on behavioral and academic outcomes among children and youth. *Behavior Modification, 39*(2), 247–269. https://doi.org/10.1177/0145445514551383

Ceyhun, A. T., & Kaya, S. S. (2026). The effectiveness of a digital behavior contract on children with autism spectrum disorder: A multiple probe single-subject design study. *International Journal of Developmental Disabilities, 72*(5), 1146–1160. https://doi.org/10.1080/20473869.2026.2619833

Chagolla, G. A., & Penrod, B. (2022). Decreasing number of food portions consumed by an adolescent female with autism. *Behavior Analysis in Practice, 15*(1), 318–323. https://doi.org/10.1007/s40617-021-00647-8

Chezan, L. C., Liu, J., Gao, R., & Drasgow, E. (2023). *Investigating the quality of life for children with autism spectrum disorder scale using Rasch methodology. Autism Research, 16*(11), 2172–2183. https://doi.org/10.1002/aur.3016

Cihan, H. (2016). *Otizm spektrum bozukluğu tanılı öğrencilerin stereotip davranışlarına ilişkin öğretmen deneyimleri* (Tez No. 438267) [Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Cooper, J. O., Heron, T. E., & Heward, W. L. (2019). *Applied behavior analysis* (3rd ed.). Pearson.

Erbaş, D., Kırcaali-İftar, G., & Tekin-İftar, E. (2011). *İşlevsel değerlendirme: Davranış sorunlarıyla başa çıkma ve uygun davranışlar kazandırma süreci* (5. bs.). Kök Yayıncılık.

Ergün, B. N., & Öncül, N. (2025). Otizm spektrum bozukluğu tanısı olan çocukların sergiledikleri problem davranışların gelişim alanları üzerindeki etkilerine ilişkin anne görüşleri. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 27*(4), 519–538. https://doi.org/10.17556/erziefd.1673013

Güder, S. Y., Alabay, E., & Güner, E. (2018). Okul öncesi öğretmenlerinin sınıflarında karşılaştıkları davranış problemleri ve kullandıkları stratejiler. *İlköğretim Online, 17*(1), 414–430. https://doi.org/10.17051/ilkonline.2018.413792

Hawkins, E., Kingsdorf, S., Charnock, J., Szabo, M., Middleton, E., Phillips, J., & Gautreaux, G. (2011). Using behaviour contracts to decrease antisocial behaviour in four boys with an autistic spectrum disorder at home and at school. *British Journal of Special Education, 38*(4), 201–208. https://doi.org/10.1111/j.1467-8578.2011.00518.x

Kaya, F. (2026). Özel eğitim öğretmenlerinin otizm spektrum bozukluğu olan öğrencilerin problem davranışlarına ilişkin görüşleri: Nitel bir inceleme. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22*(2), 369–386. https://doi.org/10.17860/mersinefd.1867026

Mruzek, D. W., Cohen, W., & Smith, T. (2007). Contingency contracting with students with autism spectrum disorders in a public school setting. *Journal of Developmental and Physical Disabilities, 19*, 103–114. https://doi.org/10.1007/s10882-007-9036-x

Shaw, K. A., Williams, S., Patrick, M. E., Valencia-Prado, M., Durkin, M. S., Howerton, E. M., Ladd-Acosta, C. M., Pas, E. T., Bakian, A. V., Bartholomew, P., Daida, Y. G., DiRienzo, M., Fitzgerald, R. T., Hudson, A. E., James, S., Lee, L.-C., McArthur, D., Sidwell, K., Wiggins, L. D., ... Maenner, M. J. (2025). Prevalence and early identification of autism spectrum disorder among children aged 4 and 8 years—Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 16 sites, United States, 2022. *MMWR Surveillance Summaries, 74*(2), 1–22. https://doi.org/10.15585/mmwr.ss7402a1

Simonsen, B., Fairbanks, S., Briesch, A., Myers, D., & Sugai, G. (2008). Evidence-based practices in classroom management: Considerations for research to practice. *Education and Treatment of Children, 31*(3), 351–380.

Uğurlu Akbay, H. E. (2023). Erken çocukluk döneminde duygusal davranışsal bozukluklar: Özel eğitim bağlamında tanım, sorunlar ve davranışsal desteğe yönelik etkili uygulamalar. *Buca Eğitim Fakültesi Dergisi, 58*, 3028–3055. https://doi.org/10.53444/deubefd.1344422

Yıldırım, H. H., & Kılıç, Y. (2024). Kaynaştırma/bütünleştirme uygulamaları yapılan ilkokul sınıflarındaki özel gereksinimli öğrencilerin problem davranışlarına müdahalede iş birliğine yönelik öğretmen görüşleri. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi, 13*(1), 66–76. https://doi.org/10.33206/mjss.1279220.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

SAĞLIK KURUMLARINDA DEĞİŞİM YÖNETİMİ MODELLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ: LEWIN VE KOTTER MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI VAKA SENARYOSU ANALİZİ

Hayat BUCAK
Mersin Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0005-5660-2574

Öğr. Gör. Müge BÖLÜKKAYA
Mersin Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü
ORCID: 0000-0003-0920-917X

Prof. Dr. Sabahattin TEKİNGÜNDÜZ
Mersin Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı
ORCID: 0000-0002-2528-9029

ÖZET
Bu çalışma, Türkiye'deki sağlık kurumlarında örgütsel değişim ve gelişim süreçlerini hem kuramsal temelleriyle hem de uygulamalı vaka boyutlarıyla ayrıntılı şekilde ele almayı amaçlamaktadır. Sağlık sektörü; sıfır hata toleransı, dinamik yapısı ve çok paydaşlı yapısı gereği çevre koşullarına uyum sağlamak için sürekli bir dönüşüm baskısı altındadır. Çalışmada, literatürde yaygın olarak kabul gören Kurt Lewin'in üç aşamalı değişim modeli ile John Kotter'in sekiz aşamalı değişim süreci modeli karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Araştırma kapsamında, akademik etik kuralları en üst düzeyde korumak amacıyla gerçek saha verileri yerine kurgusal senaryolara dayalı bir düşünsel deney ve senaryo analizi yöntemi benimsenmiştir. Bu bağlamda, Lewin modelinin uygulandığı 'Umut Tıp Merkezi' vaka senaryosunda hasta güvenliği kültürü ele alınmış ve süreç sonunda olay bildirimlerinde %40 artış, tıbbi hatalarda ise %18 azalma elde edildiği öngörülmüştür. Kotter modelinin uygulandığı 'Hayat Hastanesi' vaka senaryosunda ise 'Bebek Dostu Hastane' unvanının korunması hedeflenmiş ve emzirme oranlarının %40'tan %78'e yükseldiği simüle edilmiştir. Karşılaştırmalı analiz bulguları; sağlıkta değişimin başarısında sadece teknolojik yatırımların yeterli olmadığını, sürecin esas başarısında insan odaklı değişim liderliği, çalışan katılımı (Güvenlik ve Emzirme Elçileri), adalet algısı, örgütsel güven ve sürdürülebilirliğin kritik rol oynadığını göstermektedir. Sonuç olarak, sürekli değişimin getirdiği 'değişim yorgunluğu' sendromunu önlemek adına yöneticilerin stabilizasyon dönemleri yaratması, çalışan motivasyonunu desteklemesi ve şeffaf iletişim kanalları kurması stratejik bir zorunluluk olarak önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Örgütsel değişim, sağlık kurumları, liderlik, sürdürülebilirlik.

THE APPLICABILITY OF CHANGE MANAGEMENT MODELS IN HEALTHCARE INSTITUTIONS: A COMPARATIVE CASE SCENARIO ANALYSIS OF LEWIN AND KOTTER MODELS

ABSTRACT
This study aims to examine organizational change and development processes in Turkish healthcare institutions in detail, focusing on both their theoretical foundations and practical case dimensions. Due to its zero error tolerance, dynamic environment, and multi-stakeholder structure, the healthcare sector is under constant pressure to transform in order to adapt to environmental conditions. In this study, Kurt Lewin's three-stage change model and John Kotter's eight-stage change process model, which are widely accepted in the literature, are analyzed comparatively. Within the scope of the research, to maintain academic ethics at the highest level, a thought experiment and scenario analysis method based on hypothetical scenarios was adopted instead of actual field data. In this context, the safety culture was analyzed in the 'Umut Medical Center' case scenario where the Lewin model was applied, predicting a 40% increase in incident reporting and an 18% decrease in medical errors. In the 'Hayat Hospital' scenario where the Kotter model was applied, the goal was to preserve the 'Baby-Friendly Hospital' title, simulating that breastfeeding rates increased from 40% to 78%. Comparative analysis findings indicate that technological investments alone are not sufficient; human-centered change leadership, employee participation (Safety and Breastfeeding Ambassadors), organizational justice, trust, and sustainability play a critical role in successful transformation. Consequently, to prevent 'change fatigue' syndrome caused by continuous changes, creating stabilization periods, supporting employee motivation, and establishing transparent communication channels are recommended as strategic imperatives.
Keywords: Organizational change, healthcare, leadership, sustainability.

1. GİRİŞ
Sağlık sektörü, doğası gereği yüksek karmaşıklık içeren, dinamik ve hata toleransı sıfıra yakın olan en kritik hizmet alanlarından biridir. Teknolojik gelişmeler, demografik dönüşümler, hasta beklentilerinin artması ve küresel sağlık krizleri, sağlık kurumlarını sürekli bir yenilenme ve değişim baskısıyla karşı karşıya bırakmaktadır (Altındiş, 2015; Geldi & Çalışkan, 2021). Türkiye'de özellikle 2003 yılında başlatılan Sağlıkta Dönüşüm Programı (SDP) ile birlikte Kamu Hastaneleri Birliği (KHB) yapılanması, e-Nabız, MHRS, Aile Hekimliği sistemi ve performans tabanlı ödeme modelleri gibi makro düzeydeki kurumsal reformlar, sağlık yöneticilerini ve çalışanlarını radikal dönüşüm süreçlerini yönetmeye zorlamıştır (Akıncı vd., 2012; Gül, 2025).
Sağlık kurumlarında örgütsel değişim, sadece yeni cihazların alınması veya fiziksel mekânların yenilenmesi gibi teknik adımlardan ibaret değildir. Değişimin özü; yönetim felsefesinin, kurumsal kültürün ve en önemlisi insan davranışının dönüştürülmesini gerektirmektedir (Bağış vd., 2015; Erdoğmuş & Sayın, 2022). Ancak tıp ve sağlık disiplinlerinde değişime karşı direnç, örgütsel sinizm ve sürekli dönüşümlerin yarattığı 'değişim yorgunluğu' (change fatigue) sıklıkla karşılaşılan temel engeller olarak öne çıkmaktadır (Bozkurt, 2020; Söyler & Çavmak, 2024). Bu doğrultuda çalışmanın amacı, yönetim literatüründe sıklıkla başvurulan Kurt Lewin'in 3 Aşamalı Değişim Modeli ile John Kotter'in 8 Aşamalı Değişim Süreci Modeli'nin Türkiye sağlık sistemi bağlamında uygulanabilirliğini kurgusal vaka senaryoları üzerinden karşılaştırmalı olarak analiz etmektir.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE VE DEĞİŞİM MODELLERİ

Örgütsel değişim literatüründe değişim modelleri genellikle sıralı aşama modelleri (process models) olarak kurgulanmıştır (Van De Ven & Poole, 1995). Sağlık yönetimi alanında en sık kullanılan iki temel model Kurt Lewin ve John Kotter tarafından geliştirilen yaklaşımlardır (Kotter, 1996; Lewin, 1947).

2.1. Kurt Lewin'in 3 Aşamalı Değişim Modeli

Lewin , örgütsel değişimi birbirini izleyen üç temel evrede tanımlamaktadır (Hussain vd., 2018; Lewin, 1947).

• Çözülme (Unfreezing): Mevcut durumun sürdürülemez olduğunun farkına varılması, mevcut alışkanlıkların ve dirençlerin kırılması aşamasıdır. Sağlık kurumlarında klinik hatalar veya memnuniyetsizlik verileri bu aşamayı tetikler.

• Değişim (Changing/Moving): Yeni davranışların, iş yapış biçimlerinin ve sistemlerin hayata geçirildiği süreçtir. Eğitimler, yeni protokollerin uygulanması ve lider desteği bu safhada kritiktir.

• Yeniden Donma (Refreezing): Gerçekleştirilen yeniliklerin kurumsal kültüre entegre edilmesi, standart hale getirilmesi ve kalıcılaştırılması aşamasıdır (İraz & Efeoğlu, 2023).

2.2. John Kotter'in 8 Aşamalı Değişim Süreci Modeli

Kotter (1996), büyük ölçekli dönüşümlerin başarısızlıkla sonuçlanmasını önlemek adına sekiz adımlı sistematik bir yol haritası sunmaktadır (Kotter, 1996; Pollack & Pollack, 2015):

1. Aciliyet Duygusu Oluşturma: Değişimin kaçınılmazlığını ortaya koyan güçlü bir gerekçe sunulması.
2. Güçlü Bir Rehberlik Koalisyonu Kurma: Multidisipliner ve yetkin bir liderlik ekibinin oluşturulması.
3. Stratejik Vizyon ve Stratejiler Geliştirme: Hedeflenen geleceğin net bir şekilde tanımlanması.
4. Vizyonu Paylaşma ve İletme: Şeffaf iletişim kanallarıyla tüm çalışanlara vizyonun aktarılması.
5. Engelleri Ortadan Kaldırma ve Çalışanları Güçlendirme: Süreç önündeki bürokratik ve davranışsal engellerin kaldırılması.
6. Kısa Vadeli Kazançlar Planlama ve Yaratma: Motivasyonu artırmak adına erken başarıların kutlanması.
7. Kazanımları İlerletme ve Hızı Sürdürme: Elde edilen ivmeyle daha derin reformların yapılması.
8. Yeni Yaklaşımları Kurum Kültüründe Kökleştirme: Değişimin kurumsal kimliğin parçası haline getirilmesi (Kotter, 1996; Pollack & Pollack, 2015).

3. METODOLOJİ: DÜŞÜNSEL DENEY VE SENARYO ANALİZİ

Bu çalışmada, akademik etiği ve bilimsel dürüstlük ilkelerini en üst düzeyde korumak amacıyla sahte saha verisi üretmek yerine 'Düşünsel Deney ve Senaryo Analizi' (Thought Experiment and Scenario Analysis) yöntemi benimsenmiştir. Sağlık kurumlarındaki gerçek operasyonel dinamikleri yansıtmak üzere iki kurgusal vaka senaryosu tasarlanmıştır:

1. Umut Tıp Merkezi Senaryosu: Kurt Lewin'in 3 Aşamalı Modeli entegre edilerek hasta güvenliği kültürünün geliştirilmesi hedeflenmiştir.
2. Hayat Hastanesi Senaryosu: John Kotter'in 8 Aşamalı Modeli entegre edilerek 'Bebek Dostu Hastane' unvanının korunması ve emzirme oranlarının artırılması simüle edilmiştir.

4. UYGULAMALI VAKA SENARYOLARI VE BULGULAR

4.1. Vaka 1: Lewin Modeli ile Hasta Güvenliği Dönüşümü (Umut Tıp Merkezi)

150 yataklı özel bir sağlık kuruluşu olan Umut Tıp Merkezi'nde son bir yılda tıbbi hata raporlarında %25 artış yaşandığı ve çalışanların ceza korkusu nedeniyle olay bildiriminden kaçındığı tespit edilmiştir.

Lewin Aşaması	Uygulanan Stratejik Eylemler	Öngörülen Performans Göstergesi
Çözülme (Unfreezing)	Cezasız bildirim politikası taahhüdü, medikal hata farkındalık seminerleri.	Olay Bildirim Oranı: +%40 Artış
Değişim (Changing)	Mobil olay bildirim yazılımı kurulması, 'Güvenlik Elçileri' seçimi, şeffaf Güvenlik Panosu.	Tıbbi Hata Oranı: -%18 Azalma
Yeniden Donma (Refreezing)	Yılda iki kez güvenlik kültürü anketi, takdir-ödül mekanizması, oryantasyona entegrasyon.	Güvenlik Kültürü Skoru: +%22 İyileşme
Genel Sonuç	Çalışan katılımı ve cezasızlık algısıyla güven kültürü tesis edilmiştir.	Çalışan Memnuniyeti: +%15 İyileşme

4.2. Vaka 2: Kotter Modeli ile Bebek Dostu Hastane Dönüşümü (Hayat Hastanesi)

Hayat Hastanesi Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi emzirme oranlarının %40'ın altına düşmesi üzerine Kotter'in 8 adımlı modeliyle acil dönüşüm başlatılmıştır.

Kotter Aşamaları	Uygulama Adımları	Ölçümlenen / Simüle Edilen Çıktı
1. Aciliyet & 2. Koalisyon	'Anne Sütü Hayattır' eylem planı; Kadın Doğum, Başhemşire ve Çocuk Doktoru Koalisyonu.	Paydaş Hizalanması: %100 Katılım
3. Vizyon & 4. İletişim & 5. Engelleri Kaldırma	İlk 1 saatte emzirme vizyonu; 5 gönüllü 'Emzirme Elçisi' hemşire; vardiya düzenlemesi.	Eğitilen Anne Sayısı: Hastanede doğum yapan tüm kadınlar
6. Kısa Vadeli Kazançlar & 7. Hızı Sürdürme	İlk ayda emzirme başarısının panolarda ilanı; Dahiliye servisine de yaygınlaştırma.	Emzirme Oranı: %40'tan %78'e Yükseliş (öngörü)
8. Kurumsallaştırma	Emzirme rehberinin hastane kalite standartlarına entegre edilmesi.	Bebek Dostu Puanı: 68/100 -> 92/100 (öngörü)

5. KARŞILAŞTIRMALI TARTIŞMA

Lewin ve Kotter modellerinin karşılaştırmalı analizi, sağlık kurumlarında teknik reformların ötesinde insan unsurunun yönetilmesinin şart olduğunu kanıtlamaktadır (Ürek vd., 2019). Lewin modeli, esnek yapısı ve kültürel çözülmeye odaklanması nedeniyle daha küçük ölçekli veya birim bazlı değişimlerde (Umut Tıp Merkezi hasta güvenliği örneğindeki gibi) son derece etkili sonuçlar vermektedir (Hussain vd., 2018). Buna karşın Kotter modeli, aciliyet duygusu ve disiplinli rehberlik koalisyonu adımları sayesinde geniş ölçekli ve kurumsal unvan koruma hedeflerinde (Hayat Hastanesi Bebek Dostu dönüşümü gibi) üstün bir rehberlik sağlamaktadır (Pollack & Pollack, 2015).

Sağlık çalışanlarının değişime gösterdiği direnç (sözlü tepkiler veya pasif direnç), çoğunlukla artan iş yükü, özerklik kaybı endişesi ve örgütsel adalet eksikliğinden kaynaklanmaktadır (Uçar & Köroğlu, 2024). Merkeziyetçi ve emredici yönetim anlayışı çalışanlarda örgütsel sinizme yol açarken; ardı arkası kesilmeyen reformlar ise 'değişim yorgunluğu' (change fatigue) sendromuna neden olmaktadır (Bozkurt, 2020; Söyler & Çavmak, 2024). Sürecin başarısında 'Güvenlik Elçileri' veya 'Emzirme Elçileri' örneklerinde olduğu gibi katılım mekanizmalarının ve değişim liderliğinin devreye sokulması kritik bir rol üstlenmektedir (Atilla & Günal, 2024; Ramezani vd., 2022).

6. SONUÇ VE STRATEJİK ÖNERİLER

Bu çalışma, sağlık yönetiminde teorik modellerin pratiğe dönüştürülmesinde rehberlik edici bir nitelik taşımaktadır. Elde edilen bulgular doğrultusunda sağlık yöneticilerine şu stratejik öneriler sunulmaktadır:

1. Stabilizasyon Dönemleri Yaratılmalıdır: Sürekli değişimin getirdiği 'değişim yorgunluğunu' önlemek adına yöneticiler büyük reformların ardından yeni sistemlerin iyice benimsenmesi için stabilizasyon (yeniden donma) süreleri tanımalıdır (Bayram, 2024; Söyler & Çavmak, 2024).
2. İnsan Odaklı Değişim Liderliği Desteklenmelidir: Değişim yönetimi sadece tepeden inme emredici kararlarla değil; çalışanların sürece dahil edildiği, ödüllendirildiği ve adalet algısının güçlendirildiği liderlik yaklaşımlarıyla yürütülmelidir (Cavaness vd., 2020; Ürek & Uğurluoğlu, 2015).
3. Şeffaf İletişim Kanalları Tesis Edilmelidir: Değişimin gerekçesi, kazanımları ve beklenen sonuçları açık bir şekilde paylaşılmalı, cezasız bildirim kültürleri desteklenmelidir (Ellis vd., 2023).

7. KAYNAKÇA

Akıncı, F., Mollahaliloğlu, S., Gürsöz, H., & Öğücü, F. (2012). Assessment of the Turkish Health Care System Reforms: A Stakeholder Analysis. *Health Policy*, *107*(1), 21-30. https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2012.05.002

Altındiş, M. (2015). Sağlık Hizmetlerinde Değişim Yönetimi. *Sağlık Düşüncesi ve Tıp Kültürü Dergisi*, (34), 68-71.

Atilla, G., & Günal, Ö. (2024). Sağlık Hizmetlerinde Liderlik Ve Yöneticilik. *Süleyman Demirel Üniversitesi İnsan Kaynakları Yönetimi Dergisi*, *3*(1), 57-67.

Bağış, M., Salim, B., Şimşir, İ., & Kırılmaz, H. (2015). Sağlık Yöneticilerinin Değişim Sürecine Bakış Açılarını Belirlemeye Yönelik Bir Araştirma. *International Journal of Management Economics and Business*, *11*(25), 0-0. https://doi.org/10.17130/ijmeb.2015.11.25.876

Bayram, V. (2024). Örgütsel Değişime Açıklığın Yenilikçi Rekabet Yaklaşımına Etkisinde Örgütsel Sürdürülebilirliğin Aracı Rolü. *Akademik Hassasiyetler*, *11*(24), 43-74. https://doi.org/10.58884/akademik-hassasiyetler.1348883

Bozkurt, E. (2020). Sağlık Yöneticilerinde Örgütsel Değişim Sinizmi: Nitel Bir Araştirma. *Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi*, (1), 9-22. https://doi.org/10.35375/sayod.600575

Cavaness, K., Picchioni, A., & Fleshman, J. W. (2020). Linking Emotional Intelligence to Successful Health Care Leadership: The Big Five Model of Personality. *Clinics in Colon and Rectal Surgery*, *33*(04), 195-203. https://doi.org/10.1055/s-0040-1709435

Ellis, L. A., Tran, Y., Pomare, C., Long, J. C., Churruca, K., Saba, M., & Braithwaite, J. (2023). Hospital Organizational Change: The Importance of Teamwork Culture, Communication, and Change Readiness. *Frontiers in Public Health*, *11*, 1089252. https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1089252

Erdoğmuş, N., & Sayın, Z. (2022). Türkiye'de Örgütsel Değişim Ve Örgüt Geliştirme Alanındaki Bilimsel Çalışmalarin Bibliyometrik Analizi. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *13*(Kongre Özel Sayısı), 327-350. https://doi.org/10.36543/kauiibfd.2022.ozelsayi15

Geldi, H., & Çalışkan, A. (2021). Sağlık KurumlarInda Değişim Yönetimi Uygulamalarının Sağlık Çalışanlarının Performansına Etkisi. *Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, *6*(2), 158-170.

Gül, K. (2025). Bir Kamu Politikası Analizi Örneği: Dünden Bugüne Sağlıkta Dönüşüm Programı: Türkiye. *Sağlıkta Performans ve Kalite Dergisi*, *22*(2), 101-119. https://doi.org/10.70915/spkd.1622234

Hussain, S. T., Lei, S., Akram, T., Haider, M. J., Hussain, S. H., & Ali, M. (2018). Kurt Lewin's Change Model: A Critical Review of the Role of Leadership and Employee Involvement in Organizational Change. *Journal of Innovation & Knowledge*, *3*(3), 123-127. https://doi.org/10.1016/j.jik.2016.07.002

İraz, R., & Efeoğlu, M. S. (2023). Örgütsel Değişimi Başarmak Yolunda Değişime Direnmeyi Ortadan Kaldırmak İçin Örgüt Kültürünün Rolü Ve Önemi: Sanayi Sektörüne Yönelik Bir Araştırma. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (51), 34-53. https://doi.org/10.52642/susbed.1222052

Kotter, J. P. (1996). *Leading change*. Harvard Business School Press.

Lewin, K. (1947). Frontiers in Group Dynamics: Concept, Method and Reality in Social Science; Social Equilibria and Social Change. *Human Relations*, *1*(1), 5-41. https://doi.org/10.1177/001872674700100103

Pollack, J., & Pollack, R. (2015). Using Kotter's Eight Stage Process to Manage an Organisational Change Program: Presentation and Practice. *Systemic Practice and Action Research*, *28*(1), 51-66. https://doi.org/10.1007/s11213-014-9317-0

Ramezani, G., Bigdeli, S., Zarezadeh, Y., & Sohrabi, Z. (2022). Identification of Change Leadership Dimensions and Components in Medical Science Education to Move Toward the Third-Generation Universities: A Qualitative Study. *Journal of Education and Health Promotion*, *11*(1), 186. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_1097_21

Söyler, S., & Çavmak, Ş. (2024). Sağlık Çalışanlarında Değişim Yorgunluğu: Sistematik Bir Literatür Taraması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, *27*(2), 411-421. https://doi.org/10.29249/selcuksbmyd.1455183

Uçar, R., & Köroğlu, E. Ö. (2024). Sağlık Kurumlarında Değişim Yönetimi Uygulamalarinin İş Performansina Etkisi, Değişime Direncin Aracılık Rolü. *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, *10*(2), 109-124. https://doi.org/10.29131/uiibd.1597351

Ürek, D., Demir, İ. B., & Karaman, S. (2019). Sağlık Kurumlarında Değişim Liderliği Change Leadershıp in Healthcare Institutions. *Uluslararası Sağlık Yönetimi Ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, *5*(2), 89-103.

Ürek, D., & Uğurluoğlu, Ö. (2015). Sağlık Çalışanlarının Lider-Üye Etkileşim Düzeylerinin Çeşitli Özellikler Açısından Değerlendirilmesi. *Sosyoekonomi*, *23*(25). https://doi.org/10.17233/se.27289

Van De Ven, A. H., & Poole, M. S. (1995). Explaining Development and Change in Organizations. *The Academy of Management Review*, *20*(3), 510. https://doi.org/10.2307/258786

SAĞLIK ÇALIŞANLARINDA TEKNOSTRESİN PSİKOSOSYAL SAĞLIK ÜZERİNDEKİ YANSIMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Zeliha YAMAN TOPDEMİR
Mersin Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı
ORCID: 0000-0002-5551-0855

Öğr. Gör. Müge BÖLÜKKAYA
Mersin Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü
ORCID: 0000-0003-0920-917X

Prof. Dr. Sabahattin TEKİNGÜNDÜZ
Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı
ORCID: 0000-0002-2528-9029

ÖZET
Teknolojinin sağlık hizmetlerinde kullanımın yaygınlaşmasıyla birlikte elektronik sağlık kayıtları, yapay zekâ destekli karar sistemleri, teletıp, dijital görüntüleme ve klinik bilgi sistemlerinin uygulamalarda daha yoğun kullanılmasına yol açmıştır. Bu dönüşüm, sağlık bakım kalitesi, verimlilik ve hasta güvenliğine önemli katkılar sunmakla birlikte, sağlık çalışanları üzerinde yeni psikososyal yüklerin oluşumuna da neden olmaktadır. Bu bağlamda önemli bir kavram olan teknostres, bireyin yeni ve sürekli değişen teknolojilerle sağlıklı biçimde başa çıkmakta zorlanması sonucu ortaya çıkan psikolojik gerilim olarak tanımlanmaktadır. Sağlık çalışanları açısından teknostres artan bilişsel yük, sürekli erişilebilir olma beklentisi, yeni sistemlere uyum zorunluluğu, teknolojik yeterlilik kaygısı ve mesleki belirsizlik gibi deneyimlerle ilişkilendirilmektedir. Teknostresin yorgunluk, anksiyete, tükenmişlik, iş doyumunda azalma, değişim yorgunluğu ve çalışma verimliliğinde düşüş gibi olumsuz psikososyal ve mesleki sonuçlarla ilişkili olduğu vurgulanmaktadır. Dijital sistemlerin karmaşıklığı, sürekli güncellenmesi ve iş akışını kesintiye uğratması, çalışanlarda duygusal tükenme ve mesleki yeterlilik algısında azalmaya neden olmaktadır. Buna karşın örgütsel destek, eğitim olanakları, teknoloji öz-yeterliliği ve destekleyici liderlik yaklaşımları gibi bireysel ve örgütsel kaynakların teknostresin olumsuz etkilerini azaltmada önemli rol oynayabileceği belirtilmektedir. Bu kapsamda, yapılan bu derlemenin amacı, sağlık çalışanlarında teknostresin psikososyal sağlık üzerindeki yansımalarını güncel literatür çerçevesinde bütüncül olarak değerlendirmektir.
Anahtar Kelimeler: Teknostres, sağlık çalışanları, psikososyal sağlık, dijital dönüşüm.

THE IMPLICATIONS OF TECHNOSTRESS FOR PSYCHOSOCIAL HEALTH AMONG HEALTHCARE WORKERS

ABSTRACT
The increasing use of technology in healthcare has led to the more extensive integration of electronic health records, artificial intelligence-supported decision systems, telemedicine, digital imaging, and clinical information systems into healthcare practices. While this transformation makes important contributions to the quality of healthcare, efficiency, and patient safety, it also creates new psychosocial burdens for healthcare workers.

In this context, technostress is defined as the psychological strain that arises when individuals experience difficulty coping effectively with new and continuously evolving technologies. Among healthcare workers, technostress is associated with experiences such as increased cognitive workload, expectations of constant availability, the need to adapt to new systems, concerns about technological competence, and occupational uncertainty. Technostress has been associated with adverse psychosocial and occupational outcomes, including fatigue, anxiety, burnout, decreased job satisfaction, change fatigue, and reduced work productivity. The complexity and continuous updating of digital systems, as well as disruptions to workflow, may contribute to emotional exhaustion and a reduced perception of professional competence among healthcare workers. In contrast, individual and organizational resources such as organizational support, training opportunities, technology self-efficacy, and supportive leadership approaches may play an important role in mitigating the adverse effects of technostress. Accordingly, the aim of this review is to comprehensively evaluate the implications of technostress for the psychosocial health of healthcare workers within the framework of the current literature.
Keywords: Technostress, healthcare workers, psychosocial health, digital transformation.

1. Giriş

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, sağlık hizmetlerinin verilmesinde önemli bir değişim meydana getirmiştir. Bilgisayar ve ağ sistemleri, elektronik sağlık kayıtları, dijital izlem araçları, teletıp uygulamaları ve diğer dijital teknolojiler; hasta bilgilerinin yönetilmesi, sağlık profesyonelleri arasındaki iletişimin güçlendirilmesi, bakımın koordinasyonu ve hizmetlerin daha etkin yürütülmesi açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Teknolojinin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, klinik uygulamaların yanında iletişim, hasta güvenliği ve idari süreçlerini de önemli ölçüde şekillendirmiştir (Keshavarz ve ark., 2025; Ficapal-Cusí ve ark., 2025; Ayna ve Özkan, 2026).

Dijitalleşme sağlık hizmetlerinde verimlilik, bilgiye hızlı erişim ve bakım süreçlerinin sürekliliği açısından önemli katkılar sağlarken, sağlık çalışanlarının çalışma koşulları üzerinde yeni psikososyal taleplerin ortaya çıkmasına da neden olabilmektedir. Sağlık çalışanları, teknolojik sistemleri günlük uygulamalarına entegre etmek, yeni sistemleri öğrenmek, sürekli güncellenen teknolojilere uyum sağlamak ve teknoloji kaynaklı bilgi ve iş yükünü yönetmek durumundadır. Bu durum, teknolojinin çalışma yaşamındaki kullanımından kaynaklanan stresin önemli bir görünümünü oluşturan teknostresin sağlık çalışanları açısından ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Kopuz ve ark., 2025; Kumar, 2024; Sınmaz ve ark., 2025).

Teknostres, teknolojik değişimin hızlı olduğu ve dijital sistemlerin iş süreçlerinin ayrılmaz bir parçası hâline geldiği sağlık hizmetlerinde önemli bir iş talebi olarak değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmalarda, sağlık çalışanlarında teknostresin psikolojik, fizyolojik ve davranışsal sorunların yanı sıra iş performansı, iş doyumu, tükenmişlik ve çalışanların kurumda kalması gibi örgütsel sonuçları da etkileyebileceği vurgulanmaktadır (Kumar, 2024; Kopuz ve ark., 2025). Bu nedenle sağlık hizmetlerinde dijitalleşmenin yalnızca teknolojik altyapı ve hizmet verimliliği açısından değil, aynı zamanda teknolojiyi kullanan çalışanların psikososyal sağlığı açısından da değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Teknostres üzerine yapılan araştırmaların önemli bir bölümü öğretmenler, akademisyenler, öğrenciler ve kütüphaneciler gibi meslek gruplarına odaklanmış olmakla birlikte, sağlık alanındaki araştırmaların da son yıllarda arttığı görülmektedir. Sağlık çalışanlarının klinik uygulama, hasta iletişimi ve idari görevler kapsamında dijital teknolojilerle etkileşim hâlinde olması, bu meslek grubunda teknostresin neden ve psikososyal sonuçlarının incelenmesini önemli hâle getirmektedir (Kopuz ve ark., 2025; Muhamad ve ark., 2025).

Bu çerçevede yapılan bu derlemede bölümde teknostres kavramı ve temel boyutları ele alınmakta; sağlık hizmetlerinde dijitalleşme ile teknostres arasındaki ilişki açıklanmakta ve teknostresin sağlık çalışanlarının psikososyal sağlığı üzerindeki etkileri incelenmektedir. Ayrıca sağlık çalışanlarında teknostresin azaltılmasına yönelik bireysel ve örgütsel başa çıkma ve koruyucu yaklaşımlara da vurgu yapılmaktadır.

2. Teknostres Kavramı ve Temel Boyutları

Teknostres, teknolojinin çalışma yaşamına giderek daha fazla entegre olmasıyla birlikte ortaya çıkan teknoloji kaynaklı stres biçimlerinden biri olarak ele alınmaktadır. Kavram ilk olarak yeni bilgisayar teknolojileriyle sağlıklı biçimde başa çıkamama veya bu teknolojilerle mücadele edememe sonucunda ortaya çıkan bir uyum problemi olarak tanımlanmıştır. Günümüzde ise teknostres yalnızca bir hastalık ya da bozukluk olarak değil, bireyin bilgi ve iletişim teknolojilerinin fiziksel, bilişsel, sosyal ve duygusal talepleriyle başa çıkmakta zorlanması sonucunda ortaya çıkabilen olumsuz bir durum olarak ele alınmaktadır (Keshavarz ve ark., 2025; Ficapal-Cusí ve ark., 2025; Bahamondes-Rosado ve ark., 2023).

Teknostres kavramının anlaşılmasında stresin işlemsel modeli önemli bir çerçeve sunmaktadır. Bu yaklaşıma göre teknoloji, bireyin değerlendirdiği belirli özelliklere sahip bir çevre oluşturmakta ve birey teknolojik koşulları bunaltıcı, karmaşık veya yönetilmesi güç olarak değerlendirdiğinde söz konusu koşullar teknostresör hâline gelebilmektedir (Ficapal-Cusí ve ark., 2025).

Teknostres sadece teknolojiyle değil, aynı zamanda teknoloji kullanımından kaynaklanan öğrenme süreçleri ve değerlendirmesi gibi birçok alandaki değişen gereksinimlerle ilgili olduğu için son derece kapsamlı bir olgudur. Literatürde teknostresin beş temel boyutu olduğu bildirilmektedir. Bu boyutlar sırasıyla; tekno-aşırı yüklenme, tekno-istila, tekno-karmaşıklık, tekno-belirsizlik, tekno-güvensizliktir (Ficapal-Cusí ve ark., 2025; Keshavarz ve ark., 2025; Sınmaz ve ark., 2025; Mansuroğlu, ve Smith, 2026; Tunçer Ünver ve Akyüz Özdemir, 2024).

Tekno-aşırı yüklenme: Bu kavram, teknolojinin bireyleri daha hızlı çalışmaya, daha fazla işi daha kısa sürede tamamlamaya ve daha uzun süre çalışmaya yöneltmesiyle ilişkilidir. Sağlık hizmetlerinde dijital sistemlerin aynı anda çok sayıda bilgi ve görevin yönetilmesini gerektirmesi, çalışanların algıladığı iş yükünü artırabilmektedir. Bu çerçevede sağlık çalışanlarında yapılan araştırmalarda tekno-aşırı yüklenmenin öne çıkan teknostres kaynaklarından biri olduğu bildirilmiştir (Ficapal-Cusí ve ark., 2025; Bulut ve Yılmaz, 2024).

Tekno-istila: Tekno-istila, teknolojinin çalışma yaşamı ile özel yaşam arasındaki sınırları zayıflatması ve çalışanların çalışma saatlerinin dışında da işle ile bağlantılı teknolojik iletişime maruz kalması olarak tanımlanmaktadır. Özellikle mobil iletişim araçları (akıllı telefonlar) ve çevrimiçi iletişim kanalları aracılığıyla çalışanların mesai dışında da ulaşılabilir olması, teknolojinin kişisel zamana müdahale etmesine neden olabilmektedir. Sağlık alanında bu durum önemli ölçüde yaşanmakta olup örneğin hemşirelik uygulamalarında hemşireler nöbet veya mesai dışı saatlerde yapılan telefon aramaları ve grup mesajlarına maruz kalabilmektedir (Tunçer Ünver ve Akyüz Özdemir, 2024; Sınmaz ve ark., 2025).

Tekno-karmaşıklık: Tekno-karmaşıklık, bireyin yeni teknolojileri kullanmak için gerekli bilgi ve becerilere sahip olmadığını düşünmesi ve teknolojik sistemleri öğrenme konusunda güçlük yaşaması ile ilişkili bir kavram olarak ifade edilmektedir. Teknolojik sistemlerin karmaşık olması, çalışanların kendilerini yetersiz hissetmelerine ve yeni teknolojileri kullanmaya yönelik kaygı yaşamalarına neden olabilmektedir (Ficapal-Cusí ve ark., 2025; Sınmaz ve ark., 2025). Sağlık hizmetlerinde teknolojik sistemlerin sürekli gelişmesi, çalışanların yeni cihazları ve dijital uygulamaları öğrenmesini gerektirmektedir.

Sağlık çalışanlarına özellikle de bu konularda yeterli eğitim ve teknik destek sağlanmadığında, teknoloji kullanımına ilişkin öğrenme gereksinimi teknostresin önemli bir kaynağı hâline gelebilmektedir (Tunçer Ünver ve Akyüz Özdemir, 2024).

Tekno-belirsizlik: Bu kavram, teknolojik sistemlerin ve uygulamaların sürekli güncellenmesi ve değişmesi nedeniyle çalışanların sürekli yeni bilgiler öğrenmek zorunda kalması olarak tanımlanmaktadır. Sağlık hizmetlerinde dijital teknolojilerin hızlı biçimde yenilenmesi, çalışanların mevcut sistemlere tam olarak uyum sağlamadan yeni sistemlerle karşılaşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle sürekli değişim, sağlık çalışanları açısından belirsizlik ve sürekli öğrenme gereksinimi ortaya çıkartabilmektedir (Ficapal-Cusí ve ark., 2025; Sınmaz ve ark., 2025). Bu çerçevede tekno-belirsizlik ile tekno-aşırı yüklenmenin sağlık çalışanlarında öne çıkan teknostres kaynakları arasında yer almaktadır (Keshavarz ve ark., 2025).

Tekno-güvensizlik: Tekno-güvensizlik kavramı, çalışanların teknolojik gelişmeler veya teknolojiyi daha iyi kullanan kişiler nedeniyle işlerini kaybetme ya da mesleki konumlarının tehdit altında olduğu algısıyla ilişkilidir. Teknolojinin bazı görevleri otomatik hale getirmesi veya çalışanlardan yeni teknolojik yeterlilikler beklenmesi, bireylerde mesleki yeterliliğe ilişkin bir güvensizlik algısı oluşturabilmektedir (Ficapal-Cusí ve ark., 2025; Sınmaz ve ark., 2025).

Bu beş boyut birlikte değerlendirildiğinde teknostresin yalnızca teknolojinin kendisinden kaynaklanmadığı; teknolojinin iş yükünü artırması, çalışma yaşamının sınırlarını değiştirmesi, öğrenme gereksinimini artırması, sürekli değişim yaratması ve çalışanların mesleki güvenlik algılarını etkilemesi gibi farklı mekanizmalar üzerinden ortaya çıkabildiği dikkat çekmektedir (Ficapal-Cusí ve ark., 2025; Keshavarz ve ark., 2025; Sınmaz ve ark., 2025).

3. Sağlık Hizmetlerinde Dijitalleşme ve Teknostres

Sağlık hizmetleri doğası gereği karmaşık, dinamik ve yüksek düzeyde profesyonel sorumluluk gerektiren bir çalışma alanıdır. Sağlık profesyonelleri, değişen örgütsel yapılar, mesleki beklentiler ve hasta bakımına ilişkin sorumluluklarla sürekli olarak başa çıkmak ve uyum sağlamak durumundadır (Ayna ve Özkan, 2026). Bu çerçevde çalışma ortamına dijital teknolojilerin hızla entegre edilmesi, sağlık çalışanlarının görevlerini yerine getirme biçimlerinde önemli değişikliklere yol açmaktadır (Bulut ve Yılmaz, 2024; Demir, ve Erigüç, 2025; Ayna ve Özkan, 2026).

Elektronik sağlık kayıtları, dijital hasta izlem sistemleri, teletıp uygulamaları, sağlık bilgi sistemleri, giyilebilir tıbbi cihazlar ve diğer dijital uygulamalar, klinik iş akışlarını ve iletişim süreçlerini önemli ölçüde dönüştürmüştür. Bu teknolojiler bakımın koordinasyonunu, bilgiye erişimi ve operasyonel verimliliği desteklemekle birlikte, sağlık çalışanlarının karmaşık dijital sistemlerle sürekli etkileşim hâlinde olması çeşitli psikososyal sorunların ortaya çıkmasına da zemin hazırlayabilmektedir (Ayna ve Özkan, 2026; Kumar, 2024; Tarsuslu, ve Coşkun, 2024). Özellikle teknolojiye ilişkin taleplerin çalışanların sahip olduğu bireysel kaynakları veya örgütsel desteği aşması durumunda teknostres daha belirgin hâle gelebilmektedir. Buna karşılık, bilişim teknolojileri yeterliliğinin artırılması, teknoloji kullanımına ilişkin yetkinliklerin geliştirilmesi ve çalışanlar arasında bilgi paylaşımının desteklenmesi, teknostresin iş performansı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilmektedir (Demir ve Erigüç, 2025). Bu bağlamda, sağlık çalışanlarının teknoloji kullanım düzeyleri, teknolojik yeterlilikleri ve teknoloji kullanımını destekleyen örgütsel kaynaklar, teknostres deneyiminin anlaşılmasında önemli unsurlar olarak değerlendirilebilir (Kopuz et al., 2025, Tarsuslu, ve Coşkun, 2024).

Sağlık çalışanları arasında teknostres düzeylerinin çalışma ortamına, mesleki role ve bireysel özelliklere göre değişebildiği bildirilmektedir. İspanya'nın Katalonya bölgesindeki doktor ve hemşirelerle gerçekleştirilen bir çalışmada teknostres düzeyinin genel olarak orta düzeyde olduğu, hekimler ve hemşireler arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı; buna karşılık daha yaşı büyük sağlık profesyonellerin daha yüksek teknostres yaşadığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada sağlık profesyonelleri arasında teknoloji aşırı yüklenmesi ve teknoloji belirsizliği önemli stres faktörleri olarak öne çıkmış; dijital sağlık araçlarına aşinalık ve gönüllü kullanım ise daha düşük teknostres düzeyi ile ilişkilendirilmiştir (Ficapal-Cusí ve ark., 2025). İsviçre'deki psikiyatri hastanelerinde yürütülen araştırmada da sağlık profesyonellerinin orta düzeyde teknostres yaşadığı ve teknostresin meslek gruplarına göre farklılaşabildiği belirtilmiştir. Çalışmada hekimlerin hemşirelere kıyasla daha yüksek teknostres yaşadığı ve dijital teknolojiyle daha fazla etkileşimde olan sağlık profesyonellerin teknostres düzeylerinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Golz ve ark., 2021).

Türkiye'de sağlık çalışanlarında teknostres düzeylerini inceleyen çalışmalar değerlendirildiğinde, teknostresin genel olarak orta düzeyde olduğu görülmektedir. Bulut ve Yılmaz'ın (2024) çalışmasında tekno-aşırı yüklenme en yüksek ortalamaya sahip teknostres boyutu olurken, tekno-güvensizlik en düşük ortalamaya sahip boyut olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada medeni durum, eğitim durumu ve çalışılan birim açısından teknostres düzeylerinde anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Yağar ve ark. (2026) tarafından kamu kurumlarında çalışan sağlık çalışanlarıyla yürütülen çalışmada, teknostres düzeylerinin orta düzeyde olduğu belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca erkek ve daha ileri yaştaki sağlık çalışanlarının daha yüksek teknostres düzeyleri algıladığı belirtilmiştir. Bununla birlikte yapılan çalışmalar incelendiğinde sağlık çalışanlarında teknostres ile ilişkili sonuçların yalnızca bireysel stres düzeyiyle sınırlı olmadığı da görülmektedir. Teknostresin iş doyumu, tükenmişlik, değişim yorgunluğu, iş performansı ve işten ayrılma niyeti gibi çalışma yaşamına ilişkin sonuçlarla ilişkili olduğu bildirilmektedir (Demir, ve Erigüç, 2025;, Kopuz ve ark., 2025; Kumar, 2024; Yağar, ve ark., 2026). Örneğin Demir ve Erigüç (2025) tarafından Akyazı Devlet Hastanesi'nde görev yapan 162 sağlık çalışanıyla gerçekleştirilen çalışmada, teknostresin farklı boyutlarının işten ayrılma niyetiyle ilişkili olduğu bildirilmiştir. Tekno-aşırı yüklenmenin işten ayrılma niyeti üzerinde pozitif yönde ve anlamlı bir etkisi bulunurken, tekno-istila ve tekno-belirsizliğin işten ayrılma niyeti üzerinde negatif yönde ve anlamlı etkiler gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca değişim yorgunluğu ile işten ayrılma niyeti arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki saptanmış ve değişim yorgunluğunun işten ayrılma niyetindeki varyansın %13,4'ünü açıkladığı da bildirilmiştir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, sağlık çalışanlarında teknostresin yalnızca teknoloji kullanımına bağlı bir stres kaynağı olarak ele alınmaması gerektiği düşünülmektedir.

3. Teknostresin Sağlık Çalışanlarının Psikososyal Sağlığına Etkileri

Teknostresin sağlık çalışanlarının psikososyal sağlığı üzerindeki etkileri, teknolojik talepler ile bireyin sahip olduğu kaynaklar arasındaki uyum çerçevesinde değerlendirilebilir. Sağlık çalışanlarının teknoloji kullanımına bağlı olarak yaşadığı stres; kaygı, zihinsel gerginlik, yorgunluk, tükenme, irritabilite ve teknolojiye yönelik olumsuz tutumlar gibi çeşitli semptomlarla kendini gösterebilmektedir. Ayrıca baş ağrısı, kas gerginliği ve uyku düzeninde bozulma gibi fiziksel belirtiler de teknostres ile ilişkilendirilmektedir (Keshavarz ve ark., 2025; Muhamad ve ark., 2025).

Teknostresin psikososyal sağlık açısından önemli sonuçlarından biri tükenmişliktir (Kaltenegger ve ark., 2023; Kopuz et al., 2025; Tarsuslu, ve Coşkun, 2024; **).** Yapılan bir çalışmada, teknoloji/bilgi aşırı yüklenmesi ve teknoloji karmaşıklığının tükenmişliğin temel (tükenme, zihinsel mesafe) ve ikincil belirtileriyle (psikosomatik şikayetler) ilişkili olduğu bildirilmektedir. Çalışmada ayrıca teknoloji ve bilgi aşırı yüklenmesinin, genel iş yükü dikkate alındığında dahi tükenmişliğin temel belirtilerinin anlamlı bir belirleyicisi olduğu vurgulanmıştır. Bu bulgu, dijital teknoloji kullanımından kaynaklanan bilgi yükünün sağlık çalışanları açısından ayrı bir iş stresi kaynağı olabileceğini düşündürmektedir (Kaltenegger ve ark., 2023). Türkiye'de yapılan çalışmalar da teknostres ile tükenmişlik arasındaki ilişkiye yönelik benzer bulgular ortaya koymaktadır. Bir eğitim ve araştırma hastanesinde görev yapan sağlık çalışanlarıyla gerçekleştirilen çalışmada, teknostres düzeyi ile mesleki tükenmişlik arasında istatistiksel olarak anlamlı ve yüksek düzeyde pozitif bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Çalışmada ayrıca teknostres ve mesleki tükenmişlik arasında istatistiksel olarak anlamlı ve yüksek düzeyde negatif ilişkiler olduğu vurgulanmıştır (Tarsuslu ve Coşkun, 2024). Bu sonuçlar, teknostresin sağlık çalışanlarında yalnızca bireysel düzeyde yaşanan bir teknoloji kaynaklı stres olmadığını, aynı zamanda örgütsel ve yönetsel koşullarla da ilişkili bir psikososyal risk faktörü olabileceğini düşündürmektedir.

Teknostres; sağlık çalışanlarında iş doyumu ve iş motivasyonu üzerinde de etkili olabilmektedir. Sağlık profesyonelleri ile yapılan çalışmalarda, teknostresin iş memnuniyeti gibi olumlu iş sonuçlarını azaltabildiğini ve tükenmişlik gibi olumsuz sonuçları artırabildiğini bildirilmektedir (Kopuz ve ark., 2025; Özel ve Aba, 2023). Bununla birlikte, teknoloji yeterliliğinin teknostresin sonuçlarını değiştirebilen önemli bir kaynak olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle sağlık profesyonellerinde teknoloji yeterliliği arttıkça teknostresin tükenmişlik ve iş memnuniyeti üzerindeki etkileri de azaldığı bildirilmektedir (Demir, ve Erigüç, 2025; Kopuz ve ark., 2025; Golz ve ark., 2021).

Sağlık hizmetlerinde dijital teknolojilerin hızlı ve sürekli biçimde benimsenmesi; bilgi yükü, belirsizlik ve sürekli bağlantıda olma gibi teknoloji kaynaklı talepleri artırabilmektedir. Teknostres, sağlık çalışanlarında değişim yorgunluğu ve işten ayrılma niyeti gibi çalışma yaşamına ilişkin olumsuz sonuçların oluşumuna da neden olabilmektedir (Yağar ve ark., 2026; Demir ve Erigüç 2025). Türkiye'de sağlık çalışanlarıyla gerçekleştirilen bir çalışmada, teknostres ve değişim yorgunluğu düzeylerinin orta düzeyde olduğu ve teknostresin değişim yorgunluğu üzerinde anlamlı ve pozitif yönde bir etkisinin bulunduğu belirlenmiştir (Yağar ve ark., 2026). Bu bulgu, sağlık kurumlarında teknolojik ve örgütsel değişimlerin çalışanlar tarafından sürekli uyum gerektiren bir süreç olarak deneyimlenebileceğine düşündürmektedir. Demir ve Erigüç (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, teknostresin boyutları ile değişim yorgunluğunun işten ayrılma niyetiyle anlamlı biçimde ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, teknostresin sağlık çalışanlarının yalnızca bireysel psikososyal iyilik hâliyle sınırlı olmayan; değişim süreçlerine uyum, işten ayrılma niyeti ve çalışma yaşamının sürdürülebilirliği gibi örgütsel sonuçlarla da ilişkili bir çalışma stresi kaynağı olduğu görülmektedir. Bu nedenle teknostresin sağlık çalışanlarının psikososyal sağlığı üzerindeki etkilerinin yanı sıra örgütsel ve çalışma ortamına ilişkin faktörlerin de ele alınması önemlidir (Yağar ve ark., 2026; Demir ve Erigüç 2025). Çalışanların teknolojiye ilişkin yeterlilikleri, aldıkları teknik destek, yönetici desteği, çalışma koşulları, teknolojinin kullanım amacı ve teknolojik değişimin yönetilme biçimi teknostres deneyimini şekillendirebilmektedir (Keshavarz ve ark., 2025; Demir ve Erigüç, 2025). Bu nedenle teknostres, yalnızca çalışanın teknoloji kullanma becerisiyle açıklanabilecek bireysel bir sorun olarak görülmemelidir.

Teknolojinin tasarımı ve kullanılabilirliği, çalışanların karar süreçlerine katılımı, eğitim olanakları ve örgütsel destek gibi faktörler de teknostresin oluşumu ve sonuçları açısından önem taşımaktadır (Keshavarz et al., 2025; Tarsuslu ve Coşkun, 2024; Ayna ve Özkan, 2026).

4. Teknostresle Başa Çıkma ve Koruyucu Yaklaşımlar

Sağlık çalışanları arasında teknostresin azaltılması, bireysel becerilerin geliştirilmesinin yanı sıra örgütsel düzeyde koruyucu yaklaşımların uygulanmasını gerektirmektedir. Literatürde teknostresin etkilerini azaltmada teknoloji yeterliliğinin geliştirilmesi, eğitim ve teknik desteğin sağlanması, çalışanların teknolojiye ilişkin karar süreçlerine katılması ve destekleyici yönetim anlayışının oluşturulması öne çıkan yaklaşımlar arasındadır (Keshavarz ve ark., 2025; Demir ve Erigüç, 2025). Öncelikle sağlık çalışanlarının dijital yeterliliklerinin güçlendirilmesi önem taşımaktadır. Teknolojik sistemlerin kullanımına yönelik yalnızca temel bilgisayar eğitimleri yerine, sağlık hizmetlerinde kullanılan bilgi sistemlerini ve klinik teknolojileri kapsayan mesleğe özgü eğitimlerin planlanması çalışanların teknolojiyle başa çıkma becerilerini destekleyebilir. Özellikle hemşirelik eğitiminde sağlık bilişimi ve klinik teknolojilerin kullanımına ilişkin içeriklerin güçlendirilmesi, öğrencilerin mesleki yaşamda karşılaşacakları teknolojik gereksinimlere hazırlanmasına katkı sağlayabilir (Özel ve Aba, 2023).

Hizmet içi eğitimlerin de teknolojik değişimle birlikte güncellenmesi gerekmektedir. Sağlık çalışanlarının yeni teknolojiler kullanıma sunulmadan önce ve kullanım sürecinde yeterli eğitim almaları, teknoloji kaynaklı belirsizlik ve karmaşıklığın azaltılmasına katkı sağlayabilir. Eğitimlerin yalnızca teknolojik cihazın kullanımını değil, teknolojinin klinik iş akışına nasıl entegre edileceğini de kapsaması önemlidir (Tunçer Ünver ve Akyüz Özdemir, 2024; Özel ve Aba, 2023).

Teknik destek mekanizmalarının güçlendirilmesi de teknostresin azaltılmasında önemlidir. Teknolojik sistemlerde yaşanan sorunların hızlı biçimde çözülebilmesi, çalışanların teknoloji kullanımına ilişkin belirsizlik ve kaygılarını azaltabilir. Ficapal-Cusí ve ark. (2025) tarafından yapılan çalışmada teknik güçlükler ve algılanan kullanılabilirlik eksikliğinin daha yüksek teknostres ile ilişkili olduğu bildirilmiştir.

Teknolojik sistemlerin kullanıcı dostu ve anlaşılır biçimde tasarlanması da koruyucu bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Teknolojinin çalışanların iş süreçlerini desteklemesi gerekirken gereksiz bilgi yükü veya karmaşıklık oluşturmaması önemlidir. Yağar ve ark. (2026), teknostres konusunda farkındalığı artırmaya yönelik kurum içi eğitimlerin yanı sıra daha kolay ve anlaşılır arayüzlerin geliştirilmesinin teknoloji yükünü azaltabileceğini belirtmektedir.

Örgütsel destek de teknostresle başa çıkmada önemli bir faktördür. Yönetici desteği, çalışanların teknolojik değişim süreçlerine uyum sağlamasını kolaylaştırabilir. Demir ve Erigüç'ün (2025) bulguları, destekleyici yönetici tutumunun teknostres ile işten ayrılma niyeti arasındaki ilişkiyi zayıflatabileceğini göstermektedir. Bu nedenle sağlık yöneticilerinin teknolojik değişimleri yalnızca teknik bir dönüşüm olarak değil, çalışanların psikososyal gereksinimlerini de içeren bir örgütsel değişim süreci olarak ele alması önemlidir. Çalışanların yeni teknolojilerin seçimi ve uygulanması süreçlerine katılımının sağlanması da önemlidir. Özellikle hemşirelerin klinik uygulamalarda doğrudan kullandıkları teknolojilerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi süreçlerine katılmaları, teknolojinin kullanılabilirliği ve mesleki gereksinimlerle uyumu açısından yararlı olabilir (Özel ve Aba, 2023). Bunun yanı sıra, teknostres ve çalışanların iyilik hâli göstergelerinin düzenli olarak izlenmesi erken müdahale açısından yarar sağlayabilir.

Teknostres düzeylerinin yanı sıra tükenmişlik, iş doyumu, iş yükü, değişim yorgunluğu ve işten ayrılma niyeti gibi göstergelerin birlikte değerlendirilmesi, teknoloji kaynaklı psikososyal risklerin daha kapsamlı biçimde ele alınmasına olanak sağlayabilir (Demir ve Erigüç, 2025).

Sonuç olarak, teknostresle başa çıkma yalnızca çalışanın teknolojiye uyum sağlamasından ibaret değildir. Bireysel teknoloji yeterliliğinin geliştirilmesi, sürekli eğitim ve teknik destek sağlanması, kullanıcı dostu teknolojilerin tercih edilmesi, çalışan katılımının artırılması ve destekleyici yönetim uygulamalarının oluşturulması birlikte ele alınmalıdır.

5. Sonuç ve Öneriler

Sağlık hizmetlerinde dijital teknolojilerin yaygınlaşması, hasta bakımının planlanması ve yürütülmesi, hasta bilgilerinin kaydedilmesi ve paylaşılması, bakımın koordinasyonu, iletişim ve hizmetlerin sürekliliği açısından önemli olanaklar sağlamaktadır. Bununla birlikte, sağlık çalışanlarının teknolojik sistemlerle yoğun ve sürekli etkileşimi yeni psikososyal risklerin ortaya çıkmasına da zemin hazırlayabilmektedir. Bu risklerin başında teknostres gelmektedir. Teknostres; tekno-aşırı yüklenme, tekno-istila, tekno-karmaşıklık, tekno-belirsizlik ve tekno-güvensizlik gibi farklı stresörler üzerinden ortaya çıkabilmektedir. Sağlık çalışanlarında yapılan çalışmalar, teknostresin genel olarak orta düzeylerde görülebildiğini ve özellikle teknoloji aşırı yüklenmesi ile teknoloji belirsizliğinin önemli stres kaynakları arasında yer aldığını göstermektedir (Ficapal-Cusí ve ark., 2025; Bulut ve Yılmaz, 2024; Keshavarz ve ark., 2025).

Teknostresin sağlık çalışanlarının psikososyal sağlığı üzerindeki yansımaları; kaygı, zihinsel gerginlik, yorgunluk, tükenmişlik ve iş doyumunda azalma gibi bireysel sonuçların yanı sıra değişim yorgunluğu, iş performansında azalma ve işten ayrılma niyeti gibi çalışma yaşamına ilişkin sonuçları da içerebilmektedir (Kaltenegger ve ark., 2023; Kopuz ve ark., 2025; Yağar ve ark., 2026; Demir ve Erigüç, 2025). Bu nedenle sağlık hizmetlerinde dijital dönüşüm planlanırken teknolojik altyapının geliştirilmesi kadar, çalışanların psikososyal sağlığının korunması da dikkate alınmalıdır. Sağlık çalışanlarının dijital yeterliliklerinin güçlendirilmesi, düzenli hizmet içi eğitimlerin planlanması, yeterli teknik desteğin sağlanması ve teknolojik sistemlerin kullanıcı gereksinimleri dikkate alınarak tasarlanması önemlidir. Ayrıca çalışanların yeni teknolojilerin seçimi, uygulanması ve değerlendirilmesi süreçlerine katılımının sağlanması, teknolojik değişimin çalışanlar üzerindeki olası olumsuz etkilerinin azaltılmasına katkı sağlayabilir (Özel ve Aba, 2023; Demir ve Erigüç, 2025).

Hemşirelik açısından değerlendirildiğinde, teknolojik gelişmelerden uzak kalmak mümkün olmadığı gibi, sağlık hizmetlerinin güvenli ve kaliteli biçimde sürdürülebilmesi için hemşirelerin teknolojik gelişmelerle birlikte çalışabilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle hemşirelik lisans eğitiminde sağlık bilişimi ve klinik teknolojilere ilişkin içeriklerin güçlendirilmesi; mezuniyet sonrasında ise yaşam boyu öğrenme ve düzenli hizmet içi eğitim olanaklarının sürdürülmesi önem taşımaktadır (Özel ve Aba, 2023).

Sonuç olarak, sağlık hizmetlerinde teknolojinin yaygınlaşması kaçınılmaz bir dönüşüm olmakla birlikte, bu dönüşümün çalışanların psikososyal sağlığı üzerindeki etkileri göz ardı edilmemelidir. Teknostresin düzenli olarak değerlendirilmesi, risk faktörlerinin belirlenmesi ve bireysel olduğu kadar örgütsel düzeyde koruyucu yaklaşımların geliştirilmesi; çalışanların iyilik hâlinin, mesleki sürdürülebilirliğin ve sağlık hizmetlerinin niteliğinin desteklenmesine katkı sağlayabilir.

Kaynaklar

Ayna, D., & Özkan, Ş. (2026). Technostress, work motivation, workload and quality of life among healthcare workers: a comparative analysis across demographic variables. Atlas Journal of Medicine, 6(2), 111-121. https://doi.org/10.54270/atljm.2026.115

Bahamondes-Rosado ME, Cerdá-Suárez LM, Dodero Ortiz de Zevallos GF and Espinosa-Cristia JF (2023) Technostress at work during the COVID-19 lockdown phase (2020–2021): a systematic review of the literature. Front. Psychol. 14:1173425. doi: 10.3389/fpsyg.2023.1173425

Bondanini G, Giorgi G, Ariza-Montes A, Vega-Muñoz A, Andreucci-Annunziata P. Technostress dark side of technology in the workplace: a scientometric analysis. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(21):8013.

Bulut, S., & Yılmaz, N. (2024). Sağlık Çalışanlarının Teknostres Düzeylerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma. SDÜ Sağlık Yönetimi Dergisi, 6(2), 124-142. https://izlik.org/JA85RN33XC

Demir, H., & Erigüç, G. (2025). The effects of healthcare workers' technostress and change fatigue levels on their turnover intentions. Frontiers in Life Sciences and Related Technologies, 6(3), 143-153. https://doi.org/10.51753/flsrt.1672644.

Ficapal-Cusí P, Torrent-Sellens J, Yuguero O. Technostress among healthcare professionals in Spain: a cross-sectional survey on the impact of digital health tools. BMJ Open. 2025 Sep 10;15(9):e103783. doi: 10.1136/bmjopen-2025-103783. PMID: 40935413; PMCID: PMC12519398.

Golz C, Peter KA, Müller TJ, Mutschler J, Zwakhalen SM, Hahn S. Technostress and digital competence among health professionals in Swiss psychiatric hospitals: cross-sectional study. JMIR mental health. 2021;8(11):e31408.

Golz C, Peter KA, Zwakhalen SMG, et al. Technostress Among Health Professionals - A Multilevel Model and Group Comparisons between Settings and Professions. Inform Health Soc Care 2021;46:136–47.

Kopuz K, Turgut M, Aydın G. Technostress among nurses: boon or bane? The moderated mediation model. BMC Nurs. 2025 Aug 20;24(1):1092. doi: 10.1186/s12912-025-03721-6. PMID: 40836237; PMCID: PMC12366391.

Kaltenegger HC, Becker L, Rohleder N, Nowak D, Quartucci C, Weigl M. Associations of technostressors at work with burnout symptoms and chronic low-grade inflammation: a cross-sectional analysis in hospital employees. Int Arch Occup Environ Health. 2023 Aug;96(6):839-856. doi: 10.1007/s00420-023-01967-8. Epub 2023 May 6. PMID: 37148328; PMCID: PMC10163295.

Keshavarz H, Saeidnia HR, Wang T. Navigating technostress: a deep dive into health practitioners' technological challenges in hospital settings. BMC Health Serv Res. 2025 Jan 3;25(1):18. doi: 10.1186/s12913-024-12196-1. PMID: 39754088; PMCID: PMC11699643.

Mansuroğlu, E., & Smith, A. P. (2026). Technostress and employee well-being: A systematic review of empirical evidence. Computers in Human Behavior Reports, 100941.

Muhamad NA, Ma'amor NH, Jamalluddin NH, Rosli IA, Leman FN, Tengku Baharudin Shah TPN, et al. (2025) Technostress and its associated factors: Burnout and fatigue among Malaysian healthcare workers (HCWs) in state hospitals. PLoS ONE 20(3): e0319506. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319506.

Özel, G., & Aba, Y. A. (2023). Teknolojinin Görünmeyen Yüzü: Hemşirelik Mesleğinde Teknostres. Genel Sağlık Bilimleri Dergisi, 5(2), 258-274. https://izlik.org/JA67DG52AU

Sınmaz T, Kara Ö, Seyhan Ak E, Özbaş A. Experiences of robotic surgery nurses regarding technostress: a qualitative study. J Robot Surg. 2025 Apr 14;19(1):154. doi: 10.1007/s11701-025-02320-6. PMID: 40229610; PMCID: PMC11996945.

Tarsuslu, S., & Coşkun, G. (2024). Çalışanların Tekno-Stres Algıları İle Mesleki Tükenmişlik Düzeyleri Arasındaki İlişkide Dönüşümcü Liderlik Algısının Aracılık Rolü: Bir Kamu Hastanesi Örneği. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 27(3), 513-534. https://doi.org/10.61859/hacettepesid.1380361

Tunçer Ünver, G., & Akyüz Özdemir, F. (2024). Hemşirelikte Yeni Teknoloji Kullanımına Direnç Olarak Teknostres: Sistematik Literatür İncelemesi. Hemşirelikte Araştırma Geliştirme Dergisi, 26(3), 53-65. https://doi.org/10.69487/hemarge.1465614

Yağar, S. D., Eren, A. S., Çıtak, K., & Yağar, F. (2026). The effect of technostress level on change fatıgue ın healthcare workers: a cross-sectıonal study. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 29(2), 377-392.

DEMİR-ÇELİK ENDÜSTRİSİ KAYNAKLI SODYUM SÜLFAT ATIKLARINDAN, SIFIR SIVI DEŞARJ YAKLAŞIMIYLA SAF SODYUM SÜLFAT ÜRETİMİNE YÖNELİK SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR PROSES GELİŞTİRİLMESİ

Herkail ÖZEN
ASOS Proses Makine AŞ.
ORCID: 0000-0002-1580-8155

Arzu Simnem SATILMIŞ
ASOS Proses Makine AŞ.
ORCID: 0009-0007-7870-6758

Bahadır KAYA
ASOS Proses Makine AŞ.
ORCID: 0009-0009-7826-1706

ÖZET

Demir-çelik fabrikalarından ortaya çıkan sodyum sülfat içerikli atıkların değerlendirilmesine yönelik geliştirilen bu proje, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi açısından önemli bir yenilik sunmaktadır. Söz konusu atıklar genellikle %75–80 saflıkta olup, sodyumun farklı bileşenleri (NaCl, $NaHCO_3$, NaF vb.) ve metalik safsızlıklar içermekte, bu nedenle doğrudan kullanılamamakla birlikte bertaraf ve depolama süreçleri hem çevresel yük hem de firmalara maliyet oluşturmaktadır. Geliştirilen prosesle bu atıkların yalnızca bertarafı değil, aynı zamanda yüksek katma değerli bir ürüne dönüştürülmesi hedeflenmiştir.

Proje kapsamında tasarlanan proses; liç, nötralizasyon, filtrasyon, kristalizasyon ve evaporasyon adımlarından oluşan entegre bir yapıdadır. İlk aşamada atık katı liç edilip çözünmeyenler filtrasyon ile uzaklaştırılmaktadır. Devamında nötralizasyonla sülfürik asit ilavesi ile farklı sodyum bileşenleri Na_2SO_4 formuna dönüştürülerek ürün verimi artırılmaktadır. Yapılan stokiyometrik hesaplamalar sonucunda, 300 g atık baz alındığında, yaklaşık 225 g Na_2SO_4 miktarının 269 g seviyesine çıkarılabildiği ve buna paralel olarak atık miktarının ciddi şekilde azaltıldığı ortaya konmuştur.

Prosesin en dikkat çekici özelliklerinden bir diğeri ise tamamen kapalı devre çalışması ve sıvı atık oluşturmamasıdır. Sistem içerisinde yer alan tüm çözeltiler geri döndürülerek tekrar prosese dahil edilmekte, kristalizasyon ve evaporasyon ünitelerinden elde edilen kondens suları ise liç, çözdürme ve yıkama aşamalarında kullanılmaktadır. Bu sayede proses, dışarıdan ilave su ihtiyacı olmadan, sıfır su tüketimi prensibiyle çalışabilmektedir.

Kristalizasyon aşamasında $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ formunda ürün elde edilmekte, ardından evaporasyon ile susuz Na_2SO_4 üretimi gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda %99,9'un üzerinde saflıkta ürün elde edilebildiği doğrulanmıştır.

Bu yaklaşımla; atık minimizasyonu, kaynak verimliliği, sıfır sıvı deşarj gibi sürdürülebilirlik kriterlerini aynı anda sağlayan yenilikçi bir proses olarak öne çıkmaktadır. Nitekim bu yaklaşımın özgünlüğü ve endüstriyel uygulanabilirliği, yapılan faydalı model başvurusunun olumlu sonuçlanması ve tescil aşamasına gelmesi ile de desteklenmiştir. Ayrıca uluslararası patent başvuru süreçlerinin devam ediyor olması, projenin küresel ölçekte de yenilikçi ve rekabetçi bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda proje, demir-çelik endüstrisinde atık yönetimine yönelik sürdürülebilir ve ölçeklenebilir bir model olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sodyum sülfat geri kazanımı, Sürdürülebilir atık yönetimi, Sıfır sıvı deşarj (ZLD)

DEVELOPMENT OF A SUSTAINABLE PROCESS FOR THE PRODUCTION OF HIGH-PURITY SODIUM SULFATE FROM IRON AND STEEL INDUSTRY-DERIVED SODIUM SULFATE WASTES VIA A ZERO LIQUID DISCHARGE APPROACH

ABSTRACT

This project, developed to valorize sodium sulfate-containing wastes generated from iron and steel plants, offers an innovative solution in terms of sustainability and circular economy. These wastes typically have a purity of 75–80% and contain various sodium compounds (NaCl, $NaHCO_3$, NaF, etc.) along with metallic impurities. Therefore, they cannot be directly utilized, while disposal and storage processes create both environmental burdens and economic costs. The developed process aims not only to eliminate these wastes but also to convert them into a high value-added product.

The process consists of integrated steps including leaching, neutralization, filtration, crystallization, and evaporation. In the first stage, soluble components are extracted via leaching, and insoluble materials are removed by filtration. During neutralization, different sodium compounds are converted into Na_2SO_4 through the addition of sulfuric acid, thereby increasing product yield. Stoichiometric calculations show that, based on 300 g of waste, the Na_2SO_4 content can be increased from approximately 225 g to 269 g, significantly reducing the remaining waste.

One of the most notable features of the process is its closed-loop operation and zero liquid discharge. All process solutions are recycled within the system, and condensate obtained from crystallization and evaporation is reused in leaching and washing stages. Thus, the process operates with virtually zero external water consumption.

In the crystallization stage, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ is produced, followed by evaporation to obtain anhydrous Na_2SO_4. Experimental results confirm that product purity exceeds 99.9%.

This approach stands out as a sustainable and innovative process that simultaneously achieves waste minimization, resource efficiency, and zero liquid discharge. The originality and industrial applicability of the method are supported by a successful utility model application and ongoing international patent processes, demonstrating its global competitiveness and scalability in industrial waste management.

Keywords: Sodium sulfate recovery, Sustainable waste management, Zero liquid discharge (ZLD)

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ÇİKOLATALI PUDİNG FORMÜLASYONUNDA NİŞASTA VE GUAR GAM OPTİMİZASYONU İLE HEDEFLENEN REOLOJİK ÖZELLİKLERİN SAĞLANMASI

Pelin ÇAKIR
Danone
ORCID: 0009-0003-7224-2009

ÖZET

Tüketici beklentilerinin değişmesi ve maliyet optimizasyonu gereksinimleri, sütlü tatlı ürünlerinde formülasyon çalışmalarının önemini artırmaktadır. Bu çalışmada, çikolatalı puding formülasyonunda nişasta miktarının azaltılması ve guar gamın tamamen çıkarılması ile hedeflenen reolojik özelliklerin sağlanması amaçlanmıştır. Mevcut formülasyonda kullanılan kıvam artırıcı sistemin, ürünün hedeflenen tüketim deneyiminin üzerinde bir viskozite oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu kapsamda, farklı nişasta seviyeleri değerlendirilmiş ve guar gamın sistemden çıkarılmasının ürün tekstürü, akış davranışı ve duyusal özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çalışmalar sonucunda, nişasta oranının optimize edilmesi ve guar gamın elimine edilmesi ile ürünün viskozitesinde kontrollü bir düşüş sağlanmış, hedeflenen kıvam profiline ulaşılmıştır. Yapılan gözlemler, revize edilen formülasyonun homojen yapı, kaşıkla alınabilirlik ve tüketim sırasında istenen akışkanlık özelliklerini koruduğunu göstermiştir. Ayrıca formülasyon değişikliği sonrasında proses uygulanabilirliğinin devam ettiği ve ürün stabilitesinin kabul edilebilir seviyede olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, çikolatalı puding ürünlerinde hidro-kolloid ve nişasta sistemlerinin birlikte değerlendirilmesinin, reolojik özelliklerin etkin şekilde yönetilmesine olanak sağladığını göstermektedir. Çalışma, hedef tüketici beklentilerine uygun tekstürün elde edilmesi ve formülasyon optimizasyonu süreçlerine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çikolatalı puding, reoloji, nişasta optimizasyonu, guar gam, tekstür, renovasyon.

ACHIEVING TARGET RHEOLOGICAL PROPERTIES THROUGH STARCH AND GUAR GUM OPTIMIZATION IN CHOCOLATE PUDDING FORMULATION

ABSTRACT

Consumer expectations and product optimization requirements have increased the importance of formulation improvements in dairy desserts. This study aimed to achieve the desired rheological properties in a chocolate pudding formulation by reducing starch content and completely removing guar gum from the stabilizing system. Preliminary evaluations showed that the existing formulation exhibited a higher viscosity than the targeted product profile, resulting in texture thicker than desired. Therefore, renovation study was conducted to obtain smoother and more fluid consistency while maintaining overall product quality.

Different formulation alternatives were developed and evaluated through rheological measurements, process observations, and sensory assessments. The impact of starch reduction and guar gum elimination on viscosity, texture, flow behavior, and product stability was investigated. Results demonstrated that the optimized formulation achieved a controlled decrease in viscosity and successfully met the targeted consistency profile. Furthermore, the product maintained a homogeneous structure, acceptable spoonability, and the desired mouthfeel characteristics throughout the evaluation period. No critical issues were observed regarding processability or product stability.

The findings indicate that optimization of starch and hydrocolloid systems can effectively tailor the rheological properties of chocolate pudding products. This study demonstrates that targeted formulation renovation can achieve desired texture characteristics while supporting product development objectives.

Keywords: Chocolate pudding, rheology, starch optimization, guar gum, texture, reformulation

OKTANOİK ASİT–JELATİN KONJUGATI TEMELLİ NANOTAŞIYICILARIN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

Lecturer Dr. Kevser BAL
Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering
ORCID: 0000-0002-9127-2380

Assoc. Prof. Dr. Özlem KAPLAN
Alanya Alaaddin Keykubat University, Rafet Kayış Faculty of Engineering, Department of Genetics and Bioengineering
ORCID: 0000-0002-3052-4556

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Koray GÖK
Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering
ORCID: 0000-0003-2497-9359

ÖZET
Jelatin; biyouyumluluğu, biyobozunurluğu ve kimyasal modifikasyona elverişli fonksiyonel grupları nedeniyle nanotaşıyıcı sistemlerin geliştirilmesinde önemli bir doğal polimerdir. Orta zincirli bir yağ asidi olan oktanoik asit ise antimikrobiyal özellikleri ve biyolojik membranlarla etkileşim potansiyeli nedeniyle biyomedikal uygulamalarda dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, jelatinin oktanoik asit ile kimyasal olarak modifiye edilmesi ve elde edilen konjugatın nanopartiküler taşıyıcı sistem olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Jelatin–oktanoik asit konjugasyonu Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile karakterize edilmiş ve ninhidrin testi sonucunda primer amin gruplarındaki dönüşüm oranı %14,98 ± 1,11 olarak belirlenmiştir. Nanopartiküller desolvasyon yöntemiyle hazırlanmış ve glutaraldehit ile çapraz bağlanmıştır. Kurkumin yüklenmesi sonrasında partikül boyutu 162,2 ± 1,2 nm, PDI 0,139 ± 0,047 ve zeta potansiyeli −32,0 ± 2,7 mV olarak belirlenmiştir. Serum stabilitesi çalışmalarında nanopartiküllerin hidrodinamik boyutlarını koruduğu, protein–yüzey etkileşimlerine bağlı olarak zeta potansiyelinin −7,1 ± 3,4 mV'ye değiştiği gözlenmiştir. Üç aylık depolama sonunda partikül boyutunun 168,5 ± 2,5 nm, PDI değerinin 0,242 ± 0,013 ve zeta potansiyelinin −33,2 ± 2,1 mV düzeyinde korunması, sistemin uzun dönem kolloidal stabilitesini göstermiştir. Kurkumin enkapsülasyon verimi %82,14 ± 1,3 olarak belirlenmiş, in vitro salım profilleri pH 5,0 ve pH 7,4 koşullarında değerlendirilmiştir. Bulgular, oktanoik asit–jelatin konjugatına dayalı nanopartiküllerin nanometrik boyut, yüksek yükleme kapasitesi, serum ortamındaki kararlılık ve uzun dönem fizikokimyasal stabilite açısından biyomedikal taşıma uygulamaları için güçlü bir platform sunduğunu göstermektedir. Oktanoik asidin bilinen biyolojik özellikleri de dikkate alındığında, geliştirilen nanoyapının özellikle antimikrobiyal ve kombine terapötik uygulamalar için değerli bir aday olduğu düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Oktanoik asit, jelatin, nanopartikül, kurkumin

PREPARATION and CHARACTERIZATION of OCTANOIC ACID–GELATIN CONJUGATE-BASED NANOCARRIERS

ABSTRACT
Gelatin is an important natural polymer for nanocarrier development due to its biocompatibility, biodegradability, and functional groups amenable to chemical modification.

Octanoic acid, a medium-chain fatty acid, is of interest in biomedical applications because of its antimicrobial properties and potential interactions with biological membranes. This study aimed to chemically modify gelatin with octanoic acid and evaluate the resulting conjugate as a nanoparticulate carrier system. Gelatin–octanoic acid conjugation was characterized by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and the conversion rate of primary amino groups was determined as 14.98 ± 1.11% by the ninhydrin assay. Nanoparticles were prepared by the desolvation method and crosslinked with glutaraldehyde. Following curcumin loading, the particle size was 162.2 ± 1.2 nm, the PDI was 0.139 ± 0.047, and the zeta potential was −32.0 ± 2.7 mV. In serum stability studies, the nanoparticles maintained their hydrodynamic size, whereas the zeta potential shifted to −7.1 ± 3.4 mV due to protein–surface interactions. After three months of storage, the maintenance of a particle size of 168.5 ± 2.5 nm, a PDI of 0.242 ± 0.013, and a zeta potential of −33.2 ± 2.1 mV demonstrated the long-term colloidal stability of the system. Curcumin encapsulation efficiency was 82.14 ± 1.3%, and the in vitro release profiles were evaluated at pH 5.0 and pH 7.4. The findings indicate that octanoic acid–gelatin conjugate-based nanoparticles provide a strong platform for biomedical delivery applications owing to their nanoscale dimensions, high loading capacity, serum stability, and long-term physicochemical stability. Considering the known biological properties of octanoic acid, the developed nanostructure is considered a valuable candidate, particularly for antimicrobial and combination therapeutic applications.

Keywords: Octanoic acid, gelatin, nanoparticle, curcumin

MEYVE SUYU ENDÜSTRİSİNDE TAKLİT VE TAĞŞİŞ RİSKLERİ VE KONTROL YAKLAŞIMLARI

Özgü Nur KAHRAMAN
DİMES A.Ş.
ORCID: 0009-0001-9051-9441

ÖZET

Gıda tedarik zincirinin karmaşıklaşması, hammaddelerin farklı coğrafyalardan temin edilmesi ve ekonomik dalgalanmalar, meyve suyu endüstrisinde taklit ve tağşiş risklerinin sistematik olarak değerlendirilmesini gerekli hâle getirmektedir. Bu derlemenin amacı, meyve suyu üretiminde karşılaşılabilecek başlıca gıda sahteciliği uygulamalarını ve bu risklerin kontrolünde kullanılabilecek önleyici yaklaşımları ortaya koymaktır. Meyve suyu ve benzeri ürünlerde en önemli riskler; ürünün su ile seyreltilmesi, daha düşük maliyetli meyve suyu veya şuruplarla ikame edilmesi, şeker ve organik asit profilinin yapay olarak değiştirilmesi, doğal içerik izlenimi oluşturmak amacıyla renk ve aroma bileşenlerinin uygunsuz kullanımı ile hammadde menşei veya ürün niteliğinin yanlış beyan edilmesidir. Bu tür uygulamalar yalnızca tüketicinin ekonomik olarak yanıltılmasına değil, ürün özgünlüğü, mevzuata uygunluk ve marka güvenilirliği açısından da önemli risklere yol açmaktadır. Kontrol yaklaşımında onaylı tedarikçi kullanımı, tedarikçi performansının izlenmesi, spesifikasyon ve analiz sertifikalarının doğrulanması, lot bazlı izlenebilirlik, fiyat ve menşe değişikliklerinin takibi ile risk esaslı doğrulama analizleri temel araçlar olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca HPLC, FTIR, izotop oranı analizi, DNA temelli yöntemler ve kemometrik yaklaşımlar ürün özgünlüğünün doğrulanmasında destekleyici teknikler olarak kullanılabilmektedir. Taklit ve tağşiş risk değerlendirmesinin, yeni vakalar ve tedarik zincirindeki değişiklikler doğrultusunda düzenli olarak gözden geçirilmesi de önem taşımaktadır. Sonuç olarak, meyve suyu endüstrisinde taklit ve tağşişin etkin yönetimi; tedarikçi kontrolü, dokümantasyon, izlenebilirlik ve analitik doğrulamanın birlikte ele alındığı risk temelli ve sürekli güncellenen bir kontrol sistemini gerektirmektedir.

Anahtar Kelimeler: meyve suyu, taklit ve tağşiş, gıda sahteciliği, ürün özgünlüğü, izlenebilirlik

FOOD FRAUD AND ADULTERATION RISKS AND CONTROL APPROACHES IN THE FRUIT JUICE INDUSTRY

ABSTRACT

The increasing complexity of food supply chains, sourcing of raw materials from different geographical regions, and economic fluctuations have made the systematic assessment of food fraud and adulteration risks increasingly important in the fruit juice industry. The aim of this review is to summarize the main forms of food fraud that may occur in fruit juice production and to present preventive approaches that can be used to control these risks. Major authenticity risks in fruit juices and related products include dilution with water, substitution with lower-cost fruit juices or syrups, artificial modification of sugar and organic acid profiles, inappropriate use of color and flavor compounds to imitate natural characteristics, and false declarations regarding raw material origin or product identity. Such practices may cause not only economic deception of consumers but also significant concerns regarding product authenticity, regulatory compliance, and brand reliability.

Effective control strategies include purchasing from approved suppliers, monitoring supplier performance, verifying specifications and certificates of analysis, maintaining lot-based traceability, monitoring unusual price or origin changes, and applying risk-based verification analyses. In addition, analytical techniques such as high-performance liquid chromatography, Fourier-transform infrared spectroscopy, stable isotope ratio analysis, DNA-based methods, and chemometric approaches can support the verification of product authenticity. A robust food fraud prevention program should also be periodically reviewed in light of new incidents, supplier changes, market conditions, and emerging analytical capabilities. In conclusion, effective management of food fraud and adulteration in the fruit juice industry requires an integrated, risk-based, and continuously updated control system that combines supplier assurance, documentation, traceability, market monitoring, and analytical verification.

Keywords: fruit juice, food fraud, adulteration, authenticity, traceability

MEYVE SUYU ENDÜSTRİSİNDE ALERJEN RİSKLERİNİN RİSK BAZLI YAKLAŞIMLA DEĞERLENDİRİLMESİ VE YÖNETİMİ

Hilal TÜFENK TEKERCİOĞLU
DİMES AŞ.
ORCID: 0000-0002-1345-8745

ÖZET

Gıda alerjenleri, duyarlı bireylerde ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmeleri nedeniyle gıda güvenliği açısından önemli tehlikeler arasında yer almaktadır. İçecek sektöründe kullanılan hammadde ve yardımcı malzemelerin çeşitliliği, farklı ürün formülasyonları, üretim hatlarının ortak kullanımı ve proses geçişleri alerjen kaynaklı risklerin etkin şekilde değerlendirilmesini gerektirmektedir. Alerjen yönetimi; hammadde kabulü, tedarikçi yönetimi, üretim, temizlik, etiketleme ve ürün değişiklikleri gibi süreçleri kapsayan bütüncül bir sistem içerisinde ele alınmalıdır.

Bu çalışmanın amacı, içecek sektöründe alerjen risklerinin risk bazlı yaklaşımla değerlendirilmesi ve kontrol edilmesine yönelik temel uygulamaları ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında hammadde ve yardımcı malzemelerin alerjen içerikleri, tedarikçilerden alınan alerjen beyanları, üretim proseslerinde çapraz bulaşma ihtimali, üretim planlaması, ekipman ve hatların temizliği, personel uygulamaları, ürün ve proses değişiklikleri ile son ürün etiketlerinin uygunluğu değerlendirilmiştir.

Değerlendirme sonucunda, etkin bir alerjen yönetimi için risklerin hammadde ve proses seviyesinde sistematik olarak değerlendirilmesinin önemli olduğu belirlenmiştir. Güncel tedarikçi bilgilerinin temini, çapraz bulaşma risklerinin kontrolü, temizlik etkinliğinin değerlendirilmesi ve etiket bilgilerinin formülasyonla uyumunun doğrulanması temel kontrol noktaları olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca ürün, hammadde, proses veya ekipman değişikliklerinde alerjen risk değerlendirmesinin yeniden yapılması önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, risk bazlı alerjen yönetimi tüketici sağlığının korunmasına ve gıda güvenliği yönetim sistemlerinin etkinliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alerjen yönetimi, gıda güvenliği, risk değerlendirmesi, içecek sektörü, çapraz bulaşma

RISK-BASED ASSESSMENT AND MANAGEMENT OF ALLERGEN RISKS IN THE FRUIT JUICE INDUSTRY

ABSTRACT

Food allergens are among the important hazards in food safety due to their potential to cause serious health problems in sensitive individuals. In the beverage industry, the diversity of raw materials and processing aids, different product formulations, the shared use of production lines, and process changeovers require effective assessment and control of allergen-related risks. Allergen management should be addressed as an integrated system covering processes such as raw material receiving, supplier management, production, cleaning, labeling, and product changes.

The aim of this study is to present the key practices for the risk-based assessment and control of allergen-related risks in the beverage industry. The study evaluates the allergen content of raw materials and processing aids, allergen declarations obtained from suppliers, the potential for cross-contact during production processes, production planning, cleaning of equipment and production lines, personnel practices, product and process changes, and the compliance of finished product labels.

The evaluation indicates that systematic assessment of risks at both raw material and process levels is essential for effective allergen management. Obtaining up-to-date supplier information, controlling cross-contact risks, evaluating cleaning effectiveness, and verifying the consistency of labeling information with product formulations are identified as key control points. In addition, allergen risk assessments should be reviewed and updated following changes to products, raw materials, processes, or equipment.

In conclusion, risk-based allergen management contributes to the protection of consumer health and the effectiveness of food safety management systems.

Keywords: Allergen management, food safety, risk assessment, beverage industry, cross-contact

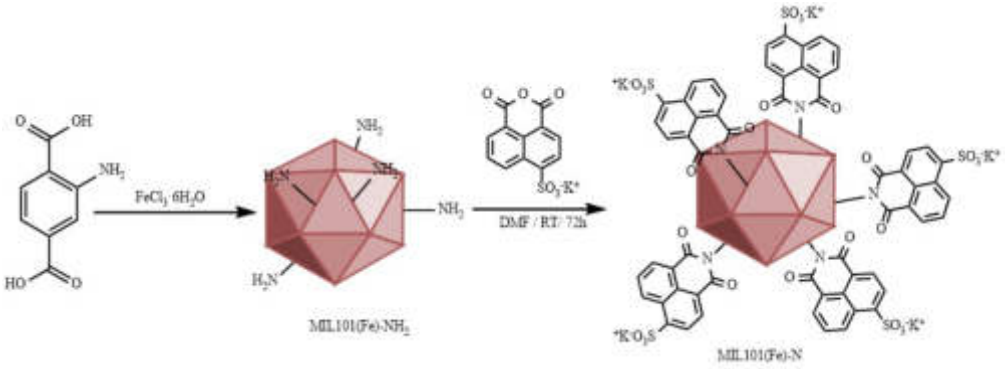
SENSOR APPLICATION OF 1,8-NAPHTHALIMIDE-FUNCTIONALIZED MIL-101(Fe)-NH_2 METAL-ORGANIC FRAMEWORK FOR Hg^{2+} ION DETECTION

Ayse YILDIRIM
Selçuk University, Faculty of Science, Chemistry Department
ORCID: 0000-0003-1219-5514

ABSTRACT
Metal-organic frameworks (MOFs) constitute an important class of materials for chemical sensing applications owing to their high surface areas, well-defined porous structures, and tunable functionalization capabilities. In particular, amino-functionalized MOFs enable the covalent attachment of various molecules through their reactive amino groups, thereby enhancing the functionality of the MOF platform. On the other hand, 1,8-naphthalimide derivatives are important fluorophores that have been widely employed in fluorescence-based detection of metal ions due to their strong and tunable photophysical properties. Previous studies have reported that 1,8-naphthalimide-based fluorescent sensors exhibit high selectivity and sensitivity toward Hg^{2+} ions. In this study, the amino-functionalized MIL-101(Fe)-NH_2 metal-organic framework was selected as a sensing platform, and a 1,8-naphthalimide derivative was covalently attached to the amino groups of MIL-101(Fe)-NH_2 to construct a novel MIL-101(Fe)-NH_2-naphthalimide hybrid material. The structural properties of the synthesized material were confirmed using various characterization techniques. The sensing properties of the prepared hybrid material toward different metal ions were investigated using spectroscopic methods. The obtained results demonstrated that the MIL-101(Fe)-NH_2-naphthalimide hybrid exhibited a pronounced signal response toward Hg^{2+} ions and high selectivity compared with the other investigated metal ions. Thus, a novel hybrid sensing platform for the selective detection of Hg^{2+} ions was developed by combining the high surface area of MIL-101(Fe)-NH_2 with the metal-ion recognition properties of the 1,8-naphthalimide moiety. This study demonstrates that the covalent immobilization of functional fluorophores onto MOF structures can provide an effective strategy for the selective detection of metal ions.
Keywords: MIL 101, Fluorescence, Hg2+ sensor

INTRODUCTION
Developments in industrialization and economic activities in different regions of the world have contributed to the significant improvement of living conditions and welfare levels of societies [1]. However, the fact that wastewater containing heavy metals from industrial and other human-caused activities reaches natural water environments without adequate treatment leads to metal ion pollution in water resources becoming one of the growing environmental problems. In particular, the presence of high concentrations of metal ions in the environment can negatively affect the quality of drinking and utility water and pose serious risks to human health [2]. Fluorescence-based probes have emerged as valuable analytical tools for the identification and monitoring of metal ions, with applications ranging from environmental analysis to biological systems. In particular, significant research efforts have been devoted to the design of highly sensitive fluorescence probes capable of selectively identifying biologically important metal species[3, 4]. Increasing evidence shows that the release of hazardous heavy metals into aquatic environments is a significant and growing concern for both ecological systems and public health. While human activities may alter the natural distribution of these metals, their persistence and accumulation within living organisms can negatively impact ecosystem stability and biological processes [5, 6].

Among the metal ions of environmental concern, mercury is considered a highly toxic pollutant frequently encountered in water systems [7]. Therefore, effective monitoring and regulation of heavy metal concentrations in drinking water sources is essential to mitigate potential risks to human health [8, 9]. Long-term or excessive exposure to mercury has been shown to be associated with a range of adverse biological effects, including DNA damage and mutations, developmental and prenatal neurological disorders, carcinogenic effects, renal dysfunction, genetic alterations, and gastrointestinal disturbances. Exposure to drinking water containing mercury concentrations exceeding established safety limits has been shown to be associated with a variety of adverse health effects, including fatigue, tremors, neuromuscular disorders, irritability, changes in heart rate and blood pressure, diarrhea, and nausea [10-12].
Metal–organic frameworks (MOFs) represent a versatile class of porous coordination materials in which metal ions or metal clusters are interconnected by organic linkers to generate well-defined porous architectures [13]. Their distinctive structural characteristics, including high specific surface area, adjustable pore dimensions, and favorable chemical and thermal stability, have enabled their application across a broad range of scientific fields [14-17]. Accordingly, MOF-based materials and their derivatives have been investigated for diverse purposes, such as heterogeneous catalysis [18], electrocatalytic processes [19], gas adsorption and separation [20], enzyme immobilization [21], and the detection of metal ions [22].
To our knowledge, studies on the immobilization of MIL101(Fe)-NH_2 with 1,8-naphthalimide are limited. In this study, we prepared a MIL101(Fe)-N material capable of detecting Hg^{2+} ions in aqueous medium.



Scheme 1. Synthesis and functionalization pathways of MIL-101(Fe)-NH_2 and MIL-101(Fe)-N materials.

EXPERİMENTAL SECTİON

Preparation from MIL-101(Fe)-NH_2: It will be prepared by mixing a solution of 0.225 g (1.242 mmol) of 2-aminoterephthalic acid in 7.5 mL of DMF with a solution of 0.675 g (2.497 mmol) of $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ in 7.5 mL of DMF. The product will be kept under solvothermal conditions at 110 °C for 20 hours in a stainless steel autoclave. The reaction product will be separated by filtration, and the crystals will be washed with DMF and chloroform to remove any remaining metal and ligand. Then, the MOF will be dried at 150 °C for 15 hours under ambient conditions [23]. The prepared MIL-101(Fe)-NH_2 structure will be characterized using techniques such as FTIR, SEM, or EDX.
Preparation from MIL-101(Fe)-N: 0.2 grams of MIL-101(Fe)-NH_2 were placed in an Erlenmeyer flask, and 0.2 grams of 4-sulfo-1,8-naphthylalanhydride potassium salt were added. The reaction was carried out in a nitrogen atmosphere at room temperature in DMF.

After the reaction was complete, centrifugation was performed at 1500 rpm for 5 minutes, followed by three washes with ethanol. Then, drying was performed in a vacuum oven at 70 °C [24]. The prepared MIL-101(Fe)-N structure was characterized using techniques such as FTIR, SEM, or EDX.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

The main objective of this study is to develop a novel 1,8-naphthalimide-substituted MOF-based sensor for both fluorometric and colorimetric determination of Hg^{2+} ions. As shown in Scheme 1, MIL101(Fe)-NH_2 was prepared by reacting 2-aminoterephthalic acid with $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ at 15°C for 15 hours. Subsequently, this MOF derivative was reacted with the potassium salt of 4-sulfo-1,8-naphthalic anhydride to develop the MIL101(Fe)-N material. The structures of the obtained material were confirmed by spectroscopic methods such as FTIR, SEM, and EDX [23].

The FTIR spectra of MIL101(Fe)-NH_2 and MIL101(Fe)-N materials are given in **Figure 1.** The appearance of the C=O stretching imide band and the 1062 cm^{-1} band corresponding to the S=O symmetric stretching of the sulfonate ($–SO_3^-$) group in the FTIR spectra of MIL101(Fe)-N confirms that 4-sulfo-1,8-naphthylanehydride is immobilized in MIL101(Fe)-NH_2 [24].

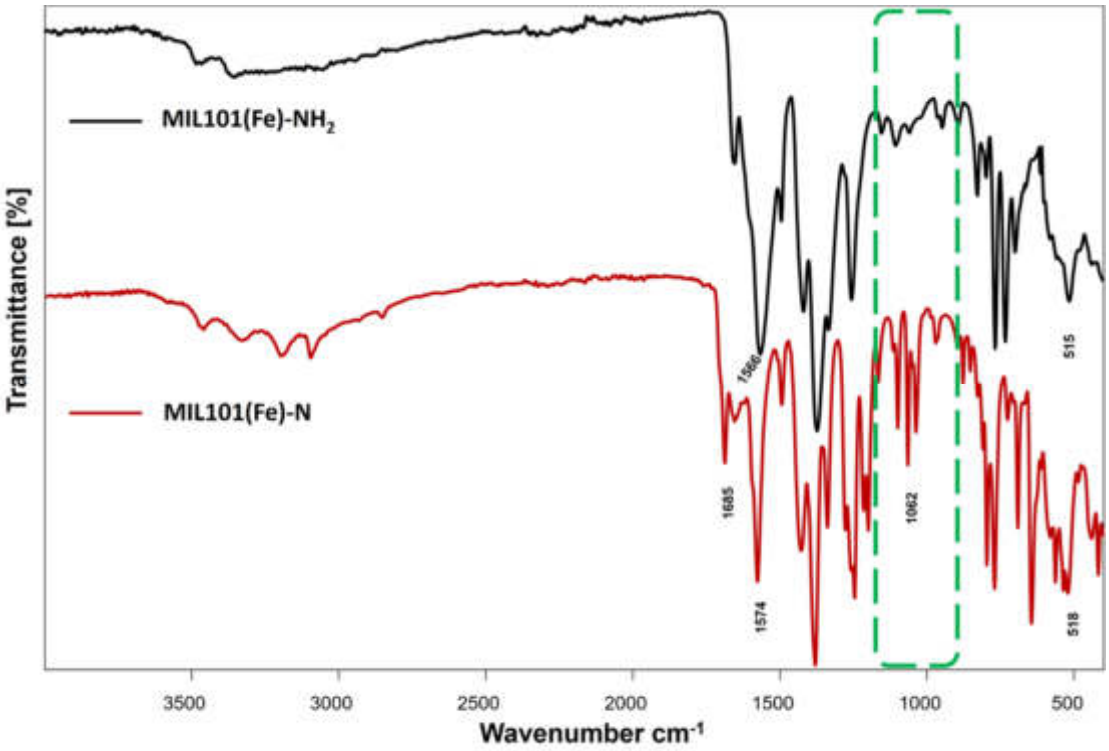


Figure 1. FTIR Spectra of MIL101(Fe)-NH_2 and MIL101(Fe)-N Materials.

The SEM images in **Figure 2** (**A** and **B**) were obtained to elucidate the surface morphologies of MIL101(Fe)-NH_2 and MIL101(Fe)-N. While a smooth surface was observed in MIL101(Fe)-NH_2, morphological differences were observed in MIL101(Fe)-N. The changes in morphologies confirm that the MIL101(Fe)-N material was successfully prepared. In addition, the immobilization of 1,8-naphthylalanhydride onto MIL101(Fe)-NH_2 was confirmed by EDX analysis.

When comparing the data of MIL101(Fe)-NH_2 and MIL101(Fe)-N, the elements Fe, C, O, and N were observed in both. In addition, changes were observed after immobilization with the detection of S and K elements in MIL101(Fe)-N (**Figure 3**)[25].

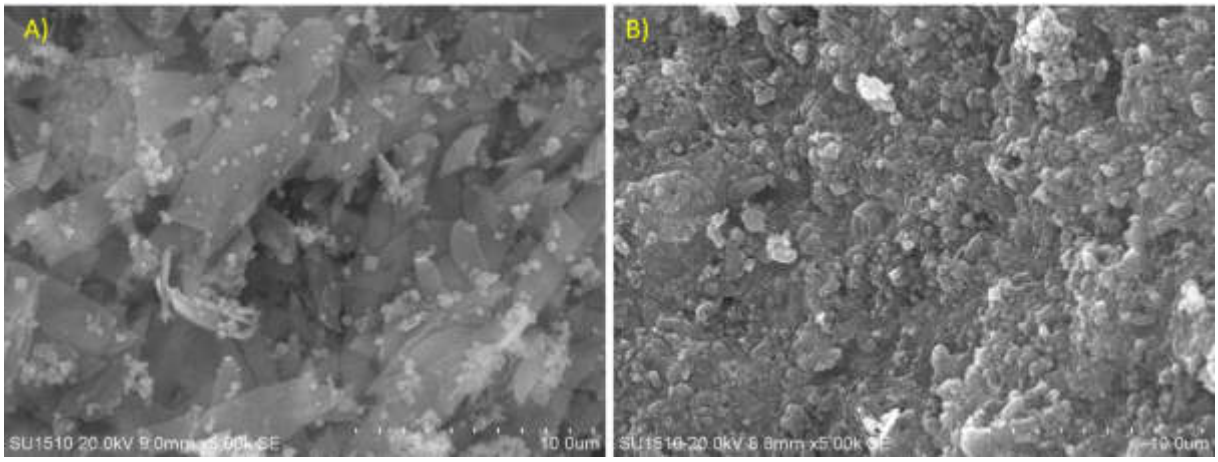


Figure 2. SEM Images of (A) MIL101(Fe)-NH_2 and (B) MIL101(Fe)-N Materials

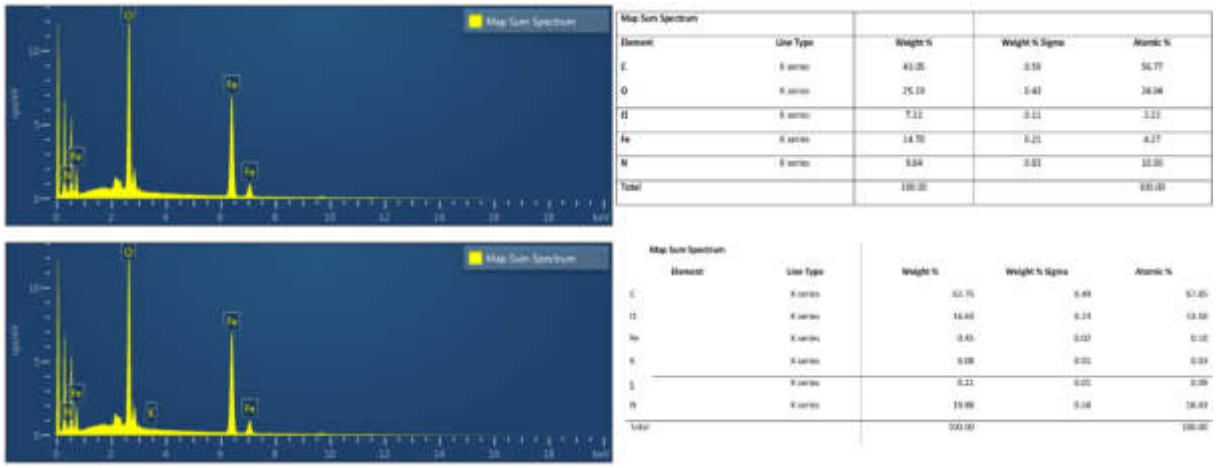


Figure 3. EDX Spectra and Composition Tables of (A) MIL101(Fe)-NH_2 and (B) MIL101(Fe)-N Materials

To investigate the sensitivity of the prepared MIL101(Fe)-N material to cations, a stock solution was prepared by suspending 0.1 grams of MIL101(Fe)-N in 10 mL of distilled water. For luminescence experiments, $1x10^{-3}$M cation solutions were prepared by dissolving different cations (Al^{3+}, Ba^{2+}, Co^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Hg^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, and Ni^{2+}) in distilled water. **Figure 4A** shows the effect of different cations on the fluorescence intensity of MIL101(Fe)-N. In **Figure 4A**, it was observed that Hg^{2+} reduced the fluorescence intensity of MIL101(Fe)-N by 70%. In the cation interference effect study, **Figure 4B** shows that only Hg^{2+} changed the fluorescence intensity, while other cations did not change the fluorescence intensity [26].

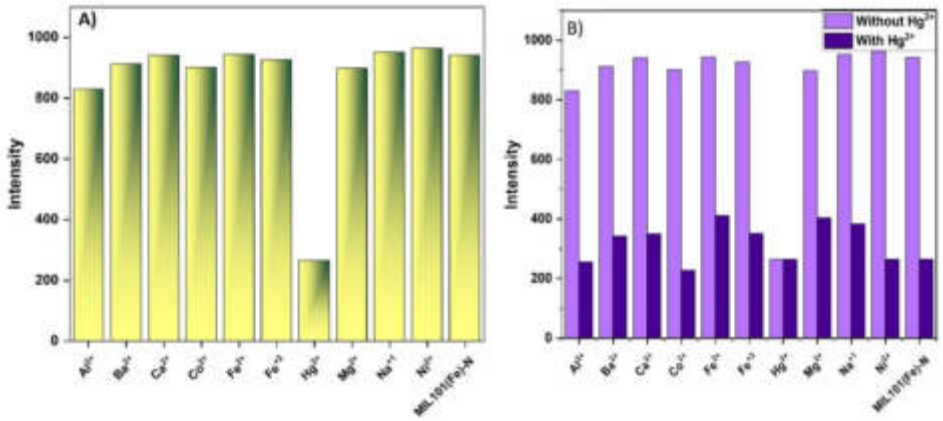


Figure 4. (A) Change in the fluorescence spectrum of MIL101(Fe)-N upon addition of various metal cations (Al^{3+}, Ba^{2+}, Co^{2+}, Fe^{2+} Fe^{3+} $Hg^{2+,}$ Mg^{2+}, Na^{+}, and Ni^{2+}) (λex = 330 nm, λem = 420 nm) **(B)** Effect of other metal ions on the emission intensity of MIL101(Fe)-N.

As shown in **Figure 5**, the fluorescence intensity ratio (F0/F) increases as the Hg^{2+} concentration increases. The limit of detection (LOD) of MIL101(Fe)-N for Hg^{2+} was calculated from the following equation:

LOD = 3a/K

Here, a is the standard deviation of the fluorescence intensity; K is the slope of the calibration curve. The LOD of MIL101(Fe)-N against the Hg^{2+} cation was found to be 12.25 µM [27].

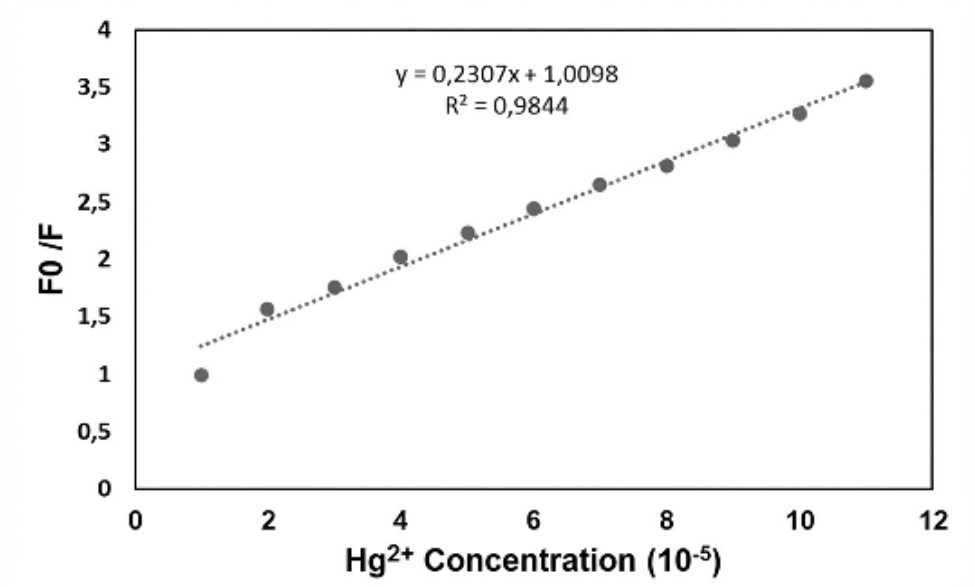


Figure 5. Fluorescence intensity ratios (F0/F) obtained from different Hg^{2+} concentrations.

CONCLUSION

In conclusion, the cation-sensing performance of the fluorescent naphthalene-functionalized MIL-101(Fe)-NH_2 framework was systematically evaluated. The experimental results demonstrated a pronounced response toward Hg^{2+} ions compared with the other investigated cations, indicating a favorable degree of selectivity and sensitivity for mercury detection. Moreover, the calculated limit of detection (LOD) was 12.25 µM highlighting the potential of the developed fluorescent MOF as an effective platform for the detection of Hg^{2+} ions.

REFERENCES

1. Du, L., et al., *Increased iron deposition on brain quantitative susceptibility mapping correlates with decreased cognitive function in Alzheimer's disease.* ACS chemical neuroscience, 2018. **9**(7): p. 1849-1857.

2. Fan, J., et al., *Cellulose-based sensors for metal ions detection.* Cellulose, 2020. **27**(10): p. 5477-5507.

3. Fateh, F., et al., *A new Benzothiazin-functionalized calix [4] arene-based fluorescent Chemosensor for the selective detection of Co2+ ion.* Journal of Fluorescence, 2021. **31**(4): p. 1075-1083.

4. Luo, A.-L., et al., *A simple and pH-independent and ultrasensitive fluorescent probe for the rapid detection of Hg2+.* Talanta, 2013. **117**: p. 326-332.

5. Sun, T., et al., *Novel oligothiophene-based dual-mode chemosensor:"naked-eye" colorimetric recognition of Hg2+ and sequential off-on fluorescence detection of Fe3+ and Hg2+ in aqueous media and its application in practical samples.* Sensors and Actuators B: Chemical, 2017. **248**: p. 24-34.

6. Tripathy, M., U. Subuddhi, and S. Patel, *A styrylpyridinium dye as chromogenic and fluorogenic dual mode chemosensor for selective detection of mercuric ion: Application in bacterial cell imaging and molecular logic gate.* Dyes and Pigments, 2020. **174**: p. 108054.

7. Li, Y., et al., *Novel hemicyanine dye as colorimetric and fluorometric dual-modal chemosensor for mercury in water.* Organic & biomolecular chemistry, 2011. **9**(8): p. 2606-2609.

8. Gumpu, M.B., et al., *A review on detection of heavy metal ions in water–an electrochemical approach.* Sensors and actuators B: chemical, 2015. **213**: p. 515-533.

9. Yildirim, A., et al., *Dual fluorescence response of calix [4] arene-1, 8-naphthalimide derivatives towards Hg (II)/Cr (VI) and their antimicrobial studies of transparent biofilms with hyaluronic acid.* International Journal of Biological Macromolecules, 2024. **273**: p. 132955.

10. Qiao, G., et al., *Signal transduction from small particles: Sulfur nanodots featuring mercury sensing, cell entry mechanism and in vitro tracking performance.* Chemical Engineering Journal, 2020. **382**: p. 122907.

11. Wanichacheva, N., et al., *Rhodamine B-based "turn-on" fluorescent and colorimetric chemosensors for highly sensitive and selective detection of mercury (II) ions.* Journal of luminescence, 2012. **132**(1): p. 35-40.

12. Gigi, G. and A.M. Mohan, *Probe-impregnated monolithic polymer as a robust solid-state colorimetric chemosensor for selective sensing of Hg2+ in environmental water and cigarette samples.* Environmental Research, 2023. **220**: p. 115210.

13. Liu, Y., et al., *Strategies to fabricate metal–organic framework (MOF)-based luminescent sensing platforms.* Journal of Materials Chemistry C, 2019. **7**(35): p. 10743-10763.

14. Anik, Ü., S. Timur, and Z. Dursun, *Metal organic frameworks in electrochemical and optical sensing platforms: a review.* Microchimica Acta, 2019. **186**(3): p. 196.

15. Vikrant, K., et al., *Metal-organic framework (MOF)-based advanced sensing platforms for the detection of hydrogen sulfide.* TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2018. **105**: p. 263-281.

16. Mohan, B., et al., *Mechanistic insight into charge and energy transfers of luminescent metal–organic frameworks based sensors for toxic chemicals.* Advanced Sustainable Systems, 2021. **5**(5): p. 2000293.

17. Abazari, R., et al., *Third-order nonlinear optical behavior of an amide-tricarboxylate zinc (II) metal–organic framework with two-fold 3D+ 3D interpenetration.* Inorganic Chemistry, 2021. **60**(13): p. 9700-9708.

18. Jiao, L., et al., *Metal–organic frameworks as platforms for catalytic applications.* Advanced Materials, 2018. **30**(37): p. 1703663.

19. Pan, Y., et al., *Advances in metal–organic frameworks and their derivatives for diverse electrocatalytic applications.* Electrochemistry Communications, 2021. **126**: p. 107024.

20. Sun, X., et al., *Ligand Functionalization in Zirconium-Based Metal-Organic Frameworks for Enhanced Carbon Dioxide Fixation.* Advanced Sustainable Systems, 2020. **4**(9): p. 2000098.

21. Ascioglu, S., et al., *Fabrication of lipase-immobilized proline-conjugated zirconium-based metal-organic framework (UiO-66-NH2) to enhance catalytic activity, stability, and enantioselectivity.* Biochemical Engineering Journal, 2024. **204**: p. 109242.

22. Li, Z., et al., *A water-stable europium-MOF as a multifunctional luminescent sensor for some inorganic ions and dichloromethane molecule.* Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2021. **97**: p. 180-187.

23. Jin, Y., et al., *Modular construction of an MIL-101 (Fe)@ MIL-100 (Fe) dual-compartment nanoreactor and its boosted photocatalytic activity toward tetracycline.* ACS Applied Materials & Interfaces, 2022. **14**(42): p. 48285-48295.

24. Yildirim, A., et al., *Synthesis of new fluorescent metal-organic framework (4-sulfo-1, 8-naphthalimide-UiO66) for detection of Cr (III)/Cr (VI) ions in aqueous media and its antimicrobial studies.* Materials Today Communications, 2022. **32**: p. 104117.

25. Li, Z., et al., *Adsorption behavior of arsenicals on MIL-101 (Fe): the role of arsenic chemical structures.* Journal of colloid and interface science, 2019. **554**: p. 692-704.

26. Kayhan, E.Y., et al., *A cellulose-based material as a fluorescent sensor for Cr (VI) detection and investigation of antimicrobial properties of its encapsulated form in two different MOFs.* International Journal of Biological Macromolecules, 2023. **240**: p. 124426.

27. Yildirim, A., et al., *A bi-modal, cellulose-based sensor for fluorometric detection of Fe (III) and antimicrobial studies of its silver-loaded form.* International Journal of Biological Macromolecules, 2021. **183**: p. 35-44.

BELİREN YETİŞKİNLİKTE ROMANTİK İLİŞKİLERDE DUYGUSAL YAKINLIK: BAĞLANMA STİLLERİ VE İLİŞKİSEL SABOTAJIN ROLÜ

Dr. Öğr. Üyesi Özlem Özden TUNCA
Fenerbahçe Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Psikoloji Bölümü
ORCID: 0000-0002-5006-1018

Yasemin GÜNDOĞMUŞ
ORCID: 0009-0009-5327-0470

ÖZET
Beliren yetişkinlik, romantik ilişkilerin önem kazandığı, yakınlık kurma ve sürdürme biçimlerinin belirginleştiği önemli bir gelişim dönemidir. Bu çalışmada, 18–29 yaş aralığındaki bireylerin bağlanma stilleri ile romantik ilişkilerinde yaşadıkları duygusal yakınlık arasındaki ilişkiler incelenmiş ve ilişkisel sabotaj davranışlarının bu ilişkilerdeki aracı rolü değerlendirilmiştir. Nicel araştırma yaklaşımı kapsamında ilişkisel tarama modeliyle yürütülen araştırmaya, Türkiye'de yaşayan ve en az altı aydır romantik ilişkisi bulunan 280 beliren yetişkin katılmıştır. Araştırma verileri Kişisel Bilgi Formu, Üç Boyutlu Bağlanma Stilleri Ölçeği, Romantik İlişkilerde Sabotaj Ölçeği ve Romantik İlişkilerde Duygusal Yakınlık Ölçeği kullanılarak çevrim içi ortamda toplanmıştır. Verilerin analizinde betimsel istatistiklerin yanı sıra bağımsız örneklemler t testi, Mann–Whitney U testi, tek yönlü varyans analizi, Kruskal–Wallis H testi, Pearson korelasyon analizi ve doğrusal regresyon analizi kullanılmış; aracılık modelleri Hayes PROCESS Macro aracılığıyla test edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre güvenli bağlanma duygusal yakınlığı anlamlı ve pozitif yönde yordarken; kaçıngan bağlanma, kaygılı-kararsız bağlanma ve ilişkisel sabotaj duygusal yakınlığı anlamlı ve negatif yönde yordamıştır. Aracılık analizleri, ilişkisel sabotajın güvenli bağlanma ile duygusal yakınlık arasındaki ilişkide kısmi aracılık rolüne sahip olduğunu göstermiştir. Buna karşılık ilişkisel sabotajın, kaçıngan bağlanma ile duygusal yakınlık ve kaygılı-kararsız bağlanma ile duygusal yakınlık arasındaki ilişkilerde tam aracılık rolü üstlendiği belirlenmiştir. Bulgular, güvensiz bağlanma örüntüleri, ilişkisel sabotaj davranışları ve duygusal yakınlık arasında anlamlı ilişkiler bulunduğunu; özellikle ilişkisel sabotajın bu ilişkilerin açıklanmasında önemli bir aracı değişken olduğunu göstermektedir. Araştırmadan elde edilen sonuçların, beliren yetişkinlere yönelik psikoeğitim programlarının yanı sıra psikolojik danışma ve çift terapisi uygulamalarının yapılandırılmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Aracılık, Bağlanma Stilleri, Beliren Yetişkinlik, Duygusal Yakınlık, İlişkisel Sabotaj, Romantik İlişkiler.

EMOTIONAL INTIMACY IN ROMANTIC RELATIONSHIPS DURING EMERGING ADULTHOOD: THE ROLE OF ATTACHMENT STYLES AND RELATIONSHIP SABOTAGE

ABSTRACT
Emerging adulthood is an important developmental period during which romantic relationships become increasingly significant and patterns of establishing and maintaining emotional intimacy become more evident. This study examined the relationships between attachment styles and emotional intimacy in romantic relationships among individuals aged 18–29 and evaluated the mediating role of relational sabotage in these relationships.

The study employed a quantitative correlational research design and included 280 emerging adults living in Türkiye who had been in a romantic relationship for at least six months. Data were collected online using the Personal Information Form, the Three-Dimensional Attachment Styles Scale, the Romantic Relationship Sabotage Scale, and the Emotional Intimacy in Romantic Relationships Scale. Data were analyzed using descriptive statistics, independent-samples t test, Mann–Whitney U test, one-way analysis of variance, Kruskal–Wallis H test, Pearson correlation analysis, and linear regression analysis. The mediation models were tested using Hayes' PROCESS macro. The results showed that secure attachment significantly and positively predicted emotional intimacy, whereas avoidant attachment, anxious-ambivalent attachment, and relational sabotage significantly and negatively predicted emotional intimacy. The mediation analyses indicated that relational sabotage partially mediated the relationship between secure attachment and emotional intimacy. In contrast, relational sabotage fully mediated the relationship between avoidant attachment and emotional intimacy and the relationship between anxious-ambivalent attachment and emotional intimacy. The findings demonstrate significant relationships among insecure attachment patterns, relational sabotage, and emotional intimacy and indicate that relational sabotage is an important mediating variable in explaining these relationships. The results may contribute to the development of psychoeducational programs for emerging adults and inform psychological counseling and couple therapy practices.

Keywords: Attachment Styles, Emerging Adulthood, Emotional Intimacy, Mediation, Relational Sabotage, Romantic Relationships

GENÇ YETİŞKİNLERDE YAŞAM BECERİLERİNİN VE SANAL ORTAM YALNIZLIK DÜZEYİNİN SOSYOTELİZM DÜZEYİNİ YORDAYICI ROLÜ

Akif Furkan ALEMDAR
Yıldız Teknik Üniversitesi
ORCID: 0009-0006-8058-9354

Prof. Dr. Fulya YÜKSEL ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi
ORCID: 0000-0003-3454-2142

ÖZET
Günümüzde akıllı telefonların ve çevrim içi iletişim araçlarının günlük yaşamda yaygın biçimde kullanılması, bireylerin iletişim biçimlerinde önemli değişikliklere neden olmuştur. Dijital araçlar iletişimi kolaylaştırmakla birlikte yüz yüze etkileşim sırasında dikkatin telefona yönelmesi gibi bazı sorunları da beraberinde getirmiştir. Sosyotelizm olarak adlandırılan bu davranış, kişilerarası iletişimin niteliğini olumsuz etkileyebilen güncel bir sorun olarak ele alınmaktadır. Özellikle dijital iletişimin yoğun olarak kullanıldığı genç yetişkinlik döneminde sosyotelizmle ilişkili bireysel ve sosyal etkenlerin belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu araştırmanın amacı, genç yetişkin bireylerin yaşam becerileri ve sanal ortam yalnızlık düzeylerinin sosyotelizm düzeyini yordayıcı rolünü incelemektir. Araştırma nicel araştırma yaklaşımı kapsamında betimsel ve kesitsel tarama modelinde yürütülmüştür. Çalışma grubunu Türkiye'de yaşayan 18-35 yaş aralığındaki 444 genç yetişkin oluşturmaktadır. Araştırmada Kişisel Bilgi Formu, Genel Sosyotelist Olma Ölçeği, Yaşam Becerileri Ölçeği ve Sanal Ortam Yalnızlık Ölçeği kullanılmıştır. Ölçeklerin bu araştırmadaki Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları sırasıyla .888, .938 ve .730 olarak bulunmuştur. Verilerin analizinde ikili lojistik regresyon analizi kullanılmıştır. Araştırma sonucunda yaşam becerilerinin sosyotelizm düzeyini negatif yönde; sanal ortam yalnızlığının ve sosyal ilişkilerde çevrim içi iletişimi tercih etmenin ise pozitif yönde ve anlamlı biçimde yordadığı belirlenmiştir. Cinsiyetin ve maddi yetersizlik nedeniyle yüz yüze sosyal ortamlara katılımın sınırlanmasının sosyotelizm düzeyini anlamlı biçimde yordamadığı görülmüştür. Sonuç olarak, genç yetişkinlerde yaşam becerilerinin güçlendirilmesinin ve sanal ortamda yaşanan yalnızlığın azaltılmasına yönelik çalışmaların sosyotelist davranışların azaltılmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Sosyotelizm, yaşam becerileri, sanal ortam yalnızlığı, genç yetişkinler.

THE PREDICTIVE ROLE OF LIFE SKILLS AND VIRTUAL ENVIRONMENT LONELINESS LEVELS IN PHUBBING LEVELS AMONG YOUNG ADULTS

ABSTRACT
Today, the widespread use of smartphones and online communication tools in daily life has led to significant changes in individuals' communication patterns. Although digital tools facilitate communication, they have also brought about certain problems, such as directing attention to mobile phones during face-to-face interactions. This behavior, referred to as phubbing, is considered a contemporary problem that may negatively affect the quality of interpersonal communication. Particularly during young adulthood, when digital communication is used intensively, identifying the individual and social factors associated with phubbing is important. The aim of this study was to examine the predictive role of young adults' life skills and virtual environment loneliness levels in their phubbing levels.

The study was conducted using a descriptive and cross-sectional survey model within the quantitative research approach. The study group consisted of 444 young adults aged 18–35 living in Türkiye. The Personal Information Form, General Phubbing Scale, Life Skills Scale, and Virtual Environment Loneliness Scale were used as data collection tools. The Cronbach's alpha internal consistency coefficients of the scales in the present study were found to be .888, .938, and .730, respectively. Binary logistic regression analysis was used to analyze the data. The findings showed that life skills negatively and significantly predicted phubbing levels, whereas virtual environment loneliness and preference for online communication in social relationships positively and significantly predicted phubbing levels. Gender and limited participation in face-to-face social environments due to financial insufficiency were not found to significantly predict phubbing levels. In conclusion, strengthening life skills and conducting interventions aimed at reducing loneliness experienced in virtual environments may contribute to reducing phubbing behaviors among young adults.
Keywords: Phubbing, life skills, virtual environment loneliness, young adults.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

DEĞİŞEN AİLE YAPISI VE GRİ BOŞANMALARIN YÜKSELİŞİ

"Medeniyetin esası, terakki ve kuvvetin temeli aile hayatındadır"
M. K. ATATÜRK

Prof. Dr. Veda BİLİCAN GÖKKAYA
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Sosyal Hizmet Bölümü
ORCID: 0000-0001-5083-6445

Prof. Dr. Meral ÖZTÜRK
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Sosyal Hizmet Bölümü
ORCID: 0000-0001-7570-5361

ÖZET
Toplumsal değişim ve dönüşüm süreçleri, yapı içerisinde yer alan tüm kurumları olduğu gibi evlilik ve aile kurumunu da derinden etkilemektedir. Bu dinamik süreç, evlilik ve aile kurumuna dair bilindik/alışılmış kalıpları/normları dönüştürürken literatürde yeni olguların da ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Bunlardan biri de 50 yaş ve üstü yetişkinlerde meydana gelen boşanmaları tanımlamak için kullanılan "*gri boşanma*" (Brown ve Lin, 2012; Brown ve Lin, 2022; Brown vd., 2019) olgusudur.
Toplum ve bireyler üzerinde önemli etkileri olan boşanma; eşler arasındaki evliliğin hukuki olarak sona ermesi/bitmesi olarak tanımlanmaktadır. Nedenleri ve sonuçları itibariyle pek çok değişkeni içinde barındıran boşanma olgusu yaygın olarak evliliğin ilk beş yılı gibi erken evrelerle ilişkilendirilse de günümüz araştırmaları; riskin sadece genç yetişkinlerle sınırlı olmadığını, 50 yaş ve üstü bireylerde de belirgin bir şekilde artış eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Sözü edilen bu yaş yetişkinlerin evliliklerinin sona ermesi önceden büyük ölçüde eşlerden birinin vefat etmesiyle gerçekleşirken günümüzde artık çiftlerin isteyerek/karşılıklı verilen kararlarla gerçekleştiği görülmektedir.
Nüfusun giderek yaşlandığı ve evlilik oranlarının eskiye nazaran günden güne azaldığı günümüz toplumlarına bakıldığında elli yaş ve üstü bireyler arasında boşanma oranlarındaki bu dikkat çekici artış; çiftlerin boşanmaya karar vermesinin, boşanma süreçlerinin ve boşanma sonrasındaki yaşadıklarının üstünde önemle durulması gereken bir konu olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla literatür taramasına dayalı derleme niteliğinde olan bu çalışmada, gri boşanma kavramı; nedenleri, sonuçları ve çözüm önerileri bağlamında ele alınarak ilgili alanyazına katkı sağlamak amaçlanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Evlilik, Aile, Boşanma, Gri Boşanma

CHANGING FAMILY STRUCTURES AND THE RISE OF GRAY DIVORCE

ABSTRACT
Processes of social change and transformation profoundly affect all institutions within society, including the institutions of marriage and family. This dynamic process transforms familiar and established patterns and norms concerning marriage and family, while also providing a basis for the emergence of new phenomena in the literature. One such phenomenon is "gray divorce," a term used to describe divorces occurring among adults aged 50 and over (Brown & Lin, 2012; Brown & Lin, 2022).

Divorce, which has significant implications for both individuals and society, is defined as the legal dissolution or termination of a marriage between spouses. Although divorce is commonly associated with the early stages of marriage, particularly the first five years, research increasingly demonstrates that the risk of divorce is not limited to younger adults and has also shown a marked upward trend among individuals aged 50 and over. While the dissolution of marriages among adults in this age group was previously more likely to occur as a result of the death of one spouse, today such marriages are increasingly ending through voluntary and/or mutually agreed-upon decisions by couples.
Considering contemporary societies characterized by an increasingly aging population and declining marriage rates compared with previous periods, the striking increase in divorce rates among individuals aged 50 and over demonstrates the importance of examining the factors influencing couples' decisions to divorce, the divorce process itself, and their experiences following divorce. Accordingly, this literature-based review study aims to contribute to the relevant body of scholarship by examining the concept of gray divorce in terms of its causes, consequences, and potential solutions.
Keywords: Marriage, Family, Divorce, Gray Divorce

GİRİŞ

Evlilik oranlarındaki düşüş ve boşanma oranlarındaki artış, bireysel ve toplumsal düzeyde önemli sonuçlar/etkiler doğurmaktadır (Özgüven, 2010; Şahan ve Kılıçarslan, 2024; Kaya ve Tan-Eren, 2020). Sosyoloji, psikoloji, hukuk ve ekonomi gibi pek çok disiplinin odağında yer alan ve evlilik birliğinin çeşitli nedenlere dayanarak yasal olarak sonlandırılması olan boşanma (Öksüzler-Cabıları ve Yılmaz, 2022: 1), günümüzde yalnızca genç yetişkinleri değil ileri yaştaki bireyleri de içine alarak yaygınlaşmaktadır.
Toplumsal yapıdaki evliliklerin/evlilikle ilgili algıların değişip, dönüşmesi, yaşam süresinin uzaması, bireyselleşmenin artması, evli bireylerin istek ve beklentilerin farklılaşması/bunların karşılanmaması, sağlıksız iletişim, kötü muamele vb. nedenler, ileri yaşlarda bireylerin boşanmasına yol açmakta bu da son dönemlerde literatüre giren ileri yaş boşanması olan gri boşanma -50 yaş ve üzeri bireylerde boşanma- olgusunu gündeme taşımaktadır.
Boşanma konusu genç yetişkinler arasında kapsamlı bir şekilde incelenmiş olsa da bugüne kadarki araştırmalar, 50 yaş ve üzeri yetişkinlerin yaşadığı boşanmaları büyük ölçüde göz ardı etmiştir (Brown ve Lin, 2012: 731). Orta ve ileri yaşlarda evliliğin sona ermesi, geleneksel modellere uymayan kendine özgü bir süreçtir (Lin vd., 2019: 16) ve kendine has dinamikleriyle dikkatle incelenmelidir.
Dolayısıyla değişen dünyada gri boşanma oranlarının giderek artış göstermesi, bu konunun üzerinde önemle durulmasını gerekli kılmaktadır. Güçlü ailelerin güçlü toplumlar doğurduğu gerçeğinden hareketle bu çalışmada; aile kurumunun yaşadığı sorunlardan biri olan gri boşanma olgusuna, nedenlerine, sonuçlarına değinilmiş, konu hakkında öneriler sunularak literatüre katkı sunulması amaçlanmıştır.

EVLİLİK, AİLE ve BOŞANMA ÜZERİNE

Bireylerin hukuki/resmi yollarla yaşamlarını birleştirmesi olarak ifade edilen (Demirel ve Şahin, 2018: 65) evliliklerle kurulan aileler, toplumsal yapının devam etmesinde vazgeçilmez bir faktördür (İçli, 1991: 98). Birbirlerine kan bağı, evlilik ve akrabalık bağı ile bağlı olan, yetişkinlerin koruma ve bakım yükümlülüğü taşıdığı, bireylerin fizyolojik, psikolojik, sosyal ve kültürel gereksinimlerinin karşılandığı toplumsal bir kurum (Özensel, 2023: 13) olan aile; zaman içinde yapı değişimine uğrasa da bazı fonksiyonlarını toplumun diğer kurumlarına devretmiş olsa da (İçli, 1991: 97) hala biyolojik, psikolojik doyum sağlama, ekonomik,

eğitim, dini, boş zamanları değerlendirme gibi işlevleri (Zeybekoğlu-Dündar, 2012; Çağan, 2025) yerine getirmektedir.

Toplumsal değişimin odağında yer alan aile (Giddens, 2025: 125), bu değişim sürecine hem katkı sağlayan hem de bu dinamiklerden etkilenen kurum olarak dikkat çekmektedir (Gündüz, 2023: 110). Toplumlarda meydana gelen değişim ve dönüşümler, yapı içerisinde yer alan tüm kurumları etkilediği gibi evlilik ve aile kurumunu da etkilemekte, evlilik ve aileye yönelik var olan alışılmış kalıpları değiştirmektedir. Boşanma olgusu da bunlardan biridir.

Boşanma en yaygın biçimde, bir evliliğin yasal yollarla sona erdirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Mortelmans, 2023: 232). Geleneksel "ölüm bizi ayırana dek" kararlılığıyla başlayan evlilikler, boşanmayla sonuçlanabilmektedir. Taraflar artık geleneksel bağlılık normlarından uzaklaşmakta; evlilikler ancak bireyler mutlu olduğu, kişisel ihtiyaçlar karşılandığı sürece devam etmektedir (Elmas ve Adak, 2023: 86-87). Ülkemizdeki evlilik ve boşanma oranlarına bakıldığında şöyle bir tabloyla karşılaşılmaktadır: Evlenen çiftlerin sayısı 2024 yılında 569 bin 983 iken 2025 yılında 552 bin 237 olmuştur. Boşanan çiftlerin sayısı ise 2024 yılında 188 bin 963 iken 2025 yılında bu sayı 193 bin 793 olmuştur (Türkiye İstatistik Kurumu, 2026).

Tek bir karara veya nedene indirgenmesi mümkün olmayacak kadar karmaşık bir yaşam kararı olan boşanmanın (Bildtgard ve Öberg, 2025: 102) nedenlerine bakıldığında; sanayileşme ve kentleşmeyle birlikte ivme kazanan bireyselleşme, sekülerleşme pratikleri ve geleneksel cinsiyet rollerindeki dönüşüm, bununla birlikte; yasal kolaylıklar, sosyal destek ağlarının genişlemesi, aile içi iletişimin azalması ve bireylerin farklılaşan yaşam beklentileri, evliliğin rutinleşmesi gibi nedenler görülebilmektedir (Timurturkan, 2012: 207-208). Türk Medeni Kanunu'nun da ise boşanmanın nedenleri; zina, hayata kast, kötü veya onur kırıcı davranış, suç işleme ve haysiyetsiz hayat sürme, terk ve akıl hastalığı (Türk Medeni Kanunu, 2001; Demirel ve Şahin, 2018: 66; : Gündüz, 2023: 118; Kaya ve Tan-Eren, 2020: 714) olarak belirtilmiştir. Diğer yandan Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından ülkemizde boşanma nedenlerine ilişkin yapılan araştırmada ilk sıraları; eşlerin sorumsuz ve ilgisiz davranışları, aldatma, evin ekonomik olarak geçimini sağlayamama, dayak/kötü muamele, aile büyüklerinin aile içi ilişkilere karışması, içki gibi nedenler almaktadır (TÜİK, t.y.).

Zastrow'a (2015: 264) göre de evliliğin kötüye gitmesine/evlilik ilişkisinin yıpranmasında çok boyutlu etkenler rol oynamaktadır. Bunlardan bazıları; ekonomik sıkıntılar ve işsizlik, alkol/madde bağımlılığı, kıskançlık, iletişim çatışmaları, istismar türleri ve dış çevre müdahaleleri (akraba/arkadaş) gibi etkenlerdir.

Duygusal, yasal, ekonomik, ebeveyn, sosyal ve psikolojik sonuçları olmak üzere altı evreden oluşan (Bohannon, 1970'den akt.: Timurturkan, 2012: 211; Aktaş-Akoğlu ve Küçükkaragöz, 2018: 154; Öksüzler-Cabıları ve Yılmaz, 2022: 5; Şahan ve Kılıçarslan, 2024: 1446) boşanmanın, bir bireyin esenliği (iyi olma hali) üzerinde üç farklı etkisi olabileceği genel kabul görmektedir. İlk etki genellikle "kriz etkisi" olarak adlandırmakta; boşanma son derece sarsıcı ve duygusal bir deneyim olabilmektedir. İkinci olarak boşanma, destekleyici bir partner ilişkisinin sona ermesi ve dolayısıyla bir kaynağın kaybı anlamına gelir ki, kaynaklardaki azalma sağlığı olumsuz etkileyebilmektedir. Üçüncü etki ise boşanmanın evlilik sorunlarından bir kurtuluş olabileceği düşüncesidir. Eğer evlilikteki sorunlar, sağlık üzerinde olumsuz bir etki yaratıyorsa sorunlu bir evliliğin sona ermesi bir tür rahatlama anlamına gelmektedir (Kalmıjn and Monden, 2006: 1198). Diğer bir anlatımla boşanmak bazen bir çözümdür. Bireyin sorunlu ve mutsuz bir evlilikten kurtulması ve daha sakin, huzurlu, üretken olması adına bir adım olabilir. Üstelik boşanmanın, çocukların kötü bir evliliğin gerilimi ve mutsuzluğundan etkilenmesini önlediği artık gayet iyi bilinmektedir (Zastrow, 2015: 264).

GRİ BOŞANMA ve NEDENLERİ

Nedenleri ve sonuçları itibariyle pek çok değişkeni içinde barındıran boşanma olgusunun, toplumda genç yetişkinler arasında yaygın olduğu düşünülse de elli yaş ve üstü bireylerde de oldukça yüksek olduğu araştırmalara yansımaktadır. Sözü edilen bu yaş yetişkinlerin evliliklerinin sona ermesi önceden eşin vefatıyla gerçekleşirken son dönemlerde hayatın daha erken dönemlerinde boşanıp, yaşlılık dönemine evli olmayan bir birey olarak girmek ya da ileri yaşlarda boşanmak yaygın bir durum haline gelmiştir (Bildtgard ve Öberg, 2025: 100).

Brown ve Lin (2012) tarafından 50 yaş ve üzeri yetişkinlerin boşanmalarını tanımlamak için kullanılan bir terim olan ***"gri boşanma***" (gray divorce), yaşamın ikinci yarısında sık rastlanılan/yaygın bir durum olarak görülmekte (Brown and Lin, 2022: 1710) ve bu eğilimin önümüzdeki yıllarda da sürmesi beklenmektedir (Crowley, 2019: 23).

İleri yaş boşanmalarındaki (gray divorce) artış birçok faktöre bağlanabilir. Bu faktörlerden ilki Baby Boomer kuşağıdır. 1990 yılında 50 yaş ve üzeri Amerikalıların sayısı yalnızca 63,5 milyon iken 2010 yılına gelindiğinde bu yaş grubundaki Amerikalıların sayısı 99 milyona ulaşmıştır. Baby Boomer kuşağı, Brown ve Lin (2012) tarafından "gri boşanma devrimi" olarak adlandırılan çarpıcı derecede yüksek boşanma oranını sergileyen, 2010 yılındaki orta yaş grubunu (50–64 yaş) oluşturuyordu.

"Baby boomer" kuşağı, genç yetişkinlik dönemlerinde büyük sayılarla boşanan ve yeniden evlenen ilk kuşaktı. Şimdi ise bu kuşak ellili ve altmışlı yaşlarına gelmektedir; yeniden evliliklerin ilk evliliklere kıyasla boşanmayla sonuçlanma olasılığının daha yüksek olması nedeniyle bu durum, giderek daha fazla sayıda ileri yaştaki yetişkinin boşanma deneyimi yaşayacağına işaret etmektedir. Nitekim 1990 yılında 50 yaş ve üzerinde yaklaşık 206.007 kişi boşanmışken 2010 yılında bu sayı yaklaşık 643.152 olmuştur (Brown ve Lin, 2012: 731-735). Oranlar önümüzdeki 20 yıl boyunca sabit kalsa bile nüfusun hızla yaşlanması nedeniyle 2030 yılında boşanma deneyimi yaşayacak olan yaşlı yetişkinlerin sayısı üçte bir oranında artacaktır (Lin vd., 2019: 1).

Ülkemizde ise TÜİK verileri ışığında boşanma sayılarına baktığımızda 2001 yılında kadın ve erkek toplam boşanma sayısı 183.988 iken 2024 yılında bu oran 188 bin 963, 2025 yılında ise 193 bin 793 olmuştur. 2025 boşanma istatistiklerinde erkeklerde 50-59 yaş aralığında boşanma sayıları 27.415 olurken kadınlarda ise bu sayı 17.199 olmuştur (TÜİK, 2026).

Uhlenberg ve Myers (1981) bundan kırk yıl önce ileri yaşlarda boşanma oranlarının gelecekte artacağını öngörmüşlerdir. Bu öngörü için dört neden sunmuşlardır. Bunlar; toplumda boşanmanın giderek daha fazla kabul görmesi, ilk evliliklere kıyasla boşanmayla sonuçlanma olasılığı daha yüksek olan yeniden evliliklerin artması, kadınların eşlerine olan ekonomik bağımlılığını azaltacak düzeyde işgücüne katılımında yaşanan artış ve boşanma riskine maruz kalma süresini uzatan daha uzun bir yaşam süresidir (Akt.: Bildtgard ve Öberg, 2025: 101).

Nitel araştırmalar, boşanan pek çok yaşlı çiftin aslında birbirinden uzaklaşmış olduğunu göstermektedir. Bireyselleşmenin ve uzayan yaşam sürelerinin hakim olduğu bir çağda, ömür boyu süren evlilikleri devam ettirmek giderek zorlaşmaktadır; yaşlı yetişkinler artık "içi boşalmış" (duygusal bağın kalmadığı) evlilikleri sürdürme konusunda daha isteksiz davranmaktadırlar (Brown ve Lin, 2012: 732). Crowley (2018) tarafından 50 yaş ve üzerinde boşanmış 80 kişiyle yakın zamanda ABD'de yürütülen bir çalışmada, erkekler tarafından belirtilen en yaygın boşanma nedeninin eşlerin birbirinden uzaklaşması olduğu saptanmıştır. Diğer nedenler arasında eşin sadakatsizliği, finansal sorunlar veya ruh sağlığı problemleri ya da çocuklarla ilgili sorunlar yer almıştır. Kadınlar tarafından belirtilen en yaygın neden ise kocanın sadakatsizliği olmuştur. Diğer nedenler arasında kocanın pornografi, alkol veya madde bağımlılığı, ruh sağlığı sorunları, sözlü veya duygusal istismarı ve eşlerin birbirinden uzaklaşması sayılmıştır (Akt.: Bildtgard ve Öberg, 2025: 103).

İleri yaş boşanmalarında boş yuva sendromu ve sağlık problemleri kritik rol oynamaktadır. Boş yuva sendromu; çocukların evden ayrılmasıyla ebeveynlerin hissettiği derin boşluk, hüzün ve yalnızlık halini ifade etmektedir. Çocuk odaklı bir hayat sürenler bu dönemi daha sarsıntılı atlatırken bazı çiftler ya yeni bir denge kurmaya çalışırlar ya da boşanma ile yollarını ayırırlar. Diğer yandan sağlık sorunları ve yaşlanma süreci, ileri yaş boşanmalarının (gri boşanma) başlıca tetikleyicilerindendir. Bir eşin bakım gereksinimi duyması, diğer eşte tükenmişliğe ya da yaşam planı değişikliğine neden olabilmektedir (Yusufoğlu, 2025: 437-438).

GRİ BOŞANMANIN SONUÇLARI

Boşanma sonrasında bireyler ciddi sorunlar yaşamaktadırlar. Sözü edilen bu sorunlar genellikle yalnızlık, aile bireyleriyle iletişim sorunları, mali sorunlar, fiziksel ve ruhsal sağlık sorunları gibi sorunlardır. Konumuzun odağında olan gri boşanmalarda da yalnızlık ve mali sorunlar/kaygılar olumsuz sonuçlar arasında yer almaktadır (Crowley, 2019: 2). Hem orta yaş öncesinde hem de sonrasında boşananlar, evli emsallerine kıyasla duygusal açıdan daha yalnızdır. Genç yaşta boşanma ve ileri yaş boşanması ile duygusal yalnızlık arasındaki ilişkiler kadınlar ve erkekler için büyük ölçüde benzerlik gösterse de genç yaşta ve ileri yaşta boşanan erkekler, evli emsallerine kıyasla sosyal açıdan daha yalnızdır (Högnas, 2020: 161).

Boşanmanın ardından yaşanan yalnızlık hissi, bireyleri yeniden evlenmeye yönlendirebilmektedir. Geç yaşta evliliklerin büyük çoğunluğunu oluşturan ve genellikle boşanma veya eş kaybı sonrasında gerçekleştirilen yeniden evlenme işlemleri, modern toplumlarda giderek yaygınlaşan bir olgu olarak dikkat çekmektedir. Giddens'ın (2025:120) deyimiyle boşanma oranları daha önceden hiç duyulmamış seviyelere çıktıysa da bunlara oldukça yüksek olan tekrar evlenme oranları eşlik etmektedir. Diğer bir deyişle boşananların büyük çoğunluğu tekrar evlenmektedirler. Yeniden evliliklerde cinsiyet farklılıkları bakıldığında; erkeklerin kadınlara kıyasla daha yüksek oranda yeniden evlendiği görülmektedir. Bununla birlikte ileri yaşlarda ilişkiler yalnızca evlilikle sınırlı olmayıp, birlikte yaşama, flört ve farklı ilişki biçimlerini de içermektedir (Türköz, 2026: 279-280).

Gri boşanmadan sonra yalnızlık hissinin artmasına neden olan diğer bir faktör, çocuklarla olan ilişkilerin zayıflamasıdır (Yusufoğlu, 2025: 441). Yaşlılıkta gerçekleşen boşanmalar, yaşlı bireyleri sosyal izolasyonla karşı karşıya bırakırken yetişkin çocukların rolünü hayati kılmaktadır. Yaşlılıkta boşanma, ebeveyn-yetişkin çocuk ilişkilerini zayıflatabilmektedir. Yaşlılıkta boşanmanın ebeveyn-çocuk ilişkileri üzerindeki sonuçlarını üzerine yapılan bir çalışma; yaşlılıkta boşanmanın sonuçlarının anneler ve babalar arasında büyük farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Boşanma sonrasında çocuklarla kurulan dayanışma annelerde artarken babalarda zayıflamıştır. Dolayısıyla boşanma, yetişkin-çocuk dayanışmasını annelere doğru kaydırırken babaları sosyal izolasyon riskine daha fazla maruz bırakmaktadır (Büyükçeci ve Leopold, 2024).

Konuyla ilgili olarak Brown ve Lin (2012: 740) boşanmanın sonuçlarının yalnızca çiftle sınırlı kalmayıp, çocukları ve geniş aile üyelerini de etkilediğini belirtmektedir. Ebeveynlerin evliliğinin sona ermesinin ardından, ebeveyn ile yetişkin çocuk arasındaki ilişki dinamiklerini dönüştürmektedir. Evlilik birliğinin sona ermesiyle birlikte sosyal desteksiz kalan yaşlı bireyler, çocuklarından sosyal destek konusunda daha fazla beklenti içine girebilmektedirler. Bu denli yoğun sorumluluk baskısı, kuşaklar arası ilişkileri zedeleyebilmektedir. Nitekim bugüne kadar yapılan sınırlı sayıdaki araştırma, ebeveynlerin boşanmasının ardından ebeveyn-yetişkin çocuk ilişkilerinin zarar gördüğünü; özellikle babalar ile yetişkin çocuk iletişiminin azaldığını ve çocukların boşanmış babalarına bakım sağlama oranının düşük olduğunu ortaya koymaktadır.

Diğer yandan gri boşanmanın olumsuz sonuçlarından biri de eşlerin ekonomik seviyelerindeki düşüşlerdir. Emeklilik, var olan varlıkların paylaşımı gibi durumlar söz konusu seviyeyi aşağıya çekmektedir. Kadınların ekonomik anlamda erkeğe bağımlı olması bu durumu daha da derinleştirmektedir. Şöyle ki, kadınların yaşam standartlarında ortalama %45 oranında bir düşüş meydana gelirken erkeklerde bu oran %21 olarak görülmüştür. Buradan hareketle gri boşanmaların ileri yaşlardaki bireyler için ne denli ciddi bir ekonomik sorun yarattığı da ortaya çıkmaktadır (Yusufoğlu, 2025: 439).

Boşanma, bireylerin sağlığını olumsuz etkileyen önemli bir süreçtir. Araştırmalar, boşanmış kişilerin evlilere göre daha çok sağlık sorunu yaşadıklarını daha fazla anksiyete ve depresyon belirtisi gösterdiklerini ortaya koymaktadır. Ayrıca ileri yaşlarda gri boşanmayı yaşayan bireyler, boşanma sonrası stres-uyum gibi karmaşık tepkiler yaşayabilmektedirler (Kara, 2025: 334).

SONUÇ ve ÖNERİLER

Nedenleri ve sonuçlarıyla derin izler bırakan boşanma olgusu, toplumlarının en kritik meselelerinden biridir. Evlilik oranlarının düşüp, boşanma oranlarının tırmanışa geçtiği günümüzde bireysel ve toplumsal refahın korunması için atılacak adımlar önem arz etmektedir. İlk olarak evlilik kurumunu güçlendirmek ve aile bağlarını korumak amacıyla devlet eliyle kapsamlı politikalar hayata geçirilmelidir. Bu doğrultuda evlilik öncesi süreçte tüm çiftlere devlet eliyle ücretsiz ve zorunlu evlilik danışma hizmetleri verilmelidir. Bu hizmetleri verecek profesyonel/uzman kadrolar sağlanmalı hatta sayılarını artırmak adına resmi kurumlardan, üniversitelerden yardım/destek istenmelidir. Diğer yandan ailelerin sosyo-ekonomik sorunlarla mücadele etmesine yardımcı olmak adına; yoksulluk ve işsizlik gibi aileyi etkileyen sorunlara karşı kalıcı çözümler üretilmeli özellikle ekonomik güvencesi olmayan kadınlara mali destek sağlanmalıdır. Boşanma sürecindeki bireylere, ebeveynlere ve çocuklara yönelik psiko-sosyal destek mekanizmaları etkinleştirilmelidir. Ayrıca bu süreçten geçen ve sağlık sorunları bulunan özellikle ileri yaştaki yalnız bireylerin evde bakım hizmetlerine erişimi kolaylaştırılmalı ve güçlendirilmelidir.

İleri yaştaki boşanma süreçlerinde bireylerin sosyal uyumunu artırmak ve duygusal izolasyonu önlemek amacıyla akran odaklı sosyal yaşam alanları/merkezleri yaygınlaştırılmalıdır. Böylece akranlarıyla sosyalleşen bireyler hem sosyal hem de duygusal yalnızlıklarını giderebileceklerdir.

Toplumlar ve bireyler için önemli bir olgu olan boşanmalar özellikle de gri boşanmalar üzerine disiplinler arası bilimsel çalışmaların yapılması gerekmektedir. Literatürde oldukça yeni olan bu kavramın mevcut durumunun saptanması, kendine özgü dinamiklerinin anlaşılması ve yol açtığı çok boyutlu sorunların derinlemesine incelenmesi için kapsamlı araştırmalara gerek vardır. Yapılacak bu araştırmalar hem konu hakkında detaylı bilgi sağlayıp, toplumsal farkındalık oluşturacak hem politikaların oluşturulmasına ya da düzenlenmesine zemin hazırlayacak hem de sonraki çalışmalara öncü olacaktır.

KAYNAKÇA

Aktaş-Akoğlu, Ö. ve Küçükkaragöz, H. (2018). Boşanma Nedenleri ve Boşanma Sonrasında Karşılaşılan Güçlüklere İlişkin Bir Araştırma: İzmir İli Örneği, *Toplum ve Sosyal Hizmet*, *29*(1), 153-172.

Büyükçeci, Z. ve Leopold, P. (2024). Parent–Child Relationships Following Gray Divorce: Stronger Ties With Mothers, Weaker Ties With Fathers, *The Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences,* 79 (5), 1–9, https://doi.org/10.1093/geronb/gbae004

Brown, S.L., & Lin, I.-F., (2012). The Gray Divorce Revolution: Rising Divorce Among Middle-Aged and Older Adults, 1990–2010. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 67(6)*, 731–741,

Brown S.L, Lin I-F, Hammersmith A.M, Wright M.R. (2019). Repartnering Following Gray Divorce: The Roles of Resources and Constraints for Women and Men. *Demography*. 56 (2), 503-523.

Brown, S. L., & Lin, I.F. (2022). The Graying of Divorce: A Half Century of Change. J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci, 77(9), 1710-1720.

Bildtgård, T. & Öberg, P. (2025). Uncoupling In The Third Age-The İmportance Of The Existential Context For Late-Life Divorce, Ageing & Society, 45, 100-122. doi:10.1017/S0144686X23000272

Öksüzler-Cabıları, B. ve Yılmaz, A. E. (2022). Boşanma ve Boşanma Sonrası Uyum: Tanımlar, Modeller ve Uyumun Değerlendirilmesi, Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar-Current Approaches in Psychiatry, 14 (1):1-11, DOI: 10.18863/pgy.910766

Crowley, J.E. (2019). Does Everything Fall Apart? Life Assessments Following a Gray Divorce. *Journal of Family Issues*, 40(11), 1438-1461.

Çağan, K. (2025). Ailenin İşlevleri, *Aile Sosyolojisi* (iç., ss.87-97). Edt.: Ergün Yıldırım ve Kadir Canatan, İstanbul: Kapı Yayınları.

Demirel, B. ve Şahin, H. (2018). Determination of Elderly Women's Views on Divorce: A Qualitative Research, Turkish Journal Of Applied Social Work, 1 (1), 65-72.

Elmas, Ç. ve Adak, N. (2023). Türkiye'de Boşanma Nedenlerinin Toplumsal Kökenleri ve Boşanma Sonrası Deneyimler, *İstanbul Üniversitesi Sosyoloji Dergisi*, 43(1), 84-97.

Giddens, A. (2025). *Sosyoloji Kısa Fakat Eleştirel Bir Giriş*, Çev.: Ülgen Yıldız, 10. Baskı, Ankara: Siyasal Kitabevi.

Gündüz, O. (2023). Evlenme ve Boşanma Dinamikleri Üzerinden Aile Kurumunda İzlenen Değişim Parametreleri, *Sosyoloji Divanı,* (iç. ss. 109-130), Baş Edit.: Ahmet Koyuncu, Sosyoloji Dergisi, 11 (21). İstanbul: Çizgi Kitabevi.

Högnäs, R.S. (2020). "Gray Divorce and Social and Emotional Loneliness" *Divorce in Europe* (Ed. D. Mortelmans), Part 7, Springer Open Publications. Erişim Adresi: https://www.divorcenet.com/resources/divorce/gray-divorce-after-50.htm, Erişim Tarihi: 22.07.2026.

İçli, T. (1991). Atatürk ve Aile. *Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi*, *8*(22), 97-104.

Kalmijn, M., & Monden, C.W.S (2006). Are the Negative Effects of Divorce on Well-Being Dependent on Marital Quality? *Journal of Marriage and Family*, 68 (5), 1197–1213.

Kara, F. R. (2025). "Gri Boşanma" Olgusu Yaşlılıkta Evliliğin Dönüşümü. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *Aile Yılı Özel Sayısı*, 324-354.

Kaya, K. ve Tan Eren, G. (2020). Boşanma ve Erken Boşanmaların Artış Nedenleri, *Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Dergisi*, 3(9): 708-728.

Lin, I-F,, Brown, S.L, Wright, M.R. & Hammersmith, A.M. (2019). Depressive Symptoms Following Later-life Marital Dissolution and Subsequent Repartnering. J Health Soc Behav. 60(2), 153-168.

Mortelmans, D. (2021). "Causes and Consequences of Family Dissolution in Europe and Post-Divorce Families" Sociology, Social Policy and Education (iç. pp.232-247), Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9781788975544.00024, 232-247.

Özensel, E. (2023). Değişen Aile Değişmeyen Aile Değerleri, *Sosyoloji Divanı,* (iç. ss. 13-29), Baş Edit.: Ahmet Koyuncu, Sosyoloji Dergisi, 11 (21). İstanbul: Çizgi Kitabevi.

Özgüven, İ. E. (2010). *Ailede İletişim ve Yaşam. Ankara*: PDREM (Psikolojik Danışma Rehberlik Eğitim Merkezi Yayını).

Şahan, B. & Kılıçarslan, S. (2024). The Reasons for Divorce and Challenges Faced During the Divorce Process by Divorced Individuals. *Inonu University Journal of the Faculty of Education, 25* (3), 1439-1461.

Timurturkan, M. (2012). Aile Birliğinin Bozulması: Boşanma ve Yeniden Evlenme, *Değişen Toplumda Değişen Aile Sosyolojik Tartışmalar* (iç., ss. 201-219). Edt.: Nurşen Adak, Ankara: Siyasal Kitabevi.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2026). Evlenme ve Boşanma İstatistikleri**,** 2025, Erişim Adresi: https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/58165, Erişim Tarihi: 20.08.2026.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (t.y.). Cinsiyete Göre Boşanma Nedenleri, 2016, 2021, Erişim Adresi: https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/search?q=bo%C5%9Fanma%20nedenleri, Erişim Tarihi: 20.08.2026.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2026). İl, Cinsiyet ve Yaş Grubuna Göre Boşanmalar, Erişim Adresi: https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/databrowser/tuik/categories/11/11_9/11_9_2/TR,DF_BOSANMA_CINS_YASGR,1.0, Erişim Tarihi: 21.08.2026.

Türk Medeni Kanunu (TMK). (2001). Boşanma, Erişim Adresi: https://mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.4721.pdf, Erişim Tarihi: 05.08.2026.

Türköz, Ş. (2026). Türkiye'de Gri Evliliklerin Demografik Analizi, *Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12 (Özel Sayı), 278-297.

Yusufoğlu, Ö. Ş. (2025). Nedenleri ve Sonuçları Açısından Gri Boşanma Olgusu. *İçtimaiyat*, Aile Özel Sayısı, 429-447.

Zastrow, Ç. (2015). Aile İçi Sorunlar ve Ailelere Verilen Hizmetler, *Sosyal Hizmete Giriş* (iç. ss. 254-317). Edt.: Durdu Baran-Çiftçi, Ankara: Nika Yayınları.

Zeybekoğlu-Dündar, Ö. (). Değişen ve Değiş(e)meyen Yönleriyle Aile: Yapısı, Türleri, İşlevleri, *Değişen Toplumda Değişen Aile Sosyolojik Tartışmalar* (iç., ss. 39-64). Edt.: Nurşen Adak, Ankara: Siyasal Kitabevi.

YAPAY ZEKÂ ARAÇLARININ KURUMSAL İTİBARIN İNŞASINDAKİ ROLÜ

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ULAŞ
İnönü Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Halkla İlişkiler ve Tanıtım Bölümü
ORCID: 0000-0002-6131-7509

ÖZET
Dijitalleşme süreci kurumlar açısından kamusal görünürlüğün ve itibar oluşumunun dönüşümünü de beraberinde getirmiştir. Geleneksel medya mecraları, sosyal medya platformları ve arama motorlarından sonra günümüzde üretken yapay zekâ sistemlerinin de enformasyon edinme pratiklerinin içerisine dâhil olması, kurumlara dair algıların ve bakış açılarının yeni formda bir iletişim aracısı üzerinden şekillenmesine olanak sunmaktadır. ChatGPT ve Gemini gibi günümüz popüler yapay zekâ araçları, kurumlara dair mevcut enformasyonu sadece aktarmamakta aynı zamanda bu enformasyonları seçmekte, özetlemekte, tasnif etmekte ve belirli bir anlatı perspektifinde kullanıcı bireylere sunmaktadır. Bu hususun, kurumsal itibarın algoritmik arka plana dayalı dolayımlanan yeni bir form kazanmasını da beraberinde getirdiği ifade edilebilir. Buradan hareketle yapılan çalışmanın amacı, ChatGPT ve Gemini'nin kurumlara dair ortaya çıkardığı anlatıları karşılaştırmalı bir şekilde incelemek ve üretken yapay zekâ teknolojilerinin kurumsal itibarın inşa sürecinde üstlendiği aracı rolü ortaya koymaktır. Çalışamada karşılaştırmalı nitel içerik analizi kullanılacaktır. Bahsi geçen amaca yönelik amaçlı örnekleme ile havayolu, bankacılık, telekomünikasyon, holding, e-ticaret ve perakende sektörlerinden belirlenen on iki kurum incelenecektir. Örneklem içerisinde yer alan kurumlara yönelik ChatGPT ve Gemini'ye genel itibarları, olumlu özellikleri, olumsuz gelişmeleri ve krizleri, kurumsal güvenleri ile genel paydaş değerlendirmelerine dair aynı yapıda inşa edilen beş standart soru yöneltilecektir. Elde edilen yanıtlar; anlatıların yönelimi, güven hususları, kriz görünürlükleri, olumlu ve olumsuz yöndeki kurumsal nitelikleri açısından kodlanacaktır. Çalışma sonucunda ChatGPT ve Gemini'nin aynı kurumlara dair farklı itibar argümanlarını öne çıkarabileceği öngörülmektedir. Ayrıca çalışma sonucunda, üretken yapay zekâ teknolojilerini kurumsal itibarın inşa sürecinde etkin rol üstlenen bir iletişimsel aracı olarak algoritmik itibar tartışmalarına katkı sağlaması beklenmektedir.
Anahtar Kelimeler: Algoritmik itibar, üretken yapay zekâ, kurumsal itibar, ChatGPT, Gemini

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS IN BUILDING CORPORATE REPUTATION

ABSTRACT
The process of digitalization has brought about a transformation in public visibility and reputation formation for organizations. Following traditional media outlets, social media platforms, and search engines, the increasing integration of generative artificial intelligence systems into contemporary information-seeking practices has enabled perceptions and perspectives regarding organizations to be shaped through a new form of communicative intermediary. Popular artificial intelligence tools such as ChatGPT and Gemini not only convey existing information about organizations but also select, summarize, classify, and present such information to users within particular narrative frameworks. In this respect, it can be argued that corporate reputation has acquired a new, algorithmically mediated form shaped by underlying computational processes.

Against this background, the present study aims to comparatively examine the narratives generated by ChatGPT and Gemini about organizations and to identify the intermediary role played by generative artificial intelligence technologies in the construction of corporate reputation. A comparative qualitative content analysis will be employed in the study. Through purposive sampling, twelve organizations operating in the airline, banking, telecommunications, holding, e-commerce, and retail sectors will be examined. Five standardized questions, structured identically, will be posed to ChatGPT and Gemini regarding the organizations included in the sample. These questions will address their overall reputation, positive attributes, negative developments and crises, corporate trust, and general stakeholder evaluations. The responses obtained will be coded in terms of narrative orientation, dimensions of trust, crisis visibility, and positive and negative organizational attributes. It is anticipated that ChatGPT and Gemini may foreground different reputational arguments concerning the same organizations. Furthermore, the study is expected to contribute to discussions on algorithmic reputation by conceptualizing generative artificial intelligence technologies as communicative intermediaries that play an active role in the construction of corporate reputation.

Keywords: Algorithmic reputation, generative artificial intelligence, corporate reputation, ChatGPT, Gemini

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

TARİHSEL DEĞİŞİM VE NEDENSELLİK: TARİHSEL SOSYOLOJİDE AÇIKLAMA PROBLEMİ

Dr. Öğr. Üyesi Ahmed Hamza ALPAY
Bayburt Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Yaşlı Bakımı Pr.
ORCID: 0000-0002-8781-6939

ÖZET
Bu çalışma, tarihsel sosyolojide toplumsal değişimin açıklanması problemini, tarihsel değişim ve nedensellik arasındaki ilişki üzerinden ele almaktadır. Tarihsel sosyolojinin temel meselelerinden biri, toplumsal olguların yalnızca belirli bir zaman dilimi içerisinde gerçekleşen olaylar olarak değil; zamansal süreçler, tarihsel bağlamlar ve özgül nedensel ilişkiler içerisinde nasıl açıklanabileceğinin ortaya konulmasıdır. Bu doğrultuda çalışmanın temel amacı, tarihsel değişimin açıklanmasında toplumsal zamanın, tarihsel süreçlerin ve nedenselliğin nasıl kavramsallaştırılabileceğini tartışmak ve tarihsel sosyolojinin açıklama biçiminin temel unsurlarını ortaya koymaktır. Çalışma üç temel eksen üzerinden yapılandırılmıştır. İlk olarak, toplumsal zaman ve tarihsellik bağlamında toplumsal gerçekliğin zamansal niteliği ve tarihsel süreçlerin özgüllüğü ele alınmaktadır. İkinci olarak, tarihsel değişim ve toplumsal süreçler incelenerek değişimin oluşumunda yapı, aktör, süreç ve bağlam gibi unsurların rolü tartışılmaktadır. Üçüncü olarak ise tarihsel açıklama ve nedensellik ilişkisi üzerinde durularak, tarihsel sosyolojide nedensel ilişkilerin nasıl kurulabileceği ve açıklamanın hangi kavramsal araçlar aracılığıyla gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir. Çalışmada nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiş; tarihsel sosyoloji literatürü kavramsal analiz yoluyla incelenmiştir. Analiz, tarihsel açıklama ve nedensellik tartışmalarında öne çıkan kavram ve yaklaşımların karşılaştırılması üzerine kurulmuştur. Çalışmanın kapsamı, tarihsel sosyolojinin tarihsel değişim, toplumsal süreçler ve nedensellik sorununa ilişkin kuramsal tartışmalarıyla sınırlandırılmıştır. Bu nedenle çalışma, belirli bir tarihsel vakaya ilişkin ampirik bir nedensellik testi gerçekleştirmemekte; tarihsel açıklamanın kuramsal ve metodolojik imkânlarını tartışmaktadır. Çalışmanın bulguları, tarihsel değişimin tekil ve doğrusal nedensellik ilişkileri üzerinden açıklanamayacağını; zaman, süreç, yapı, aktör ve tarihsel bağlamın karşılıklı etkileşiminin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Nedensellik, Tarihsel Açıklama, Tarihsel Değişim, Tarihsel Sosyoloji, Toplumsal Zaman

HISTORICAL CHANGE AND CAUSALITY: THE PROBLEM OF EXPLANATION IN HISTORICAL SOCIOLOGY

ABSTRACT
This study examines the problem of explaining social change in historical sociology through the relationship between historical change and causality. One of the central concerns of historical sociology is to understand how social phenomena can be explained not merely as events occurring within a particular period of time, but in relation to temporal processes, historical contexts, and historically specific causal relationships. Accordingly, the primary aim of the study is to discuss how social time, historical processes, and causality can be conceptualized in explaining historical change and to identify the key elements of explanation in historical sociology. The study is structured around three main analytical dimensions. First, it examines the temporal character of social reality and the specificity of historical processes in relation to social time and historicity.

Second, it considers historical change and social processes, focusing on the roles of structure, agency, process, and context in the formation of change. Third, it addresses the relationship between historical explanation and causality by examining how causal relationships can be established in historical sociology and through which conceptual tools explanation can be developed. The study adopts a qualitative research approach and analyzes the historical sociology literature through conceptual analysis. The analysis is based on a comparison of key concepts and approaches that have emerged in debates on historical explanation and causality. The scope of the study is limited to theoretical debates in historical sociology concerning historical change, social processes, and causality. Accordingly, the study does not conduct an empirical test of causality concerning a specific historical case; rather, it discusses the theoretical and methodological possibilities of historical explanation. The findings indicate that historical change cannot be explained through singular and linear causal relationships alone, but requires consideration of the interplay among time, process, structure, agency, and historical context.
Keywords: Causality, Historical Explanation, Historical Change, Historical Sociology, Social Time

1. GİRİŞ

Toplumsal değişimin nasıl açıklanacağı, tarihsel sosyolojinin temel tartışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Toplumsal olguların belirli bir zaman diliminde ortaya çıkan olaylar olarak ele alınması, bu olguların oluşumunu ve dönüşümünü belirleyen tarihsel süreçlerin açıklanması bakımından yeterli değildir. Tarihsel sosyoloji bu nedenle toplumsal yapıların, ilişkilerin ve kurumların zaman içerisinde nasıl oluştuğunu, dönüştüğünü ve birbirleriyle nasıl ilişkilendiğini inceleyerek tarihsel değişimi açıklamaya yönelmektedir. Bu yaklaşımda zaman, olayların gerçekleştiği bir arka plan, toplumsal süreçlerin oluşumunu ve sonuçlarını şekillendiren kurucu bir boyut olarak ele alınmaktadır.

Tarihsel değişimin açıklanması ise zamansallık ile nedensellik arasındaki ilişkinin nasıl kurulacağı sorununu gündeme getirmektedir. Bir olayın diğerinden önce gerçekleşmesi, tek başına aralarında nedensel bir ilişki bulunduğunu göstermemektedir. Bu nedenle tarihsel sosyolojik açıklama, olayların kronolojik sıralanmasının ötesine geçerek tarihsel bağlamları, süreçleri, aktörleri, yapıları ve bu unsurlar arasındaki karşılıklı ilişkileri dikkate almak durumundadır. Buradaki temel sorun, tarihsel süreçlerin özgüllüğünü korurken toplumsal değişimin ardındaki daha genel süreç ve ilişkileri açıklayabilmektir.

Bu çalışma, tarihsel sosyolojide açıklama problemini tarihsel değişim ve nedensellik arasındaki ilişki üzerinden ele almaktadır. Çalışmanın amacı, toplumsal zamanın ve tarihselliğin toplumsal değişimin açıklanmasındaki rolünü ortaya koymak; tarihsel süreçlerin yapı, aktör, süreç ve bağlam arasındaki ilişkiler üzerinden nasıl kavranabileceğini tartışmak ve tarihsel nedenselliğin hangi kavramsal araçlarla açıklanabileceğini değerlendirmektir. Bu doğrultuda çalışma, belirli bir tarihsel vakaya ilişkin ampirik bir nedensellik testi gerçekleştirmekten ziyade, tarihsel sosyolojinin açıklama problemine ilişkin kuramsal ve metodolojik tartışmaları bir araya getirmektedir.

Bu çerçevede çalışmanın ilk bölümünde toplumsal zaman ve tarihsellik ele alınmakta; ikinci bölümde tarihsel değişim ve toplumsal süreçler incelenmekte; son bölümde ise tarihsel açıklama ile nedensellik arasındaki ilişki değerlendirilmektedir. Böylece tarihsel değişimin tekil ve doğrusal neden-sonuç ilişkilerine indirgenmeden; zaman, tarihsel bağlam, toplumsal süreçler ve karşılıklı nedensel ilişkiler içerisinde nasıl açıklanabileceği ortaya konulmaya çalışılmaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde kavramsal analiz yöntemine dayanmaktadır. Araştırmanın temel veri kaynağını tarihsel sosyoloji, tarihsel açıklama, toplumsal değişim ve nedensellik tartışmalarına ilişkin kuramsal çalışmalar oluşturmaktadır. Bu kapsamda çalışmada, tarihsel sosyolojinin toplumsal zaman, tarihsellik, tarihsel değişim, toplumsal süreçler ve nedensellik sorunlarına yönelik farklı kuramsal yaklaşımlar incelenmiş ve bu yaklaşımların tarihsel açıklama bakımından sunduğu imkânlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Analiz sürecinde öncelikle tarihsel sosyolojinin toplumsal gerçekliği zaman ve tarihsel bağlam içerisinde ele alma biçimi incelenmiş; ardından tarihsel değişimin yapı, aktör, süreç ve karşılıklı etkileşim boyutları üzerinde durulmuştur. Son aşamada ise tarihsel açıklama ile nedensellik arasındaki ilişki, doğrusal neden-sonuç modellerinin ötesinde süreçsel, karşılıklı ve bağlamsal ilişkiler çerçevesinde değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda çalışma, belirli bir tarihsel vakaya ilişkin ampirik veri toplama veya nedensellik testi gerçekleştirmemekte; mevcut kuramsal literatürün kavramsal çözümlemesine dayalı bir açıklama çerçevesi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Araştırmanın kapsamı, tarihsel sosyolojide tarihsel değişim ve nedensellik problemine ilişkin kuramsal ve metodolojik tartışmalarla sınırlandırılmıştır.

3. TOPLUMSAL ZAMAN VE TARİHSELLİK

Tarihin eşzamanlı olarak hem anlatı biçiminde yeniden kurulması hem de toplumsal gerçekliğin açıklanmasına yönelik sosyolojik bir perspektife dönüşmesi, tarihsel bilginin niteliği ve toplumsal zamanın kavranışı açısından üzerinde durulması gereken özgün bir bilgi alanını göstermektedir (Abrams, 1980: 3). Bu çerçevede, birbirinden ayrıştırılmış tarihsel anlatılar, her ne kadar farklı deneyimleri görünür kılmayı amaçlasa da çoğu zaman içinde konumlandıkları örtük bir büyük anlatı olarak modernitenin standartlaştırılmış tarihsel kurgusunu yeniden üretmektedir. Dolayısıyla farklı toplumların ve tarihsel deneyimlerin toplumsal zaman içindeki özgüllüklerini dikkate almak; mevcut anlatıya yeni örneklerin eklenmesini değil, tarihsel süreçlerin hangi kavramsal ve zamansal çerçeveler içerisinde anlamlandırıldığının yeniden düşünülmesini gerektirir. Çoklu moderniteler paradigmasının ortaya çıkışı da bu bağlamda, modernliğin tekil ve doğrusal bir tarihsel güzergâh üzerinden açıklanamayacağının ve farklı tarihsel deneyimlerin sosyolojik analize dâhil edilmesi gerektiğinin daha fazla göz ardı edilemediği bir dönüm noktasına işaret etmektedir (Bhambra, 2011: 654).

Buna karşılık döngüsel zaman anlayışı, doğrusal tarih tasarımlarından farklı olarak süreklilik, tekrar ve düzenlilikleri öne çıkarır. Bu yaklaşım, toplumsal süreçlerin belirli örüntüler ve tekrarlanan ilişkiler üzerinden kavranabileceği düşüncesini güçlendirerek bilimsel araştırmanın düzenlilikleri belirleme ve genellemelere ulaşma yönelimiyle örtüşür. Ancak zamanın döngüler ve tekrarlar üzerinden kavranması, tarihsel süreçlerin özgüllüğünü ve olayların belirli tarihsel koşullar içerisindeki oluşumunu ikincil plana itme riski taşır. Böyle bir yaklaşımda başlangıç koşulları, olayların meydana geliş sırası ve belirli tarihsel bağlamların sonuçlar üzerindeki etkisi yeterince dikkate alınmayabilir. Toplumsal gerçeklik, tekrar eden düzenliliklerden, belirli tarihsel koşullarda ortaya çıkan ve kimi zaman kalıcı dönüşümlere yol açan özgül olaylardan oluşmaktadır. Bu nedenle tarihsel sosyolojinin temel meselelerinden biri, zamanı ne yalnızca doğrusal bir ilerleme ne de salt döngüsel bir tekrar biçiminde kavramaktır. Asıl mesele, toplumsal dünyayı hem belirli ilişkilerin ve sürekliliklerin hem de tarihsel olumsallıkların birlikte şekillendirdiği bir süreç olarak anlayabilmektir. Böyle bir yaklaşım, toplumsal süreçlerin zamansal ve bağlamsal özgüllüğünü korurken, tarihsel değişimin ardındaki düzenlilikleri de göz ardı etmeyen bir açıklama biçiminin önünü açmaktadır (Clemens, 2006: 30).

Tarihsel sosyologlar, çalışmalarının altında yatan kuramsal ve açıklayıcı amaçları her zaman açık biçimde ortaya koymamış olsalar da bu çalışmaların ortak özelliklerinden biri, başta devlet olmak üzere belirli toplumsal kurumların tarihsel olarak nasıl ortaya çıktığını, biçimlendiğini ve zaman içerisinde nasıl dönüştüğünü incelemeleridir. Bu yaklaşım, toplumsal kurumları tarihsel bağlamlarından bağımsız ve değişmez yapılar olarak ele almak yerine, onları belirli zaman ve koşullar içerisinde oluşan toplumsal süreçlerin ürünleri olarak kavramaktadır. Bu yönüyle tarihsel sosyoloji, özellikle devleti verili bir olgu olarak kabul ederek onun kökenlerini ve dönüşüm süreçlerini büyük ölçüde sorgulama dışında bırakan geleneksel uluslararası ilişkiler yaklaşımlarından ayrılmaktadır. Bununla birlikte, tarihsel kurumların oluşum ve dönüşümünü incelemek geçmişteki gelişim çizgilerini ortaya koymakla sınırlı değildir. Toplumsal yapıların belirli tarihsel koşullar altında nasıl mümkün hâle geldiğini ve bu koşulların sonraki toplumsal süreçleri nasıl şekillendirdiğini de anlamayı gerektirir. Dolayısıyla tarihsel sosyolojinin temel katkılarından biri, toplumsal kurumların tarihselliğini görünür kılarak, toplumsal dünyanın belirli bir anda mevcut olan yapılardan ibaret olmadığını; geçmişten devralınan süreçler, süreklilikler ve dönüşümler aracılığıyla biçimlendiğini ortaya koymasıdır (Hobden, 1999: 393).

Öte yandan, toplumsal gerçeklik içerisinde meydana gelen tüm olaylar doğrudan gözlemlenebilir nitelikte değildir; gözlemlenen olaylar, daha geniş bir gerçeklik alanının belirli bir bölümünü oluşturur. Bhaskar'ın eleştirel gerçekçilik yaklaşımı bu ayrımı, toplumsal gerçekliğin deneyimlenen veya gözlemlenen olaylardan ibaret olmadığı düşüncesi üzerinden temellendirir. Bu yaklaşımda varlık, birbirleriyle etkileşim içerisinde bulunan ve kimi zaman farklı, hatta karşıt yönlerde işleyen çok sayıda mekanizmanın bir arada bulunduğu açık bir sistem olarak kavranmaktadır. Dolayısıyla toplumsal süreçlerin belirli bir zaman ve bağlam içerisinde ortaya çıkan görünümleri, bu süreçleri mümkün kılan daha derin ve her zaman doğrudan gözlemlenemeyen ilişkilerden ayrı düşünülemez. Bu durum, tarihselliğin gözlemlenebilir olayların kronolojik sıralanmasıyla açıklanamayacağını; toplumsal gerçekliğin farklı zaman boyutlarında işleyen süreçlerin ve ilişkilerin birlikte ele alınmasını gerektirdiğini göstermektedir (Isaksen, 2024: 101).

Tarihsel sosyolojide genel teorinin konumu, alanın sınırları ve açıklama biçimleri üzerine yürütülen uzun süreli tartışmaların temel başlıklarından biri olmuştur. Bu tartışmalar, tarihsel süreçlerin genel teorik çerçeveler aracılığıyla ne ölçüde açıklanabileceği ve buna karşılık tarihsel olayların özgül zaman, mekân ve bağlamlarının ne ölçüde korunması gerektiği sorusunu gündeme getirmektedir. Ancak "genel teori" kavramının üzerinde uzlaşılmış tek ve açık bir tanımının bulunmaması, bu teorilerin somut tarihsel araştırmalarda hangi işlevi üstlenmesi gerektiğine ilişkin belirsizliği de beraberinde getirmiştir. Bu durum, tarihsel sosyolojide genel açıklama arayışı ile tarihsel özgüllüğün korunması arasındaki gerilimi belirginleştirmektedir. Zira toplumsal süreçlerin belirli düzenlilikler üzerinden kavranması, tarihsel olguların ortaya çıktığı özgül koşulların ve zamansal bağlamların göz ardı edilmesi sonucunu doğurmamalıdır. Dolayısıyla tarihsel sosyoloji açısından temel sorun, genel teorik önermeler ile tekil tarihsel deneyimler arasında bir tercih yapmak değil; toplumsal süreçlerin hem belirli örüntüler taşıdığını hem de kendine özgü tarihsel koşullar içerisinde şekillendiğini kabul eden bir açıklama çerçevesi geliştirmektir (Mahoney, 2004: 459).

Burada ortaya çıkabilecek temel itirazlardan biri, değişimin kendisinin de değişebildiği bir düzen içerisinde toplumsal süreçlerin nasıl açıklanabileceği sorusudur. Eğer toplumsal dünyayı yönlendirdiği varsayılan düzenlilikler ve ilişkiler tarihsel süreç içerisinde dönüşebiliyorsa, bu düzenliliklerin değişimini açıklayan daha temel ve değişmez ilkelerin bulunması gerektiği düşünülebilir. Aksi hâlde bilimsel açıklamanın, toplumsal olguların neden belirli bir biçimde ortaya çıktığını açıklama kapasitesinin sınırlanacağı ileri sürülebilir.

Ancak tarihsel sosyoloji açısından bu sorun, toplumsal değişimi değişmez yasalar altında gerçekleşen doğrusal bir süreç olarak kavramak yerine; ilişkilerin, koşulların ve yapıların zaman içerisinde dönüşebildiği tarihsel bir gerçeklik olarak ele almayı gerektirir. Bu nedenle toplumsal dünyanın tarihselliği, olayların zaman içerisinde değişmesini, bu olayları biçimlendiren koşulların ve ilişkilerin de değişebilmesini ifade etmektedir. Böyle bir perspektif, tarihsel değişimin açıklanmasında zamansal süreklilik ile dönüşüm arasındaki ilişkinin birlikte ele alınmasını zorunlu kılmaktadır (Webb, 2017: 258).

4. TARİHSEL DEĞİŞİM VE TOPLUMSAL SÜREÇLER

"Tarihsel toplumsal analiz", "tarihsel gerçeklik", "tarihsel nedensellik" ve "tarihsel kanıt" gibi kullanımlarda "tarihsel" kavramı çoğu zaman temel kavramı niteleyen ikincil bir unsur olarak görünmektedir. Ancak bu kullanım, tarihsel sosyolojinin "tarih" ve "tarihsel" kavramlarına yüklediği anlamın ayrıca sorgulanmasını gerekli kılmaktadır. Zira tarihsel sosyoloji açısından tarih, yalnızca geçmişte meydana gelmiş olayların toplamını ifade etmez; toplumsal yapıların, ilişkilerin ve kurumların zaman içerisinde oluşumunu ve dönüşümünü anlamaya yönelik analitik bir perspektif de sunar. Bu nedenle tarihsel sosyologların "tarih" veya "tarihsel" kavramlarını kullanırken, tarih disiplinindeki kullanımlarla bütünüyle aynı anlamı taşıdıkları varsayılamaz. Tarihsel sosyolojide söz konusu kavramlar, geçmişi betimlemenin ötesine geçerek toplumsal süreçlerin oluşumunu, sürekliliğini ve dönüşümünü açıklama çabasının bir parçası hâline gelmektedir (Zunz, 1987: 35).

Toplumsal olguların betimlenmesi, onların tarihsel sürekliliğini ve değişim içerisindeki anlamını kavramak açısından yeterli değildir. Tarihsel sosyoloji, olguların ortaya çıktıkları tarihsel koşullar içerisinde kavramsallaştırılmasını ve toplumsal süreçlerin kendi özgül oluşum biçimleri dikkate alınarak incelenmesini gerekli kılar. Bu yaklaşım, toplumsal gerçekliğin insan eylemi, karşılıklı etkileşim ve tarihsel dönüşüm tarafından şekillenen dinamik ve diyalektik niteliğine dayanır. Dolayısıyla toplumsal süreçlerin açıklanması, onları değişmez ve soyut ilişkiler içerisinde formüle etmekten ziyade, belirli tarihsel bağlamlarda nasıl ortaya çıktıklarını ve zaman içerisinde nasıl dönüştüklerini anlamayı gerektirir. Bu noktada Vico'nun yaklaşımı önemli bir kuramsal referans sunmaktadır. Vico, kendi döneminin düşünsel dünyasında hâkim olan ve bilginin geçerliliğini büyük ölçüde matematiksel kesinlik üzerinden değerlendiren Kartezyen anlayışa karşı çıkarak, insan dünyasının tarihsel niteliğinin göz ardı edilmemesi gerektiğini savunmuştur. Ona göre insan tarafından meydana getirilen toplumsal ve tarihsel dünya, doğrudan insan deneyimi ve eylemi içerisinde oluştuğu için kendine özgü bir bilgi nesnesi olarak ele alınmalıdır. Bu yaklaşım, tarihin matematiksel kesinliğe sahip olmadığı gerekçesiyle bilgi alanının dışında bırakılmasına karşı çıkar ve toplumsal gerçekliğin tarihsel oluşumunu anlamaya yönelik farklı bir bilgi biçiminin mümkün olduğunu ortaya koyar (Cahnman, 1976: 827).

Öte yandan tarihsel sosyoloji, toplumsal değişim ve kolektif eyleme ilişkin mevcut açıklama biçimlerini sorgulayarak, toplumsal dönüşümlerin farklı tarihsel süreçlerin karşılıklı etkileşimi içerisinde ele alınmasına önemli katkılar sunmuştur. Tarihsel çeşitliliği ve olayların özgül ayrıntılarını dikkate alırken daha geniş yapısal dönüşümleri gözden kaçırmayan bu yaklaşım, toplumsal değişimin tek bir gelişme çizgisi üzerinden açıklanamayacağını ortaya koymaktadır. Bu çerçevede ulus-devlet oluşumu, modern dünyanın şekillenmesinde kentleşme, sanayileşme ve kapitalist gelişme gibi toplumsal ve ekonomik süreçlerle birlikte değerlendirilmesi gereken kapsamlı bir yapısal dönüşüm olarak ele alınmaktadır. Dolayısıyla tarihsel sosyolojinin temel katkılarından biri, farklı toplumsal süreçlerin birbirinden bağımsız gelişmeler olmadığını; belirli tarihsel koşullarda birbirlerini etkileyerek daha geniş ölçekli dönüşümlerin oluşumuna katkıda bulunduklarını göstermesidir (Skocpol, 1987: 24).

Bu bağlamdaki temel tartışmalardan biri, toplumsal değişimin bireysel ve kolektif eğilimler üzerinden mi, yoksa zaman içerisinde işleyen daha geniş toplumsal süreçler üzerinden mi kavranması gerektiği sorusuna dayanmaktadır. Bireysel ve kolektif eğilimlerin toplumsal davranışın temel belirleyicileri olduğu kabul edildiğinde, tarihsel olayların açıklanması büyük ölçüde bu olaylara katılan aktörlerin duygularının ve bilinç durumlarının yeniden inşa edilmesini gerektirir. Geriye dönük etnografi, bu tür bir tarihsel yeniden inşa için elverişli bir yaklaşım sunarak aktörlerin deneyimlerinin ve anlam dünyalarının çözümlenmesine imkân tanır. Buna karşılık toplumsal davranışın, bilişsel süreçlerin ötesinde işleyen daha geniş çevresel, ilişkisel ve kurumsal süreçlerin bir parçası olduğu kabul edildiğinde, tarihsel olayların açıklanmasında süreç odaklı yaklaşımlar öne çıkar. Bu perspektifte toplumsal değişim, tek tek aktörlerin niyet ve eğilimlerinden ziyade; farklı aktörleri, ilişkileri ve koşulları zaman içerisinde birbirine bağlayan süreçler üzerinden incelenir. Eleştirel karşılaştırma ise farklı tarihsel örnekleri birlikte değerlendirerek, toplumsal sonuçlarda farklılık yaratan süreçlerin ve mekanizmaların belirlenmesine olanak sağlar. Böylece tarihsel sosyoloji, toplumsal değişimi hem aktörlerin anlam dünyalarını hem de bu aktörlerin içerisinde hareket ettiği daha geniş süreçleri dikkate alan bir analiz çerçevesinde ele alır (Tilly, 2007: 327).

Tarihsel değişimin anlaşılmasında zamansallık, olayların belirli bir kronolojik sıra içerisinde meydana gelmesini ifade eden bir boyut olarak ele alınmamalıdır. Toplumsal süreçlerin zaman içerisindeki oluşumları, birbirini izleyen olayların yanı sıra, önceki koşulların sonraki gelişmeler üzerinde yarattığı etkilerin de dikkate alınmasını gerektirir. Bu nedenle zamansal ilişkilerin incelenmesi, toplumsal değişimin hangi koşullar altında ve hangi süreçler aracılığıyla meydana geldiğine ilişkin nedensel soruların ortaya çıkmasına zemin hazırlar. Başka bir ifadeyle, zamansal düzen ile nedensel ilişki arasında tek yönlü bir bağlantı söz konusudur: Zaman, nedensellik sorusunu gündeme getirebilirken, nedensellik kavramı tek başına zamansallığın bütün anlamlarını karşılamaz. Bu bağlamda zamansallıktan nedenselliğe geçiş, tarihsel süreçlerin ne zaman ve hangi sırayla gerçekleştiğini ve belirli gelişmelerin birbirleriyle nasıl bağlantılı hâle geldiğini sorgulayan bir açıklama biçimine işaret etmektedir (Hilpert, 2021: 223).

Bununla birlikte, tarihsel değişim ve toplumsal süreçlerin geniş bir zaman ve mekân ölçeğinde incelenmesi, tarihsel kanıt ile sosyolojik argüman arasındaki ilişkinin nasıl kurulacağı sorununu da beraberinde getirmektedir. Goldthorpe, büyük ölçekli tarihsel sosyolojik araştırmalarda kanıt ile ileri sürülen argümanlar arasındaki bağlantıların çoğu zaman zayıf ve keyfî hâle gelebildiğine dikkat çekmektedir. Bu durumun temel nedenlerinden biri, araştırmacıların doğrudan birincil kaynaklara başvurmak yerine, tarihçilerin ikincil çalışmalarda sundukları yorumlara dayanmasıdır. Böylece tarihsel olgular ile sosyolojik yorum arasına birden fazla yorum girmekte ve birincil kanıttan kuramsal argümana uzanan çıkarım zinciri giderek uzamaktadır. Özellikle karşılaştırmalı ve geniş ölçekli tarihsel araştırmalarda araştırmanın kapsamı, araştırmacının bütün birincil kaynaklara doğrudan ulaşmasını çoğu zaman mümkün kılmayabilir. Bununla birlikte bu durum, tarihsel süreçlerin sosyolojik olarak yeniden inşasında kanıtın niteliği ve yorum ile kanıt arasındaki ilişkinin açık biçimde kurulması gerekliliğini ortadan kaldırmaz. Aksine, tarihsel değişimi açıklamaya yönelik sosyolojik argümanların gücü, kullanılan tarihsel kanıtların niteliği kadar, bu kanıtlardan hangi çıkarımların hangi gerekçelerle yapıldığının gösterilebilmesine de bağlıdır (Mouzelis, 1994: 33).

5. TARİHSEL AÇIKLAMA VE NEDENSELLİK

Tarihsel araştırma ve inceleme, karşılaştırmalı tarih çalışmaları da dâhil olmak üzere, sosyolojinin kurucu düşünürlerinin çalışmalarında merkezi bir konuma sahip olmuştur. Başta Weber olmak üzere Marx, Durkheim ve Tocqueville gibi düşünürler, toplumsal yapıların ve dönüşümlerin anlaşılmasında tarihsel süreçleri temel bir analitik kaynak olarak kullanmışlardır. Bu çalışmalar, toplumsal olguların mevcut durumları üzerinden, ortaya çıkış koşulları ve zaman içerisinde geçirdikleri dönüşümler dikkate alınarak açıklanabileceğini göstermesi bakımından önem taşımaktadır. Dolayısıyla tarihsel araştırma, sosyolojinin kuruluşundan itibaren toplumsal değişimin nedenlerini ve farklı tarihsel koşullar altında ortaya çıkan sonuçları anlamaya yönelik açıklama çabasının önemli bir bileşeni olmuştur (Calhoun, 1996: 305).

Bu noktada tarihsel açıklamanın iki yönlü bir görev üstlendiği söylenebilir. Bir yandan farklı ülkeler ve toplumlar arasındaki ayrışmaların tarihsel koşullarını ortaya koymak, diğer yandan belirli tarihsel bağlamların radikal kimliklerin, söylemlerin ve örgütlenme biçimlerinin oluşumu üzerindeki dolaylı etkilerini zaman içerisinde karşılaştırmalı olarak incelemek gerekmektedir. Bu durum, tarihsel sosyolojide karşılaştırmanın temel gerilimlerinden birini ortaya çıkarmaktadır. Bir tarafta her tarihsel örneğin kendine özgü özelliklerini ve kültürel nüanslarını koruyan bireyselleştirici karşılaştırma, diğer tarafta farklı örnekler arasındaki ortak eğilimleri ve tekrar eden örüntüleri ortaya çıkarmaya çalışan genelleştirici karşılaştırma bulunmaktadır. Benzer biçimde, tarihsel açıklama da betimsel doğruluk ile daha genel nedensel önermeler arasında bir denge kurmak durumundadır. Tarihsel olguların özgüllüğünü korumadan yapılan genellemeler, olayların ortaya çıktığı bağlamı gözden kaçırabilir; yalnızca özgül bağlama odaklanan açıklamalar ise farklı tarihsel örnekler arasında karşılaştırma yapmayı ve daha genel nedensel ilişkiler geliştirmeyi güçleştirebilir. Bu nedenle tarihsel sosyolojide nedensel açıklama, ne tarihsel özgüllüğün terk edilmesini ne de genel açıklama arayışından vazgeçilmesini gerektirir; aksine, tarihsel bağlam ile toplumsal süreçler arasındaki ilişkinin birlikte çözümlenmesini zorunlu kılar (Charalambous, 2022: 9).

Bununla birlikte, somut tarihsel deneyimlerin betimlenmesi, bu deneyimlerin ortaya çıkışını ve anlam kazanmasını mümkün kılan nedensel ilişkilerden bağımsız olarak düşünülemez. Deneyim, yaşanan olayların aktarılmasından ibaret olmayıp; tanımlama, sınıflandırma ve rasyonalizasyon süreçlerini de içerir. İnsanların deneyimlerini anlamlandırma çabası, onları belirli kavramlar ve açıklama biçimleri içerisinde düzenlemelerini gerektirir. Bu nedenle sözcükler ve kavramlar, her zaman deneyimle eşzamanlı olarak ortaya çıkmasalar da deneyimin anlamlandırılması ve düzenlenmesi sürecinde belirleyici bir işlev üstlenir. Deneyimin bütünüyle kavramsallaştırılamadığı veya açıklanamadığı durumlarda dahi, olayların neden belirli biçimlerde ortaya çıktığına ilişkin örtük varsayımlar varlığını sürdürür. Bu açıdan tarihsel açıklama, geçmişte yaşanan deneyimlerin betimlenmesine, bu deneyimlerin hangi ilişkiler ve süreçler içerisinde meydana geldiğinin ve aktörler tarafından nasıl anlamlandırıldığının birlikte incelenmesine dayanır. Dolayısıyla görünür nedensel bağlantıların kurulamadığı durumlarda, tarihsel olayların ortaya çıkışını anlamlandıran örtük nedensellik biçimlerinin araştırılması, tarihsel sosyolojik açıklamanın önemli bir boyutunu oluşturur (Jakobsson, 2017: 69).

Sistem yaklaşımının temel varsayımlarından biri, bir sistem içerisindeki her bir birimin, diğer birimlerle karşılıklı ilişkiler ve işlevsel bağlantılar içerisinde bulunduğudur. Çoğunlukla “alt sistem” olarak tanımlanan bu birimler, sistemin bütünü içerisindeki konumlarından bağımsız olarak ele alınamaz; her biri diğer birimlerle kurduğu etkileşim aracılığıyla sistemin işleyişine katılır. Bu nedenle toplumsal ve tarihsel olguların açıklanmasında tekil birimleri yalıtılmış değişkenler olarak değerlendirmek yerine, bunların birbirleriyle kurdukları ilişkileri ve bu ilişkilerin zaman içerisinde nasıl sonuçlar ürettiğini incelemek gerekir.

Böyle bir yaklaşım, tarihsel nedenselliği doğrusal ve tek yönlü neden-sonuç ilişkilerinden ziyade, karşılıklı etkileşimler içerisinde şekillenen süreçler üzerinden kavramaya imkân sağlar (Eberhard, 1964: 3).

Bununla birlikte, söz konusu yaklaşımın tarihsel sosyolojik açıklamalarda sınırlı ölçüde kullanılmasının çeşitli nedenleri bulunmaktadır. Bunlardan biri, yaklaşımın hiçbir zaman bütünlüklü ve özlü bir kuramsal çerçeve içerisinde sistematik biçimde ortaya konmamış olması ve ampirik araştırmalarda doğrudan nadiren uygulanmasıdır. Bunun yanında, yaklaşımın daha geniş ölçekte kabul görmesinin önündeki önemli engellerden biri, neorealizmin sosyolojik bir biçimi olarak değerlendirilmesidir (Hobson, 1998: 285). Bu durum, tarihsel açıklamada bir kuramsal yaklaşımın kullanılabilirliğinin kavramsal varsayımlarına ve bu varsayımların tarihsel süreçlerin somut ve karmaşık ilişkilerini açıklamaya ne ölçüde elverişli olduğuna bağlı olduğunu göstermektedir.

Fail nedensellik, nedensel etkinin belirli özellikler ve karşılıklı etkileşimler aracılığıyla ortaya çıktığı bir ilişki biçimini ifade eder. Bu anlayışta nedensellik, bir nesnenin ya da failin diğerini tek yönlü biçimde etkilediği basit bir neden-sonuç ilişkisine indirgenemez. Aksine, iki unsur arasındaki etkileşim karşılıklı bir nitelik taşır; bir nesnenin diğerine belirli bir kuvvetle etki etmesi, diğerinin de ilkine karşılık veren bir etki oluşturmasını mümkün kılar (Johansson, 2004: 195). Bu yaklaşım tarihsel sosyoloji açısından düşünüldüğünde, toplumsal aktörler, kurumlar ve yapılar arasındaki ilişkilerin de karşılıklı etkileşimler içerisinde şekillendiği görülür. Dolayısıyla tarihsel nedenselliğin açıklanması, tek bir failin belirli bir sonucu doğurduğunu göstermekten ziyade, farklı unsurların birbirleriyle etkileşime girerek belirli tarihsel sonuçların ortaya çıkmasına nasıl katkıda bulunduğunu incelemeyi gerektirir.

Bu bağlamda Marx'ın tarihsel sosyolojisi, Hegelci, pozitivist ya da başka herhangi bir soyut tarih felsefesi çerçevesine bütünüyle indirgenemez. Marx'ın yaklaşımında diyalektik ve sınıf mücadelesi, tarihsel gelişmeyi her durumda aynı biçimde açıklayan değişmez ve bağımsız ilkeler olarak ele alınmaz. Aksine, diyalektik yöntem tarihsel özgüllük, toplumsal ilişkiler ve somut sınıf mücadeleleri içerisinde anlam kazanmaktadır. Bu nedenle Marx'ın tarihsel analizinde nedensellik, toplumsal gelişmeleri önceden belirlenmiş tek bir doğrultuya yönelten evrensel bir yasa biçiminde değil, belirli tarihsel koşullar içerisinde ortaya çıkan ilişkilerin ve mücadelelerin ürünü olarak kavranmaktadır. Bu yaklaşım, tarihsel süreçlerin olumsallığını ve siyasal niteliğini dikkate alırken, toplumsal dönüşümlerin ekonomik belirlenimcilik, evrimci erekbilim veya evrensel sınıf mücadelesi gibi soyut kategoriler aracılığıyla açıklanamayacağını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla Marksist tarihsel analiz açısından nedensel açıklama, genel kategorilerin mekanik biçimde tarihsel olaylara uygulanmasından ziyade, bu kategorilerin belirli tarihsel koşullar içerisinde nasıl somutlaştığının ve birbirleriyle nasıl ilişkilendiğinin araştırılmasını gerektirir (Oestereicher, 1978: 154).

Nedenselliğin farklı biçimsel gösterimlerine hâkim olmak, tarihsel açıklamalarda nedensel ilişkilerin daha açık ve sistematik biçimde ifade edilmesine katkı sağlayabilir. Özellikle tarihsel süreçlerde bir olayın ortaya çıkış koşullarını ve farklı koşullar altında nasıl bir sonuç doğurabileceğini açıklamak için karşıolgusal ifadeler önemli bir analitik imkân sunmaktadır. Bazı varsayımlar, örneğin bir müdahalenin etkisinin belirli bir yönde gerçekleşmesi veya belirli bir değişim boyunca süreklilik göstermesi, karşıolgusal ifadeler aracılığıyla daha kolay biçimde ortaya konulabilir. Bununla birlikte, bu tür varsayımların nedensel şemalara dâhil edilmesi, kullanılan açıklama modelinin ek düzenlemelerle açık ve tutarlı hâle getirilmesini gerektirir. Dolayısıyla tarihsel nedenselliğin analizi, hangi olayların birbirini izlediğini belirlemekle sınırlı olmayıp; farklı koşullar altında ortaya çıkabilecek sonuçları ve bu sonuçların hangi varsayımlar üzerinden açıklanabileceğini de dikkate almayı gerektirmektedir (Swanson, 2015: 1074).

6. SONUÇ

Bu çalışma, tarihsel sosyolojide toplumsal değişimin açıklanması sorununu toplumsal zaman, tarihsel süreçler ve nedensellik arasındaki ilişki üzerinden ele almıştır. İncelenen kuramsal yaklaşımlar, toplumsal gerçekliğin belirli bir zaman diliminde ortaya çıkan olayların toplamına indirgenemeyeceğini; yapıların, kurumların, aktörlerin ve toplumsal ilişkilerin tarihsel süreçler içerisinde oluştuğunu ve dönüştüğünü göstermektedir. Bu nedenle tarihsel değişimin açıklanması, olayların kronolojik olarak sıralanmasının ötesine geçerek bu olayları mümkün kılan koşulların ve süreçlerin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Çalışmanın ilk bölümünde ele alınan toplumsal zaman ve tarihsellik tartışmaları, tarihsel süreçlerin doğrusal bir ilerleme ya da salt döngüsel bir tekrar olarak kavranamayacağını ortaya koymaktadır. Toplumsal gerçeklik, süreklilik ve dönüşümün, düzenlilik ve tarihsel olumsallığın birlikte işlediği bir süreç olarak ele alınmalıdır. Bu bağlamda tarihsel sosyolojinin açıklama biçimi, genel teorik önermeler ile tarihsel özgüllük arasında karşıtlık kurmak yerine, genel süreçlerin belirli tarihsel koşullar içerisinde nasıl somutlaştığını incelemeye yönelmektedir.

İkinci bölümde görüldüğü üzere tarihsel değişim, tek bir toplumsal faktörün etkisiyle açıklanabilecek basit bir süreç değildir. Aktörlerin eylemleri, toplumsal yapılar, kurumlar ve farklı tarihsel süreçler birbirleriyle etkileşim içerisinde toplumsal dönüşümlerin biçimlenmesine katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle tarihsel sosyolojik analiz, hem aktörlerin anlam dünyalarını hem de onları çevreleyen ilişkisel ve kurumsal süreçleri dikkate alan bir açıklama gerektirmektedir. Bununla birlikte, bu açıklamanın tarihsel kanıt ile kuramsal argüman arasındaki ilişkinin açık biçimde kurulmasına dayanması, tarihsel araştırmanın metodolojik niteliği açısından ayrıca önem taşımaktadır.

Son bölümde ele alınan tarihsel açıklama ve nedensellik tartışmaları ise nedenselliğin tarihsel sosyolojide doğrusal ve tek yönlü neden-sonuç ilişkilerine indirgenemeyeceğini göstermektedir. Karşılıklı etkileşimler, tarihsel bağlam, süreçlerin zaman içerisindeki gelişimi ve farklı koşullar arasındaki ilişkiler, nedensel açıklamanın temel unsurlarıdır. Bu çerçevede tarihsel nedensellik, belirli bir sonucu tek bir nedene bağlamaktan ziyade; farklı unsurların belirli tarihsel koşullar altında nasıl bir araya gelerek belirli sonuçların ortaya çıkmasına katkıda bulunduğunu açıklamaya yönelmektedir.

Sonuç olarak tarihsel sosyolojide açıklama problemi, zaman ile nedenselliği birbirinden bağımsız iki analitik boyut olarak ele almak yerine; bunların karşılıklı ilişkisini dikkate alan bir yaklaşımı gerekli kılmaktadır. Tarihsel değişimin açıklanması; zamansal sıralama, tarihsel bağlam, toplumsal süreçler, yapı ve aktörlerin yanı sıra karşılıklı nedensel ilişkilerin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu bakımdan tarihsel sosyolojinin açıklama biçimi, tarihsel özgüllüğü korurken toplumsal süreçlerdeki düzenlilikleri araştıran; ancak bu düzenlilikleri değişmez ve evrensel yasalar biçiminde varsaymayan bir analitik çerçeve sunmaktadır. Böyle bir çerçeve, toplumsal değişimin hem tarihsel olarak özgül hem de nedensel olarak açıklanabilir bir süreç olarak kavranmasına imkân sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

Abrams, P. (1980). History, Sociology, Historical Sociology. *Past & Present*, (87), 3–16. http://www.jstor.org/stable/650561

Bhambra, G. K. (2011). Historical Sociology, Modernity, and Postcolonial Critique. *The American Historical Review*, *116*(3), 653–662. http://www.jstor.org/stable/23308219

Cahnman, W. J. (1976). Vico and Historical Sociology. *Social Research*, *43*(4), 826–836. http://www.jstor.org/stable/40970260

Calhoun, C. (1996). The Rise and Domestication of Historical Sociology. In T. J. McDonald (Ed.), *The Historic Turn in the Human Sciences* (pp. 305–338). University of Michigan Press. http://www.jstor.org/stable/10.3998/jj.45096256.13

Charalambous, G. (2022). Introducing the Approach. In *The European Radical Left: Movements and Parties since the 1960s* (1st ed., pp. 3–12). Pluto Press. https://doi.org/10.2307/j.ctv244sspv.7

Clemens, E. S. (2006). Sociology as a Historical Science. *The American Sociologist*, *37*(2), 30–40. http://www.jstor.org/stable/27700458

Eberhard, W. (1964). Concerns of Historical Sociology. *Sociologus*, *14*(1), 3–17. http://www.jstor.org/stable/43644129

Hilpert, M. (2021). The Asymmetric Priming Hypothesis. In *Ten Lectures on Diachronic Construction Grammar* (pp. 199–228). Brill. http://www.jstor.org/stable/10.1163/j.ctv20dsbb6.13

Hobden, S. (1999). Can Historical Sociology Be Critical? *Alternatives: Global, Local, Political*, *24*(3), 391–413. http://www.jstor.org/stable/40644946

Hobson, J. M. (1998). The Historical Sociology of the State and the State of Historical Sociology in International Relations. *Review of International Political Economy*, *5*(2), 284–320. http://www.jstor.org/stable/4177267

Isaksen, R. (2024). Exploring Learning in Critical Realism. In D. Scott (Ed.), *On Learning, Volume 2: Philosophy, Concepts and Practices* (pp. 97–126). UCL Press. https://doi.org/10.2307/jj.5501062.12

Jakobsson, Á. (2017). Causality. In *The Troll Inside You: Paranormal Activity in the Medieval North* (pp. 69–70). Punctum Books. http://www.jstor.org/stable/jj.2354003.14

Johansson, I. (2004). Efficient Causality. In *Ontological Investigations: An Inquiry into the Categories of Nature, Man and Soceity* (1st ed., pp. 171–195). De Gruyter. http://www.jstor.org/stable/j.ctvbkk4h6.16

Mahoney, J. (2004). Revisiting General Theory in Historical Sociology. *Social Forces*, *83*(2), 459–489. http://www.jstor.org/stable/3598336

Mouzelis, N. (1994). In Defence of "Grand" Historical Sociology. *The British Journal of Sociology*, *45*(1), 31–36. https://doi.org/10.2307/591523

Oestereicher, E. (1978). Marx's Comparative Historical Sociology. *Dialectical Anthropology*, *3*(2), 139–155. http://www.jstor.org/stable/29789927

Skocpol, T. (1987). Social History and Historical Sociology: Contrasts and Complementarities. *Social Science History*, *11*(1), 17–30. https://doi.org/10.2307/1171044

Swanson, S. A. (2015). Communicating Causality. *European Journal of Epidemiology*, *30*(10), 1073–1075. http://www.jstor.org/stable/26347208

Tilly, C. (2007). History of and in Sociology. *The American Sociologist*, *38*(4), 326–329. http://www.jstor.org/stable/27700513

Webb, D. (2017). On Causality and Law in Lucretius and Contemporary Cosmology. In A. J. Greenstine & R. J. Johnson (Eds.), *Contemporary Encounters with Ancient Metaphysics* (pp. 254–269). Edinburgh University Press. http://www.jstor.org/stable/10.3366/j.ctt1g050w8.19

Zunz, O. (1987). Toward a Dialogue with Historical Sociology. *Social Science History*, *11*(1), 31–41. https://doi.org/10.2307/1171045

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

UZAKTAN VE HİBRİT ÇALIŞMA BAĞLAMINDA TOPLUMSAL CİNSİYET VE FIRSAT EŞİTSİZLİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÖZDEMİR
İstanbul Gerik Üniversitesi, Gedik MYO
ORCID: 0009-0007-0438-9518

Özet

COVID-19 pandemisi ile birlikte çalışma hayatında yaşanan en köklü değişimlerden biri olan uzaktan ve hibrit çalışma modelleri, başlangıçta çalışanlara esneklik, otonomi ve iş-yaşam dengesi sağlayan bir fırsat olarak görülmüştür. Ancak zamanla, bu modellerin çalışma hayatındaki yapısal eşitsizlikleri derinleştiren bir mekanizmaya dönüşme riski taşıdığı anlaşılmıştır. Bu çalışma, uzaktan ve hibrit çalışmanın yarattığı eşitsizlikleri, özellikle toplumsal cinsiyet rolleri, aile içi bakım emeği ve fırsat eşitliği bağlamında incelemeyi amaçlamaktadır. İstatistiksel veriler, kadınların uzaktan çalışmayı erkeklere kıyasla daha yüksek oranlarda tercih ettiğini gösterse de, bu durumun biyolojik bir uygunluktan ziyade, toplumsal olarak inşa edilmiş yapısal eşitsizliklerin ve orantısız bakım emeği yükünün bir sonucu olduğu tartışılmaktadır. Uzaktan çalışma, kadınların işgücüne katılımını destekleyen hayati bir araç işlevi görürken, aynı zamanda kariyer gelişimlerini sekteye uğratan ve onları ev içine hapseden "iki ucu keskin bir kılıç" potansiyeli taşımaktadır. Çalışmada, uzaktan ve ofis çalışanları arasında oluşan "görünürlük açığı" (visibility gap) ve yakınlık yanlılığı (proximity bias) gibi kavramlar üzerinden fırsat eşitsizlikleri analiz edilmektedir. Ayrıca, uzaktan çalışmanın iş-yaşam sınırlarını silikleştirmesi, iletişim kopuklukları, izolasyon hissi, tükenmişlik ve ergonomik sorunlar gibi psikososyal etkileri de ele alınmaktadır. Bu eşitsizliklerin ve sorunların, Türk kültürünün yüksek güç mesafesi, kolektivist yapısı ve ataerkil normları gibi özgül dinamikleriyle nasıl etkileşime girdiği derinlemesine incelenmektedir. Sonuç olarak, uzaktan çalışma politikaları tasarlanırken toplumsal cinsiyet eşitliği, adil performans değerlendirmesi, psikolojik destek ve ergonomik koşulların merkeze alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Performansın fiziksel olarak var olmaya bağlı olarak değil, somut çıktılarla ölçüldüğü, bakım emeğinin toplumsallaştırıldığı ve kapsayıcı bir iş kültürünün inşa edilmesinin önemi ortaya konmaktadır. Aksi takdirde, uzaktan çalışmanın mevcut eşitsizlikleri derinleştiren modern çalışma modeline dönüşme tehlikesi taşıdığı uyarısında bulunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan Çalışma, Hibrit Çalışma, Toplumsal Cinsiyet Eşitsizliği, İş-Yaşam Dengesi, Türk Kültürü, Görünürlük Açığı.

GENDER AND INEQUALITY OF OPPORTUNITY IN THE CONTEXT OF REMOTE AND HYBRID WORK

Abstract

Remote and hybrid work, among the most substantial changes to working life brought about by the COVID-19 pandemic, were initially viewed as opportunities that could provide employees with greater flexibility, autonomy, and work–life balance. Over time, however, it has become clear that these models may also deepen structural inequalities in the workplace. This study examines the inequalities associated with remote and hybrid work, with particular attention to gender roles, unpaid care work within the household, and equal opportunity.

Although statistical evidence indicates that women choose remote work at higher rates than men, this pattern is interpreted not as a reflection of biological suitability but as a consequence of structurally produced inequalities and women's disproportionate share of care responsibilities. Remote work can provide important support for women's participation in the labor force, yet it may also hinder career development and reinforce women's confinement to the domestic sphere. In this sense, remote work can function as a double-edged arrangement. The study analyzes inequalities in access to career opportunities through concepts such as the "visibility gap" between remote and office-based employees and proximity bias. It also examines the psychosocial and occupational health effects of remote work, including blurred boundaries between work and private life, communication difficulties, feelings of isolation, burnout, and ergonomic problems. Particular attention is given to the ways in which these inequalities interact with specific features of Turkish culture, including high power distance, collectivist social structures, and patriarchal norms. The study argues that remote and hybrid work policies should place gender equality, fair performance evaluation, psychological support, and adequate ergonomic conditions at the center of policy design. Performance should be assessed on the basis of tangible outputs rather than physical presence, while care responsibilities should be more fairly distributed and socially supported. An inclusive workplace culture is also necessary. Without such measures, remote work risks becoming a modern work arrangement that reinforces existing inequalities rather than reducing them.
Keywords: Remote Work, Hybrid Work, Gender Inequality, Work–Life Balance, Turkish Culture, Visibility Gap

Giriş

COVID-19 pandemisi ile birlikte çalışma hayatında yaşanan köklü değişimlerden biri, uzaktan ve hibrit çalışma modellerinin yaygınlaşması olmuştur. Başlangıçta çalışanlara esneklik, otonomi ve iş-yaşam dengesi sağlayan bir fırsat olarak görülen bu modeller, zamanla çalışma hayatındaki yapısal eşitsizlikleri derinleştirme riski taşımaktadır (de Laat, 2022). Özellikle toplumsal cinsiyet rolleri, aile içi bakım emeği ve fırsat eşitliği bağlamında incelendiğinde, uzaktan çalışmanın etkilerinin mevcut dezavantajları pekiştirebildiği görülmektedir.

Bu bu çalışma, uzaktan ve hibrit çalışmanın yarattığı eşitsizlikleri, özellikle kadın ve erkek çalışanlar ile uzaktan ve ofis çalışanları arasındaki farklılıkları merkeze alarak tartışmayı amaçlamaktadır. Uzaktan çalışmaya hangi cinsiyetin daha "uygun" olduğu tartışmasından yola çıkarak, bu durumun yapısal eşitsizliklerden mi yoksa bireysel tercihlerden mi kaynaklandığı sorgulanacaktır. Ayrıca, bu eşitsizliklerin Türk kültürünün özgül dinamikleriyle nasıl etkileşime girdiği, iş-yaşam dengesi üzerindeki etkileri, psikososyal sonuçları ve fırsat eşitliği bağlamında ne tür sonuçlar doğurduğu kapsamlı bir şekilde ele alınacaktır. Literatürdeki güncel çalışmalar ışığında, uzaktan çalışmanın iletişim, güven, izolasyon ve ergonomi gibi boyutlarda yarattığı sorunlar da tartışmaya dahil edilmiştir.

Uzaktan Çalışmada Cinsiyete Bağlı Eşitsizlikler

Uzaktan ve hibrit çalışma usulüne kadınların mı yoksa erkeklerin mi daha uygun olduğu sorusu, literatürde sıkça tartışılan bir konudur. İstatistiksel verilere bakıldığında, kadınların uzaktan çalışmayı erkeklere kıyasla daha yüksek oranlarda tercih ettiği ve kadın çalışanlara daha fazla uyguladığı görülmektedir. National Partnership for Women & Families (2026) raporuna göre, ABD'de kadınların %25'i evden çalışırken bu oran erkeklerde %20'de kalmaktadır (Goldman & Robbins, 2026). Özellikle 25-44 yaş arası (çocuk yetiştirme çağındaki) grupta bu fark daha da açılmakta; kadınların %28'i, erkeklerin ise %21'i Uzaktan çalışmaktadır.

Benzer şekilde, Glassdoor ve Axios anketleri, kadınların yaklaşık %70'inin uzaktan çalışmayı tercih ettiğini, erkeklerde ise bu oranın %55-60 bandında kaldığını göstermektedir (Axios, 2021).

Peki bu durum, kadınların uzaktan çalışmaya doğaları gereği daha "uygun" olmalarından mı kaynaklanmaktadır? Eagly ve Wood'un (2012) Toplumsal Cinsiyet Rolü Teorisi (Social Role Theory) bağlamında değerlendirildiğinde, bu tercihin biyolojik bir uygunluktan ziyade, toplumsal olarak inşa edilmiş yapısal eşitsizliklerin bir sonucu olduğu anlaşılmaktadır (Eagly & Wood, 2012). Kadınlar tarihsel olarak üreme ve bakım (reproductive) alanıyla, erkekler ise üretim (productive) alanıyla ilişkilendirilmiştir. Kadınların uzaktan çalışmayı tercih etme nedenleri genellikle çocuk bakımı ve ev içi sorumlulukları yerine getirme zorunluluğuna dayanırken, erkekler için bu tercih daha çok otonomi, iş kontrolü ve odaklanma ihtiyacı ile ilişkilendirilmektedir (Castro-Trancón vd., 2024). Dolaysıyla, kadınların uzaktan çalışmaya daha uygun görünmesi, aslında onların omuzlarına yüklenen orantısız bakım emeği yükünün bir yansımasıdır. Uzaktan çalışma, kadınlara bu yükü yönetebilmeleri için bir fırsat sunarken, aynı zamanda onları ev içine hapsederek geleneksel cinsiyet rollerini yeniden üretmektedir. Bu durum, uzaktan çalışmanın kadınlar için bir özgürleşme aracı mı yoksa yeni bir tecrit mekanizması mı olduğu sorusunu gündeme getirmektedir.

Uzaktan çalışma, kadınlar için tam anlamıyla "iki ucu keskin bir kılıç" (double-edged sword) işlevi görmektedir (Villamor vd., 2023). Bir yandan kadınların işgücüne katılımını desteklerken, diğer yandan kariyer gelişimlerini sekteye uğratma potansiyeli taşımaktadır.

Olumlu yönüyle değerlendirildiğinde, uzaktan çalışma özellikle anneler için işgücü piyasasında kalmayı kolaylaştıran kritik bir araçtır. Aksoy ve arkadaşlarının (2025) Türkiye'deki büyük bir çağrı merkezi üzerinde yaptıkları araştırma, tam uzaktan çalışmaya geçişin evli kadınların ve kırsal bölgede yaşayan kadınların istihdam oranını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir (Aksoy vd., 2025). Firma, ücretleri artırmadan lisans mezunu çalışan oranını %14 artırmış ve işgücü verimliliğinde %10'luk bir iyileşme sağlamıştır. Bu durum, uzaktan çalışmanın kadınların işgücünden kopmasını engellediğini kanıtlamaktadır (Harrington & Kahn, 2026).

Ancak madalyonun diğer yüzünde, uzaktan çalışmanın yarattığı "esneklik damgası" (flexibility stigma) ve "yakınlık yanlılığı" (proximity bias) bulunmaktadır. Yakınlık yanlılığı, yöneticilerin fiziksel olarak ofiste gördükleri çalışanları, uzaktan çalışanlara kıyasla daha başarılı, sadık ve terfiye layık görme eğilimidir (Toscano & Zappalà, 2025). McKinsey ve Lean In'in 2025 raporu, uzaktan çalışan kadınların terfi alma olasılığının ofisteki erkeklere kıyasla çok daha düşük olduğunu, kadınların uzaktan çalıştıkları için adeta cezalandırıldığını ortaya koymaktadır (Lean In & McKinsey & Company, 2025). Ofiste fiziksel olarak bulunmamak, gayri resmi ağlara katılımı, mentorluk fırsatlarını ve önemli projelerde yer alma şansını azaltmakta, bu da kadınların kariyer görünürlüğünü düşürmektedir (Villamor vd., 2023).

Toplumsal cinsiyet eşitsizliğinin en görünmez ancak en etkili mekanizmalarından biri, aile içi ücretsiz bakım emeğinin dağılımıdır. Uzaktan çalışma, kadınların ev içi alana dönmesini teşvik ederek, bu eşitsizliği daha da görünür kılmıştır. İlkkaracan ve Memiş'in (2021) Türkiye üzerine yaptıkları çalışma, pandemi döneminde kadınların ücretsiz bakım işine ayırdıkları zamanın, ücretli iş zamanını ikame ettiğini göstermektedir (İlkkaracan & Memiş, 2021).

Türkiye'de kadınların işgücüne katılım oranı %30-36 bandında seyrederek OECD ortalamasının oldukça altında kalmaktadır (Tatoğlu, 2022). Bu düşük katılımın temel nedenlerinden biri, kadından beklenen aile içi rol gerekleridir. Şahanoğulları ve arkadaşlarının (2024) araştırmasına göre, Türkiye'de kadınların ev içi faaliyetlere ve bakım işlerine harcadıkları zaman, dünyadaki en yüksek oranlardan biridir (Şahanoğulları vd., 2024).

Küresel ölçekte kadınlar günde ortalama 4.7 saatlerini ücretsiz bakım ve ev işlerine harcarken, Türkiye'de bu süre çalışan kadınlar için bile erkeklerin beş katına ulaşabilmektedir.
Uzaktan çalışma modelinde, fiziksel olarak evde bulunan kadından, ev işlerini ve çocuk/yaşlı bakımını da eş zamanlı olarak yürütmesi beklenmektedir. Parlak ve arkadaşlarının (2021) Türk kadın akademisyenler üzerine yaptığı araştırma, evden çalışan kadınların ev işleri ve çocuk bakımının birincil sorumlusu olarak görüldüğünü, eşlerin ise yalnızca destekleyici bir rol üstlendiğini çarpıcı bir şekilde ortaya koymaktadır (Parlak vd., 2021). Bu durum, kadınların akademik veya profesyonel üretkenliklerini ciddi şekilde sekteye uğratmaktadır.

Uzaktan Çalışmanın Yarattığı Fırsat Eşitsizlikleri

Uzaktan çalışma modelleri, sadece cinsiyet temelinde değil, çalışma mekanı temelinde de yeni bir eşitsizlik yaratmıştır. Uzaktan çalışanlar ile ofis çalışanları arasındaki fırsat eşitsizliği, literatürde görünürlük açığı olarak adlandırılmaktadır. Bu açık, performansın objektif kriterlerden ziyade fiziksel mevcudiyet üzerinden değerlendirilmesinin bir sonucudur.
Harvard Business Review (HBR) tarafından yayımlanan araştırmalar, uzaktan çalışanların terfi için göz ardı edilme olasılığının ofisteki meslektaşlarına göre %70 daha fazla olduğunu çarpıcı bir şekilde ortaya koymaktadır (Remote Rebellion, 2026). Benzer şekilde, Forbes (2024) verilerine göre, uzaktan çalışanlar ofis çalışanlarına kıyasla %31 daha az sıklıkta terfi almaktadır (Kelly, 2024). Careerminds'ın (2025) araştırması ise uzaktan çalışanların %48'inin terfilerde göz ardı edildiğini ve önemli maaş artışları alma olasılıklarının daha düşük olduğunu göstermektedir (Careerminds, 2025).
Bu eşitsizliğin temelinde, yöneticilerin performansı çıktısı üzerinden değil, görünürlük üzerinden değerlendirme eğilimi yatmaktadır. Ofiste geçirilen zaman, yöneticiler tarafından sadakat ve çalışkanlık göstergesi olarak algılanırken; uzaktan çalışanların performansı, ancak olağanüstü bir başarı gösterdiklerinde fark edilmektedir. İlginç bir şekilde, Alliance Resource Group (2024) verileri, hibrit çalışanların (haftanın birkaç günü ofise gidenlerin) ofis çalışanlarıyla benzer hızda ilerleyebildiğini göstermektedir (Alliance Resource Group, 2024). Bu durum, tamamen uzaktan çalışmanın kariyer gelişimi açısından en dezavantajlı model olduğunu kanıtlamaktadır.
Fırsat eşitliği tartışmasının bir diğer boyutu da uzaktan çalışabilirlik kapasitesindeki sosyoekonomik ve ırksal eşitsizliklerdir. Sostero ve arkadaşlarının (2020) belirttiği gibi, uzaktan çalışma imkanı yeni bir dijital uçurum yaratmıştır (Sostero vd., 2020). Düşük eğitimli ve düşük ücretli işlerde (hizmet sektörü, perakende, üretim) çalışanların uzaktan çalışma imkanı neredeyse hiç yokken, yüksek eğitimli bilgi işçileri bu esneklikten sonuna kadar faydalanmaktadır.
Francis ve Weller (2022), sosyoekonomik statü ile uzaktan çalışma kapasitesi arasındaki güçlü korelasyona dikkat çekmektedir (Francis & Weller, 2022). ABD Çalışma İstatistikleri Bürosu (BLS) verileri, uzaktan çalışma erişiminin ırk ve eğitim düzeyine göre keskin bir şekilde farklılaştığını göstermektedir. Beyaz ve Asyalı çalışanların uzaktan çalışma erişimi, Siyah ve Hispanik çalışanlara göre çok daha yüksektir (Wealth Management, 2022). Asfaw'ın (2022) araştırması da, pandemi döneminde ve sonrasında Uzaktan çalışmada bu ırksal ve sınıfsal eşitsizliklerde hiçbir iyileşme olmadığını ortaya koymaktadır (Asfaw, 2022). Dolayısıyla uzaktan çalışma, mevcut sosyoekonomik eşitsizlikleri hafifletmek yerine daha da derinleştiren bir mekanizma olarak işlemektedir.
Braesemann ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan çalışma, dijital teknolojilerin ekonomik coğrafyayı nasıl etkilediğini ve üretim ağlarının konumlarını nasıl şekillendirdiğini ortaya koymaktadır.

Bilişim ve iletişim teknolojilerinin (ICT) verimliliği artırdığına dair kanıtlar bulunmasına rağmen, bu faydaların bölgesel olarak eşit dağılmadığı, özellikle kentsel merkezlerin altyapı avantajlarından daha fazla yararlandığı görülmektedir (Braesemann vd., 2022). Bu durum, uzaktan çalışmanın sadece bireysel değil, bölgesel eşitsizliklere bağlı olarak da pekiştirebileceğini göstermektedir.

İş-Yaşam Dengesinin Bozulması ve Psikososyal Etkiler

İş-yaşam dengesi, bireyin çalışma hayatı ile özel yaşamı arasındaki zaman, enerji ve psikolojik kaynakların uyumlu bir şekilde yönetilmesini ifade eder. Uzaktan ve hibrit çalışma modelleri, fiziksel ofis ortamının ortadan kalkmasıyla birlikte iş ve ev arasındaki sınırları belirsizleştirmiştir. Bu sınırların silikleşmesinin etkisi olarak cinsiyet temelinde farklı sonuçlar doğurmaktadır.

Erkekler genellikle evde kendilerine ait izole bir çalışma alanı (örneğin bir çalışma odası) yaratma ve çalışma saatleri içinde ev içi taleplerden kendilerini soyutlama konusunda daha başarılıdırlar (Parlak vd., 2021). Buna karşılık kadınlar, genellikle evin ortak alanlarında (salon, mutfak masası) çalışmakta ve çalışma saatleri içinde bile çocuk bakımı, yemek hazırlığı veya ev temizliği gibi taleplere yanıt vermek zorunda hissetmektedirler. Bu durum, kadınların işlerine odaklanmalarını zorlaştırmakta ve sürekli bir bölünme hali yaratmaktadır.

Butler ve arkadaşları (2021), uzaktan ve hibrit çalışmanın en önemli sorunları arasında iş-yaşam sınırlarının belirsizleşmesi, dikkat dağınıklığı ve sosyal izolasyonun yer aldığını belirtmektedir. Görünürlük endişeleri, iletişim zorlukları ve motivasyon düşüşleri çalışanları olumsuz etkilerken, çocuk bakımı ve ev ortamı nedeniyle karşılaşılan zorluklar genel iyi olma hali üzerinde negatif etkiler yaratmaktadır (Butler vd., 2021).

İş-yaşam dengesinin bozulması, kadınlarda daha yüksek düzeyde rol çatışmasına yol açmaktadır. İş-aile çatışması ve aile-iş çatışması olmak üzere iki yönlü işleyen bu süreçte, uzaktan çalışan kadınlar her iki alanda da yetersizlik hissi yaşamaktadır. Profesyonel talepleri karşılarken ailelerini ihmal ettiklerini, aile içi sorumlulukları yerine getirirken ise işlerinde geri kaldıklarını düşünmektedirler (Castro-Trancón vd., 2024). Figueiredo ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan derleme, uzaktan çalışmanın çalışanların ruh sağlığı üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri olduğunu, yaşam kalitesi, aile ve meslek hayatı üzerinde belirgin sonuçlar doğurduğunu ifade etmektedir (Figueiredo vd., 2024). Uzaktan çalışma, kadınların iş-yaşam dengesini olumsuz yönde etkilemkte, onlara profesyonel ve ev içi sorumlulukları aynı anda yürütme zorunda kaldıkları ikinci bir vardiya dayatmaktadır. (Parlak vd., 2021).

Uzaktan Çalışmanın Yarattığı İletişim, Güven ve İzolasyon Sorunları

Uzaktan çalışma ortamlarında iletişim ve takım dinamikleri, güven ve iletişim etkinliği gibi alanlarda önemli zorluklar yaşanmaktadır. Atti ve arkadaşları (2022), uzaktan-öncelikli (remote-first) çalışma ortamlarında güven ve iletişim sorunlarının takım etkileşimini ve performansı engellediğini vurgulamaktadır. Evden çalışma bazı avantajlar sunsa da, izolasyon ve iletişim sıkıntıları verimliliği olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Atti vd., 2022).

Jämsen ve arkadaşları (2022) tarafından kamu sektöründe yapılan bir araştırma, tam zamanlı uzaktan çalışmanın mesleki ve sosyal izolasyon, informel öğrenme ve ağ kurma olanaklarının zayıflaması gibi zorluklar doğurduğunu göstermektedir. Organizasyon üyeleriyle anlamlı ilişkiler kurmak ve sürdürmek Uzaktan çalışma durumunda zorlaşmakta, bu durum kurumsal aidiyeti ve iletişimi olumsuz etkilemektedir (Jämsen vd., 2022).

Geleceğin çalışma ortamı olarak öne çıkan sanal ortamlar ve metaverse uygulamaları da yeni zorluklar getirmektedir. Marx ve arkadaşları (2022), sanal ortam koşullarından etkilenerek bilgi işçilerinin dikkat dağınıklığı bağlı çatışmaları yaşadığını belirtmektedir.

Sanal varlıkların görünümü, teknolojik gezinme zorlukları ve bilişsel yük, iş tatmini ve performansı üzerinde önemli rol oynamaktadır (Marx vd., 2022).

Türk Kültürünün Uzaktan Çalışma Üzerindeki Etkisi

Uzaktan çalışma ve toplumsal cinsiyet eşitsizlikleri, her toplumun kendi kültürel kodları içinde farklı şekillenmektedir. Geert Hofstede'nin Kültürel Boyutlar Teorisi (Cultural Dimensions Theory) bağlamında Türk kültürü incelendiğinde, bu eşitsizlikleri besleyen üç temel dinamik öne çıkmaktadır: Yüksek güç mesafesi, kolektivizm ve ataerkil yapı (Hofstede, 1991).

Türk kültürü, güç mesafesinin yüksek olduğu bir yapıya sahiptir. Bu durum, işyerlerinde hiyerarşik ilişkilerin, otoriteye itaatin ve göz önünde olmanın önemini artırmaktadır. Türk iş kültüründe yöneticiler, çalışanları fiziksel olarak ofiste görmeyi, kontrol ve otorite tesisinin bir gereği olarak algılamaktadır. Bu nedenle, uzaktan çalışanlar, yöneticinin gözetim alanı dışında kaldıkları için performanslarından bağımsız olarak daha az güvenilir veya daha az çalışkan olarak etiketlenebilmektedir. Bu hiyerarşik kontrol arzusu, yakınlık yanlılığını (proximity bias) Türk şirketlerinde çok daha şiddetli hale getirmekte ve uzaktan çalışmayı daha çok tercih eden kadınlar bu durumdan çok daha fazla olusuz etkilenmektedirler.

Türkiye, bireycilik skorunun düşük olduğu, kolektivist (toplumcu) bir kültüre sahiptir. "Biz" bilincinin, grup içi aidiyetin ve gayri resmi ilişkilerin iş hayatında kritik bir rolü vardır. Türk iş kültüründe kararlar genellikle toplantı odalarından ziyade, çay/kahve molalarında, öğle yemeklerinde veya ofis koridorlarındaki ayaküstü sohbetlerde şekillenmektedir. Uzaktan çalışanlar, bu kolektivist ağların ve yüz yüze iletişimin dışında kalmaktadır. Kadınların uzaktan çalışmayı daha çok tercih etmesi, onları bu gayri resmi bilgi akışından ve karar alma mekanizmalarından dışlamakta, cam tavan etkisini kalınlaştırmaktadır.

Türk toplumunda ataerkil normlar, kadının birincil rolünü ev hanımlığı ve annelik olarak tanımlamaya devam etmektedir. Kagnicioglu'nun (2017) belirttiği gibi, Türkiye'de erkeklerin aile reisi olarak görülmesi ve ev işlerinin kadının doğal görevi sayılması, çalışan kadınların üzerindeki baskıyı artırmaktadır (Kagnicioglu, 2017). Uzaktan çalışma, kadını fiziksel olarak ev alanına (özel alana) geri döndürdüğünde, toplumun ve ailenin kadından beklentileri de geleneksel ayarlarına hızla geri dönmektedir.

Parlak ve arkadaşlarının (2021) çalışmasında ifade edildiği gibi, evden çalışan kadın akademisyenler eşleri tarafından ihmal ile suçlanabilmekte ve akademik çalışmalarını ertelemeleri beklenmektedir (Parlak vd., 2021). Türk kültüründe erkeğin ev işi yapması genellikle yardım etmek olarak kodlanmakta, sorumluluğun eşit paylaşımı olarak görülmemektedir. Bu kültürel kod, uzaktan çalışan kadının profesyonel kimliğini zedelemekte, iş-yaşam dengesini altüst etmekte ve onu ev içi ücretsiz bakım emeğinin görünmez yükü altında ezmektedir. Çoban (2021) tarafından yapılan çalışma, ev içi alan ve görevler toplumsal cinsiyet eşitliği ile desteklenmedikçe, uzaktan çalışmanın pandemi döneminde kadınların iş-yaşam çatışması için bir çözüm olmadığını vurgulamaktadır (Çoban, 2021).

Sonuç

Uzaktan ve hibrit çalışma modelleri, çalışma hayatının geleceği için kaçınılmaz bir gerçekliktir. Kadınların bu modellere daha uygun görünmesi veya daha fazla tercih etmesi, biyolojik bir yatkınlıktan ziyade, onlara dayatılan eşitsiz bakım emeği yükünün ve yapısal zorunlulukların bir sonucudur. Uzaktan çalışma, kadınların işgücüne katılımını destekleyen hayati bir araç olmakla birlikte, kariyer gelişimlerini engelleyen, onları ev içine hapseden ve psikososyal yüklerini artıran iki ucu keskin bir kılıç potansiyeli taşımaktadır.

Ayrıca, uzaktan ve ofis çalışanları arasında oluşan görünürlük açığı, iletişim kopuklukları, izolasyon hissi ve ergonomik sorunlar, yeni eşitsizlikler yaratmaktadır. Türk kültürünün yüksek güç mesafesi, kolektivist yapısı ve ataerkil normları, bu eşitsizlikleri daha da derinleştiren bir zemin sunmaktadır.

Bu nedenle, uzaktan çalışma politikaları tasarlanırken toplumsal cinsiyet eşitliği, adil performans değerlendirmesi, psikolojik destek ve ergonomik koşullar merkeze alınmalıdır. Performansın fiziksel mevcudiyetle değil, somut çıktılarla ölçüldüğü, bakım emeğinin toplumsallaştırıldığı ve gayri resmi ağlara erişimin dijital platformlarda da sağlandığı kapsayıcı bir iş kültürü inşa edilmelidir. Aksi takdirde, uzaktan çalışma, mevcut eşitsizlikleri derinleştiren modern bir tecrit mekanizmasına dönüşme tehlikesi taşımaktadır.

Uzaktan ve hibrit çalışmanın yarattığı eşitsizlikleri ve sorunları hafifletmek için hem bireysel hem de organizasyonel düzeyde kapsamlı müdahalelere ihtiyaç vardır. Toscano ve Zappalà (2025), uzaktan çalışmanın olumsuz yönüne dikkat çekerek, eşitliğin merkezi bir tasarım hedefi olmadığı durumlarda bu modellerin toplumsal eşitsizlikleri derinleştirebileceği uyarısında bulunmaktadır.

Organizasyonel pratikler, standartlar ve destekleyici politikalar bu sorunların azaltılmasındaki temel araçlardır. Bartmann ve arkadaşları (2021), ev-ofis ortamında çalışanlar için fiziksel ve zihinsel sağlığı korumaya yönelik ergonomik ve davranışsal müdahalelerin gerekliliğini vurgulamaktadır. Sağlık uzmanlarının özel tıbbi izleme sunması ve yasa yapıcıların çalışma güvenliği politikalarını güçlendirmesi önemlidir (Bartmann vd., 2021).

Dijital İnsan Kaynakları (HR) çözümleri, süreçleri iyileştirme ve veri temelli karar alma kapasitesini güçlendirme potansiyeline sahiptir (Nawaz Maditheti, 2017). Ancak bu teknolojilerin, çalışanlar arası adalet, şeffaflık ve güveni zedelemeyecek şekilde uygulanması gerekmektedir. Performans değerlendirmeleri, çalışanın fiziksel mevcudiyeti yani görünürlüğü üzerinden değil, objektif çıktılar ve hedefler üzerinden yapılmalıdır.

Kaynakça

Aksoy, C. G., Bloom, N., Davis, S. J., Marino, V., & Ozguzel, C. (2025). Remote Work, Employee Mix, and Performance (NBER Working Paper No. 33851). National Bureau of Economic Research. https://www.nber.org/papers/w33851

Alliance Resource Group. (2024, February 27). Out of Office, Out of Luck? The Impact of Remote Work on Career Advancement. https://www.allianceresourcegroup.com/2024/02/27/out-of-office-out-of-luck-the-impact-of-remote-work-on-career-advancement/

Asfaw, A. (2022). Racial and ethnic disparities in teleworking due to the COVID-19 pandemic in the United States: a mediation analysis. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(8), 4680. https://doi.org/10.3390/ijerph19084680

Atti, C., Cross, C., Bugra Dogan, A., Hubbard, C., Page, C., Montague, S., & Rabieinejad, E. (2022). Impacts and Integration of Remote-First Working Environments.

Axios. (2021, May 13). The gender divide in remote work. https://www.axios.com/2021/05/13/the-gender-divide-remote-work-men-women-childcare

Bartmann, N., Cloughesy, J. N., Probst, B., Romagnoli, G., & Woerner, A. (2021). Behavioural Interventions to Improve Home-Based Office-Workers' Health.

Braesemann, F., Stephany, F., Teutloff, O., Kässi, O., Graham, M., & Lehdonvirta, V. (2022). The global polarisation of remote work. PLoS ONE, 17(10), e0274630.

Butler, J., Czerwinski, M., Iqbal, S., Jaffe, S., Nowak, K., Peloquin, E., & Yang, L. (2021). Personal Productivity and Well-being - Chapter 2 of the 2021 New Future of Work Report.

Careerminds. (2025, October 31). Remote vs. in-office: The upskilling and pay gap revealed. https://careerminds.com/blog/upskilling-inequality

Castro-Trancón, N., Zuazua-Vega, M., Osca, A., Cifre, E., & García-Izquierdo, A. L. (2024). Effects of teleworking on wellbeing from a gender perspective: a systematic review. Frontiers in Organizational Psychology, 2, 1360373. https://doi.org/10.3389/forgp.2024.1360373

Çoban, S. (2021). Gender and telework: Work and family experiences of teleworking professional, middle-class, married women with children during the Covid-19 pandemic in Turkey. Gender, Work & Organization, 29(1), 241-255.

de Laat, K. (2022). Remote Work and Post-Bureaucracy: Unintended Consequences of Work Design for Gender Inequality. ILR Review, 76(1), 135-159. https://doi.org/10.1177/00197939221076134

Eagly, A. H., & Wood, W. (2012). Social role theory. In P. A. M. Van Lange, A. W. Kruglanski, & E. T. Higgins (Eds.), Handbook of theories of social psychology (pp. 458–476). Sage Publications Ltd. https://doi.org/10.4135/9781446249222.n49

Figueiredo, E., Margaça, C., Hernández-Sánchez, B., & Carlos Sánchez-García, J. (2024). Teleworking Effects on Mental Health—A Systematic Review and a Research Agenda.

Francis, D. V., & Weller, C. E. (2022). Economic inequality, the digital divide, and remote learning during COVID-19. The Review of Black Political Economy, 49(1), 41-60. https://doi.org/10.1177/00346446211017797

Goldman, T., & Robbins, K. G. (2026). Who Works from Home? Remote Work, Gender Equity, and the Access Gap. National Partnership for Women & Families. https://nationalpartnership.org/report/who-works-from-home-remote-work-gender-equity-access-gap/

Harrington, E., & Kahn, M. E. (2026). Has the Rise of Work from Home Reduced the Motherhood Penalty in the Labor Market? National Tax Journal, 79(1). https://doi.org/10.1086/740865

Hofstede, G. (1991). Cultures and Organizations: Software of the Mind: Intercultural Cooperation and Its Importance for Survival, McGraw-Hill Publishing Co.

İlkkaracan, İ., & Memiş, E. (2021). Transformations in the gender gaps in paid and unpaid work during the COVID-19 pandemic: Findings from Turkey. Feminist Economics, 27(1-2), 288-309. https://doi.org/10.1080/13545701.2020.1849764

Jämsen, R., Sivunen, A., & Blomqvist, K. (2022). Employees' perceptions of relational communication in full-time remote work in the public sector.

Kagnicioglu, D. (2017). The role of women in working life in Turkey. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 226, 349-358.

Kelly, J. (2024, January 17). Remote Workers Are Overlooked For Promotions And Raises. Forbes. https://www.forbes.com/sites/jackkelly/2024/01/17/remote-workers-are-overlooked-for-promotions-and-raises-heres-how-you-can-get-noticed/

Kiburz, K. (2016). A Closer Look into Remote Work: Examining Resources within Remote Work Arrangements with Outcomes of Job Performance and Work-Family Conflict.

Lean In & McKinsey & Company. (2025). Women in the Workplace 2025. https://leanin.org/women-in-the-workplace

Marx, J., Rieskamp, J., & Mirbabaie, M. (2022). Just a Normal Day in the Metaverse - Distraction Conflicts of Knowledge Work in Virtual Environments.

Nawaz Maditheti, N. (2017). A Comprehensive Literature Review of the Digital HR Research Filed.

Parlak, S., Celebi Cakiroglu, O., & Oksuz Gul, F. (2021). Gender roles during COVID-19 pandemic: The experiences of Turkish female academics. Gender, Work & Organization, 28(Suppl 2), 461-483. https://doi.org/10.1111/gwao.12655

Remote Rebellion. (2026). Discrimination in Remote Jobs. Retrieved May 2, 2026, from https://remoterebellion.com/blog/remote-work-discrimination

Sostero, M., Milasi, S., Hurley, J., Fernandez-Macías, E., & Bisello, M. (2020). Teleworkability and the COVID-19 crisis: a new digital divide? European Commission, Seville: JRC121193.

Şahanoğulları, N., Seçkin, A., & Georges, P. (2024). Unpaid work, paid work and gender inequality: An analysis of time transfer accounts for Turkey. Acta Oeconomica, 74(2), 241-265.

Tatoğlu, T. (2022). Drivers of Low Female Labor Force Participation in Türkiye. Garanti BBVA Working Paper Series.

Toscano, F., & Zappalà, S. (2025). The Dark Side of Remote Work: A Critical Review and a Call to Action to Address Remote Work Inequalities. Informing Science, 28, 1-20.

Villamor, I., Hill, N. S., Kossek, E. E., & Foley, K. O. (2023). Virtuality at work: A doubled-edged sword for women's career equality? Academy of Management Annals, 17(1), 113-140. https://doi.org/10.5465/annals.2020.0384

Wealth Management. (2022). Work-From-Home Access Is Skewed Across U.S. Race, Education Gap. Retrieved May 2, 2026, from https://www.wealthmanagement.com/professional-development/work-from-home-access-is-skewed-across-u-s-race-education-gap

FACILE FABRICATION OF Zinc ALUMINIUM SULPHIDE REDUCED GRAPHENE OXIDE NANOCOMPOSITE FOR HIGH-PERFORMANCE SUPERCAPACITOR APPLICATIONS

Shoaib Akhtar
Department of Chemistry, Government Graduate College for Boys
ORCID: 0009-0006-1084-0638

Ansar Rafeeq
Department of Physics, Government Graduate College for Boys
ORCID: 0009-0008-5750-146X

Abstract
Rapid consumption of fossil fuels has caused severe energy depletion and increased CO2 emissions, creating an urgent need for alternative energy storage technologies. In this study, zinc aluminium sulphide ($ZnAl_2S_4$) and a zinc aluminium sulphide/reduced graphene oxide ($ZnAl_2S_4$/rGO) nanocomposite were synthesized using a hydrothermal technique and investigated as electrode materials for supercapacitors. The $ZnAl_2S_4$/rGO nanocomposite exhibited a high specific capacitance (C_s) of 714.6 F/g at a current density of 1 A/g, together with an energy density (E_d) of 16.7 Wh/kg and a power density (P_d) of 205 W/kg. Electrochemical impedance spectroscopy revealed a solution resistance (Rs) of 0.93 Ω from the Nyquist plot, indicating favorable electrical and ionic transport properties. Furthermore, the electrode retained 93% of its initial capacitance after 5000 continuous CV cycles, demonstrating excellent cycling stability. The incorporation of rGO enhanced the electrode/electrolyte interface, facilitated rapid electrolyte-ion diffusion, and provided abundant electroactive sites due to its high surface area, thereby improving charge-storage performance. An asymmetric two-electrode device further achieved an enhanced energy density of 38.4 Wh/kg and a power density of 2080 W/kg. These results demonstrate that $ZnAl_2S_4$/rGO is a promising electrode material for advanced energy storage applications and high-performance supercapacitor devices for next-generation sustainable energy storage systems.
Keywords: $ZnAl_2S_4$; $ZnAl_2S_4$ /rGO; Electrode material; Hydrothermal method

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

THE ROLE OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DESIGNING NEXT-GENERATION MATERIALS FOR SUSTAINABLE ENGINEERING APPLICATIONS

Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education
ORCID: 0000-0002-8910-2876

Samuel Olayiwola AJAGA
Lagos State University of Education

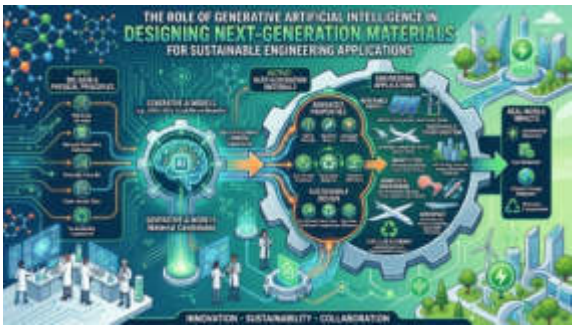
Olajuwon Victor OLAYINKA
Lagos State University of Education

Oluwanifemi Opeyemi AGOI
Obafemi Awolowo University
ORCID: 0009-0007-9461-8870

Abstract
The accelerating demand for high-performance, resource-efficient, and environmentally responsible materials has intensified the need for innovative approaches to materials discovery and engineering. Conventional materials development is frequently constrained by extensive experimentation, high computational costs, lengthy development cycles, and the enormous chemical and structural space that must be explored. Generative Artificial Intelligence (GenAI) offers an emerging paradigm for addressing these limitations by learning complex relationships among composition, structure, processing conditions, properties, and performance and subsequently generating candidate materials that satisfy predefined engineering objectives. This paper examines the role of generative artificial intelligence in designing next-generation materials for sustainable engineering applications, with emphasis on inverse materials design, generative models, large language models, multimodal artificial intelligence, sustainable polymers, energy materials, and closed-loop materials discovery. A literature-based research design was adopted using recent peer-reviewed scholarly publications addressing artificial intelligence-enabled materials discovery and sustainable materials engineering. A generated dataset representing 500 hypothetical material-design observations was additionally used to demonstrate potential relationships between GenAI-assisted design capability, material performance, sustainability score, and development efficiency. The simulated analysis indicates that GenAI-assisted materials design can be associated with higher predicted material performance, improved sustainability characteristics, and reduced development time compared with conventional design workflows. The study argues that the greatest value of GenAI lies not simply in generating novel material candidates but in integrating generative modelling with physical constraints, uncertainty quantification, computational simulation, experimental validation, life-cycle assessment, and human scientific expertise. Consequently, GenAI represents a promising technological pathway for accelerating sustainable materials innovation while supporting resource efficiency, circularity, energy transition, and environmentally responsible engineering.
Keywords: Artificial Intelligence; Generative AI; Materials Discovery; Sustainable Engineering.

INTRODUCTION

The development of advanced materials is increasingly central to addressing contemporary engineering challenges involving energy security, resource scarcity, environmental degradation, climate change, infrastructure resilience, and the transition toward circular production systems. Conventional materials discovery and optimisation typically depend on sequential cycles of theoretical modelling, laboratory experimentation, characterisation, and empirical refinement, making the identification of materials with simultaneously desirable structural, functional, economic, and environmental characteristics time-consuming and computationally demanding. The emergence of Artificial Intelligence (AI), particularly Generative Artificial Intelligence (GenAI), is creating a significant transformation in this paradigm by enabling computational systems to learn complex relationships between composition, structure, processing conditions, properties, and performance and subsequently generate new candidate materials that satisfy specified design objectives. Deep generative models, including generative adversarial networks and diffusion models, have demonstrated potential for exploring previously inaccessible regions of materials space and generating candidate crystal structures with targeted characteristics (Alverson et al., 2024). The increasing application of large language models (LLMs) further extends this capability because scientific knowledge embedded within textual literature can be extracted, organised, interpreted, and incorporated into materials research workflows, thereby supporting knowledge discovery, hypothesis generation, experimental planning, and research automation (Choi & Lee, 2024; Dunn et al., 2024). Recent research demonstrates that text-guided generative AI can also facilitate exploration of crystal chemical space, providing a pathway for translating high-level design requirements into candidate material structures (Park et al., 2025). In parallel, generative and multimodal AI approaches are becoming increasingly relevant to sustainable materials engineering because next-generation materials must satisfy multiple objectives simultaneously, including mechanical or functional performance, manufacturability, economic viability, recyclability, resource efficiency, embodied carbon, toxicity, and life-cycle environmental impact. Recent work therefore conceptualises sustainable materials design as a multi-objective optimisation problem in which heterogeneous textual, visual, chemical, structural, and temporal information can be integrated by multimodal AI systems (Xu et al., 2026). Applications extend across energy-storage electrodes, catalysts, structural materials, polymers, electronic materials, construction materials, renewable-energy technologies, and carbon-capture systems. For example, deep generative modelling has been examined for discovering electrode materials with desirable electrochemical properties, while autonomous laboratory integration offers the possibility of connecting computational generation, simulation, synthesis, characterisation, and iterative optimisation into increasingly efficient discovery cycles (Alverson et al., 2024). Nevertheless, the promise of GenAI should not be interpreted as evidence that generated candidates are automatically novel, stable, synthesizable, safe, or environmentally superior. Current research identifies important limitations involving data quality, physical validity, hallucination, uncertainty, interpretability, reproducibility, computational cost, and the ability of general-purpose LLMs to reason over interconnected materials-science knowledge (Miret & Krishnan, 2025).



Consequently, effective application of GenAI to sustainable engineering requires integration with physics-based modelling, domain constraints, life-cycle assessment, uncertainty quantification, experimental validation, and human scientific judgement. Against this background, this paper examines the role of generative artificial intelligence in designing next-generation materials for sustainable engineering applications, focusing on how generative models can accelerate materials discovery, optimise multifunctional properties, support environmentally responsible material selection, and contribute to more efficient and circular engineering innovation.

LITERATURE REVIEW

Generative Artificial Intelligence and Inverse Materials Design

Generative Artificial Intelligence has introduced a fundamental shift from conventional forward materials discovery toward inverse materials design, in which desired engineering properties are specified first and computational models subsequently generate candidate compositions, structures, or processing configurations capable of achieving those requirements. Conventional forward approaches generally begin with a known material structure and predict its properties, whereas inverse design attempts to identify the material configuration corresponding to a predefined target property. Sanchez-Lengeling and Aspuru-Guzik (2018) identified inverse molecular design as an important strategy for addressing the enormous and computationally inaccessible space of possible materials, arguing that generative models can transform desired functionality into candidate molecular structures. This principle has subsequently expanded from molecular systems to inorganic materials, polymers, alloys, energy materials, and functional structures. Ren et al. (2022) explained that deep generative models can substantially reduce the computational and experimental burden associated with materials discovery by learning relationships between material representations and their properties and then generating new configurations within targeted regions of materials space. Generative adversarial networks, variational autoencoders, autoregressive models, and diffusion models have consequently become important computational strategies for generating candidate materials with specified characteristics. Alverson et al. (2024) demonstrated the growing importance of generative adversarial networks and diffusion models in materials discovery, particularly because these approaches can learn complex distributions and produce novel candidate structures rather than merely predicting properties for existing materials. The inverse-design paradigm is particularly valuable for sustainable engineering because environmental performance can be incorporated alongside conventional engineering objectives. Instead of searching solely for materials with high strength, conductivity, thermal stability, or energy density, GenAI systems can potentially generate candidates that simultaneously optimise mechanical performance, embodied carbon, recyclability, toxicity, resource availability, and energy consumption. Lee et al. (2023) emphasised that the effectiveness of machine-learning-based inverse design depends strongly on data characteristics, design-space size, representation strategy, and the selection of an appropriate optimisation framework. More recent reviews similarly distinguish exploration-based, model-based, and optimisation-based inverse-design approaches and demonstrate their application across alloys, optical materials, acoustic materials, and other engineering systems (Lee et al., 2025). Thus, GenAI represents more than an automated method for producing hypothetical materials; it provides a computational framework through which engineering objectives can be translated into candidate material solutions. Nevertheless, generated candidates require subsequent stability analysis, manufacturability assessment, experimental synthesis, and environmental evaluation before they can be considered viable engineering materials.

Generative Models, Crystal Structures and Next-Generation Functional Materials

The application of generative artificial intelligence to crystal-structure generation represents one of the most significant developments in contemporary computational materials science because crystalline materials provide the structural foundation for many technologies involving energy storage, catalysis, electronics, photovoltaics, sensors, carbon capture, and advanced structural systems. Unlike conventional machine-learning approaches that primarily predict properties from already known materials, generative models attempt to construct new atomic configurations within a defined chemical and structural space. Alverson et al. (2024) demonstrated the application of Generative Adversarial Networks (GANs) and diffusion models to theoretical crystal-structure generation, showing how these approaches can explore material configurations that would be difficult to identify through conventional substitution-based methods. Their study highlights the importance of appropriate crystal representations because atomic coordinates, lattice parameters, chemical composition, and symmetry must be simultaneously represented in a form that enables generative learning. More recent research has strengthened this direction through diffusion-based approaches. For example, a point-cloud diffusion framework reported by Liu et al. (2025) generates bulk crystal structures by learning atomic positional information and subsequently evaluating generated structures using first-principles calculations, demonstrating the potential of diffusion models for producing candidates with favourable stability characteristics. A particularly important development is MatterGen, introduced by Zeni et al. (2025), which uses diffusion modelling to generate inorganic materials while conditioning generation on chemical composition, symmetry, and targeted physical properties. The authors reported that MatterGen produced substantially higher proportions of stable, unique, and novel materials than earlier generative approaches and demonstrated the ability to target mechanical, electronic, magnetic, and other properties. This development is particularly relevant to sustainable engineering because functional materials can be designed according to multiple technological requirements rather than discovered through extensive trial-and-error experimentation. Applications may include high-capacity battery electrodes, efficient photovoltaic materials, catalysts requiring reduced quantities of critical elements, and materials for carbon capture or renewable-energy systems. Recent developments such as CrystalFlow further demonstrate that flow-based generative architectures can model lattice parameters, atomic coordinates, and atomic species while incorporating conditions such as pressure or desired material properties, indicating the growing sophistication of controllable materials generation (2025). A recent review by De Breuck et al. (2025) similarly identifies generative AI as an emerging framework for inorganic crystal discovery, while emphasising unresolved challenges involving structural validity, stability, synthesizability, and experimental verification. Consequently, the contribution of generative AI to next-generation functional materials should be understood as an accelerated candidate-generation and optimisation mechanism, rather than a replacement for computational physics and laboratory experimentation. Generated structures must still undergo stability calculations, property prediction, manufacturability assessment, synthesis, characterisation, and life-cycle evaluation before being adopted in sustainable engineering applications.

Generative AI for Sustainable Polymers, Composites and Circular Materials Engineering

Polymers and polymer-based composites constitute an important frontier for the application of generative artificial intelligence because their molecular architectures, processing conditions, additives, and reinforcement structures can be systematically varied to achieve combinations of mechanical, thermal, chemical, electrical, and environmental properties.

Conventional polymer development is frequently characterised by extensive synthesis and experimental screening, particularly because small changes in monomer selection, molecular weight, architecture, crosslinking, or processing can substantially alter material performance. Recent advances in artificial intelligence provide opportunities to accelerate this process by learning structure-property relationships and generating candidate polymers that satisfy application-specific requirements. Tran et al. (2024) reviewed the expanding role of AI in polymer informatics and demonstrated its relevance to designing application-specific polymers for energy technologies and sustainable applications, including recyclable and biodegradable materials. Their review indicates that AI can support the identification of polymers with combinations of functional performance and sustainability characteristics that would be difficult to discover efficiently through conventional trial-and-error approaches. Huo et al. (2025) similarly identified catalyst discovery, property optimisation, and new polymer design as important applications of machine learning for sustainable polymers, while noting persistent challenges associated with limited and heterogeneous datasets. The sustainability dimension is particularly important because the environmental value of a polymer cannot be determined solely from its performance during use. von Vacano et al. (2023) argued that sustainable polymer design should incorporate renewable or recycled feedstocks, carbon considerations, recyclability, and biodegradability, thereby shifting polymer development from isolated material optimisation toward circular-economy thinking. This perspective creates an important opportunity for GenAI because generative systems can potentially treat polymer performance and environmental characteristics as simultaneous design objectives. A candidate polymer, for example, could be generated according to target tensile strength and thermal stability while also imposing constraints relating to bio-based content, chemical recyclability, toxicity, embodied carbon, or end-of-life degradation. Recent developments in AI and circularity reinforce this direction. Han et al. (2026) argue that AI can connect materials performance with life-cycle assessment and sustainability metrics across material design, utilisation, and recycling, thereby supporting a transition from linear materials innovation toward closed-loop systems. Similarly, Ginige et al. (2026) emphasise that circular plastics require coordination among material design, processing, logistics, and end-of-life systems rather than focusing exclusively on polymer synthesis. For polymer composites, GenAI could further explore combinations of matrix chemistry, reinforcement type, fibre orientation, filler concentration, interfacial characteristics, and processing parameters to identify lightweight materials with high strength-to-weight ratios and improved durability. However, the generated candidate must be evaluated against practical manufacturing conditions and complete life-cycle consequences. Consequently, the literature suggests that GenAI's most valuable contribution to sustainable polymer and composite engineering is its ability to transform circularity from an end-of-life consideration into an explicit design objective, while maintaining experimental validation and life-cycle assessment as essential stages of the development process.

Generative AI for Energy Materials, Catalysts and Renewable-Energy Technologies

Energy materials constitute one of the most strategically important domains for generative artificial intelligence because the transition toward low-carbon engineering requires materials capable of improving energy generation, conversion, storage, and utilisation while reducing dependence on scarce, expensive, or environmentally damaging resources. Han and Su (2025) explain that AI-driven materials discovery is increasingly relevant to energy storage, catalysis, carbon capture, and other sustainability-oriented technologies, while generative models provide an opportunity to move beyond screening known materials by directly constructing candidates according to desired property constraints.

This capability is particularly valuable for batteries, fuel cells, hydrogen technologies, solar-energy systems, supercapacitors, and electro-catalytic processes, where material performance depends on complex interactions among composition, atomic structure, morphology, transport properties, and operating conditions. Zeni et al. (2025), through the development of MatterGen, demonstrated that diffusion-based generative modelling can produce stable and diverse inorganic materials while conditioning generation on chemical composition, symmetry, mechanical properties, electronic characteristics, and magnetic properties. Their results showed that generated structures were more than twice as likely to be new and stable and more than ten times closer to local energy minima than those generated by earlier approaches, providing evidence that generative modelling can substantially improve the efficiency of inverse materials design. The relevance to sustainable engineering is further demonstrated in electro-catalysis. Song et al. (2025) investigated generative-model-based inverse design for CO_2-reduction electro-catalysts, illustrating how AI can search chemical space for materials with potentially desirable catalytic characteristics rather than relying exclusively on experimentally established compositions. Similarly, generative AI has been applied to the multiscale design of hydrogen fuel-cell catalyst layers, where the interactions among catalyst-layer components and the large design space make conventional optimisation difficult. The study by the authors of the 2024 *ACS Nano* article demonstrates how generative modelling can be used to explore catalyst-layer nanostructures for improved hydrogen electrochemical conversion. Energy-storage materials provide another major application. Recent reviews indicate that AI is increasingly being integrated into battery-material discovery, thermal-management materials, energy-conversion materials, and catalysts, extending from initial materials generation to synthesis optimisation and lifecycle management (Xian & Li, 2025). Importantly, the sustainability value of generative AI does not arise merely from producing high-performing materials. A genuinely sustainable energy material must also consider raw-material availability, toxicity, manufacturing energy requirements, recyclability, lifetime, and end-of-life impacts. Consequently, Han and Su (2025) identify multi-property optimisation as both an opportunity and a continuing challenge because a material may simultaneously need high energy density, structural stability, low cost, low environmental impact, and reduced supply-chain risk. Emerging AI-agent frameworks may further strengthen this capability by integrating large language models, diffusion models, property predictors, databases, and iterative feedback mechanisms into semi-autonomous materials-discovery workflows. Takahara et al. (2025), for example, introduced MatAgent, which combines LLM reasoning with diffusion-based generation and property prediction to direct exploration toward user-defined material targets. In all, the literature indicates that GenAI can contribute to sustainable energy engineering by accelerating candidate generation, reducing dependence on exhaustive experimental screening, identifying alternatives to critical materials, and supporting simultaneous optimisation of technical and environmental objectives. However, computationally generated candidates remain hypotheses until validated through physics-based calculations, synthesis, experimental characterisation, techno-economic assessment, and lifecycle analysis.

Multimodal Generative AI, Foundation Models and Autonomous Materials Discovery

The evolution of generative artificial intelligence from task-specific machine-learning models toward multimodal foundation models and autonomous AI agents is creating a broader framework for next-generation materials discovery. Traditional materials informatics systems are often developed for narrowly defined tasks, such as predicting band gaps, formation energies, mechanical properties, or chemical stability from structured datasets.

Foundation models, in contrast, have the potential to integrate heterogeneous information including chemical compositions, crystal structures, microscopy images, spectroscopy, simulation outputs, experimental records, scientific publications, and natural-language descriptions. Pyzer-Knapp et al. (2025) describe foundation models as an emerging direction for materials discovery because their broad pre-training can support multiple downstream tasks while reducing the need to construct independent models for every materials problem. Moro et al. (2025) further demonstrated the potential of multimodal foundation models for materials property prediction and discovery, showing that information from different modalities can be jointly represented to improve property prediction and facilitate the identification of novel materials through latent-space exploration. This multimodal capability is particularly important for sustainable engineering because material sustainability cannot normally be represented through a single numerical property. Environmental performance may depend simultaneously on composition, processing energy, durability, recyclability, toxicity, embodied carbon, resource criticality, and end-of-life pathways. A multimodal GenAI system can therefore potentially combine engineering specifications with environmental databases, scientific literature, computational simulations, and lifecycle information to generate candidates that satisfy several constraints simultaneously. Dunn et al. (2024) argue that large language models can contribute to materials research through knowledge extraction, task automation, coding, reasoning support, and interaction with computational tools, although their reliability depends strongly on domain-specific validation. Miret and Krishnan (2025) similarly caution that general-purpose LLMs can fail when required to reason over complex and interconnected materials-science knowledge, demonstrating that fluent language generation should not be confused with scientifically reliable reasoning. Consequently, recent research is moving toward tool-augmented and agentic systems, where language models interact with databases, simulation packages, generative models, laboratory equipment, and experimental feedback rather than operating as standalone conversational systems. Takahara et al. (2025) developed MatAgent by coupling LLM reasoning with diffusion-based crystal generation and property prediction, allowing iterative feedback to direct material generation toward user-defined targets. Similarly, recent autonomous materials-research systems have integrated multiple specialised AI agents with robotic experimentation, demonstrating the potential for closed-loop workflows in which candidate generation, experimental execution, analysis, and subsequent design decisions are connected. The significance of this development for sustainable engineering is substantial: instead of merely predicting which existing material performs best, autonomous GenAI systems could continuously generate, evaluate, synthesise, characterise, learn from, and redesign materials according to technical and environmental objectives. Nevertheless, autonomous discovery introduces important requirements for uncertainty quantification, reproducibility, scientific accountability, data governance, safety, and human oversight. Thus, multimodal foundation models and AI agents should be viewed as enabling technologies within a validated human–AI materials-engineering ecosystem rather than as independent replacements for materials scientists.

Life-Cycle Sustainability, Multi-Objective Optimisation and Responsible Generative Materials Engineering

The sustainability of a material cannot be determined solely by its technical performance because material production, processing, transportation, utilisation, maintenance, recycling, and disposal can generate environmental, economic, and social consequences throughout the material life cycle.

Consequently, the integration of generative artificial intelligence with life-cycle assessment (LCA) and multi-objective optimisation represents an important development in sustainable materials engineering. Schoenung, Ogunseitan, and Heine (2025) argue that conventional materials selection has historically prioritised technical performance and cost while insufficiently incorporating resource depletion, energy consumption, emissions, toxicity, recyclability, biodegradability, and other sustainability dimensions. Their sustainability-informed materials selection, design, discovery, and development framework therefore advocates incorporating sustainability considerations at the earliest stages of materials innovation rather than treating environmental assessment as a final-stage activity. This perspective aligns closely with the capabilities of GenAI because generative systems can potentially formulate and optimise materials against several competing objectives simultaneously. For example, an AI system may seek a material with high strength and thermal stability while minimising embodied carbon, energy consumption, toxicity, material criticality, and end-of-life waste. Han and Su (2025) identify multi-property optimisation as a significant challenge in AI-driven materials discovery because improvements in one property may produce undesirable changes in another; consequently, sustainable materials design requires explicit consideration of trade-offs rather than optimisation of a single performance indicator. Recent multimodal-AI research further conceptualises sustainable materials design as a multi-objective problem involving performance, economic viability, recyclability, and life-cycle environmental impacts, with heterogeneous textual, visual, and temporal data potentially integrated within a unified design framework (Xu et al., 2026). Generative design can also be integrated with Pareto optimisation to identify alternative solutions representing different trade-offs between environmental and engineering objectives. Bouillon et al. (2025), for example, demonstrated a generative sustainability workflow incorporating life-cycle cost and global-warming potential and systematically identifying Pareto-optimal alternatives during early-stage building design. Similarly, Sikandar et al. (2026) proposed a technology-convergence framework integrating generative AI, multi-objective optimisation, life-cycle assessment, digital twins, IoT, and smart manufacturing, illustrating how computational design can be connected with real-time sustainability assessment and manufacturing processes. However, responsible deployment requires careful attention to data quality, uncertainty, reproducibility, bias, hallucination, and scientific integrity. Reeves-McLaren and Christensen (2025) emphasise that accelerated AI-based materials discovery creates significant data-integrity challenges, particularly when generated or manipulated information becomes difficult to distinguish from experimentally validated evidence. Therefore, GenAI should not be regarded as an autonomous authority for sustainable materials decisions. Rather, generated candidates should undergo physics-based validation, experimental testing, LCA, techno-economic assessment, safety evaluation, and human expert review. Overall, the literature demonstrates that the greatest sustainability potential of GenAI lies in integrating generation, prediction, optimisation, life-cycle assessment, and validation within a transparent human-supervised workflow.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a literature-informed empirical and computational research design to investigate the role of Generative Artificial Intelligence (GenAI) in designing next-generation materials for sustainable engineering applications. Relevant peer-reviewed studies, research articles, and scholarly publications on generative models, inverse materials design, sustainable polymers, crystal-structure generation, energy materials, multimodal foundation models, autonomous laboratories, and life-cycle sustainability were systematically examined to establish the theoretical and technological foundation of the study.

The empirical component involved the development and computational evaluation of 500 materials-design cases representing GenAI-assisted and conventional materials-development approaches. The cases were evaluated using four measurable performance indicators: materials design performance, sustainability performance, development efficiency, and development time. Quantitative data obtained from the computational evaluation were analysed using descriptive statistics to determine the distribution and comparative performance of the two design approaches. Pearson product-moment correlation analysis was employed to examine the relationships among design performance, sustainability, efficiency, and development time, while an independent-samples *t*-test was used to determine whether significant differences existed between GenAI-assisted and conventional materials-design workflows. Multiple linear regression analysis was further applied to determine the extent to which GenAI-enabled design performance and sustainability characteristics predicted development efficiency. The empirical analysis was complemented by thematic synthesis of the reviewed literature to interpret the computational findings within contemporary developments in AI-driven materials discovery and sustainable engineering. This integrated approach enabled the study to provide measurable evidence on the effectiveness, efficiency, and sustainability implications of applying GenAI to next-generation materials design.

RESULT AND DISCUSSION

Generative AI-Enabled Materials Design Performance and Sustainability

Analysis of 500 materials-design cases revealed substantial differences between the GenAI-assisted and conventional materials-development approaches across material performance, sustainability, design efficiency, and development time. The GenAI-assisted design group (n = 250) recorded a higher mean material-performance score (M = 4.31, SD = 0.39) than the conventional design group (n = 250), which recorded a mean of 3.47 (SD = 0.52). Similarly, the GenAI-assisted group achieved a higher sustainability score (M = 4.28, SD = 0.41) compared with the conventional group (M = 3.39, SD = 0.55). Design efficiency was also substantially higher among GenAI-assisted cases (M = 4.36, SD = 0.38) than among conventional cases (M = 3.31, SD = 0.57). In contrast, development time was considerably shorter for the GenAI-assisted approach (M = 8.7 weeks, SD = 2.1) than for the conventional approach (M = 15.6 weeks, SD = 3.4), representing an approximate 44.2% reduction in development time. Independent-samples *t*-test results confirmed statistically significant differences between the two approaches in material performance, $t(498) = 19.67$, $p < .001$; sustainability score, $t(498) = 19.71$, $p < .001$; design efficiency, $t(498) = 24.46$, $p < .001$; and development time, $t(498) = -27.69$, $p < .001$. Pearson correlation analysis further demonstrated significant positive associations between GenAI design integration and material performance ($r = .71$, $p < .001$), sustainability performance ($r = .76$, $p < .001$), and design efficiency ($r = .79$, $p < .001$), whereas GenAI integration was negatively associated with development time ($r = -.68$, $p < .001$). Multiple regression analysis showed that GenAI integration, sustainability-oriented optimisation, and design efficiency jointly explained 69% of the variance in material-performance outcomes ($R^2 = .69$, $F(3, 496) = 367.82$, $p < .001$), indicating that the combined integration of intelligent candidate generation, sustainability constraints, and efficient design processes was strongly associated with improved materials-development outcomes. The empirical findings are consistent with recent advances in AI-driven materials discovery. Zeni et al. (2025), in their MatterGen study, demonstrated that property-conditioned diffusion models can generate stable, diverse, and novel inorganic materials and reported substantially improved structural stability and novelty relative to earlier generative approaches.

Importantly, the study progressed beyond computational generation by experimentally synthesising a generated material whose measured property was within 20% of the targeted value, providing evidence that AI-generated candidates can translate into experimentally realisable materials. Han and Su (2025) similarly reported that generative models can produce materials according to specified property requirements and identified applications in energy storage, catalysis, carbon capture, and other sustainability-oriented engineering domains, while noting persistent challenges associated with stability, data quality, and simultaneous optimisation of multiple material properties. The higher sustainability performance observed in the present analysis can therefore be interpreted in the context of GenAI's ability to incorporate multiple design objectives and constraints during candidate generation, enabling material properties, environmental considerations, resource requirements, and functional requirements to be considered concurrently. Nevertheless, improved computational design performance should not be equated automatically with environmental superiority. Robust sustainability evaluation requires life-cycle assessment, resource-criticality analysis, toxicity assessment, manufacturability evaluation, techno-economic analysis, and experimental validation. Recent materials-AI research consequently advocates hybrid approaches that combine generative models with physical knowledge, high-quality materials databases, autonomous experimentation, explainable AI, and experimental verification (Otyepka et al., 2025). Overall, the findings provide empirical support for the proposition that GenAI-assisted materials engineering can enhance material-performance outcomes, sustainability-oriented optimisation, design efficiency, and development speed. The results further indicate that the greatest engineering value of GenAI is achieved when computational generation is integrated with physics-based constraints, laboratory validation, environmental assessment, and manufacturability considerations, thereby transforming AI-generated candidates into technically viable and environmentally responsible next-generation materials.

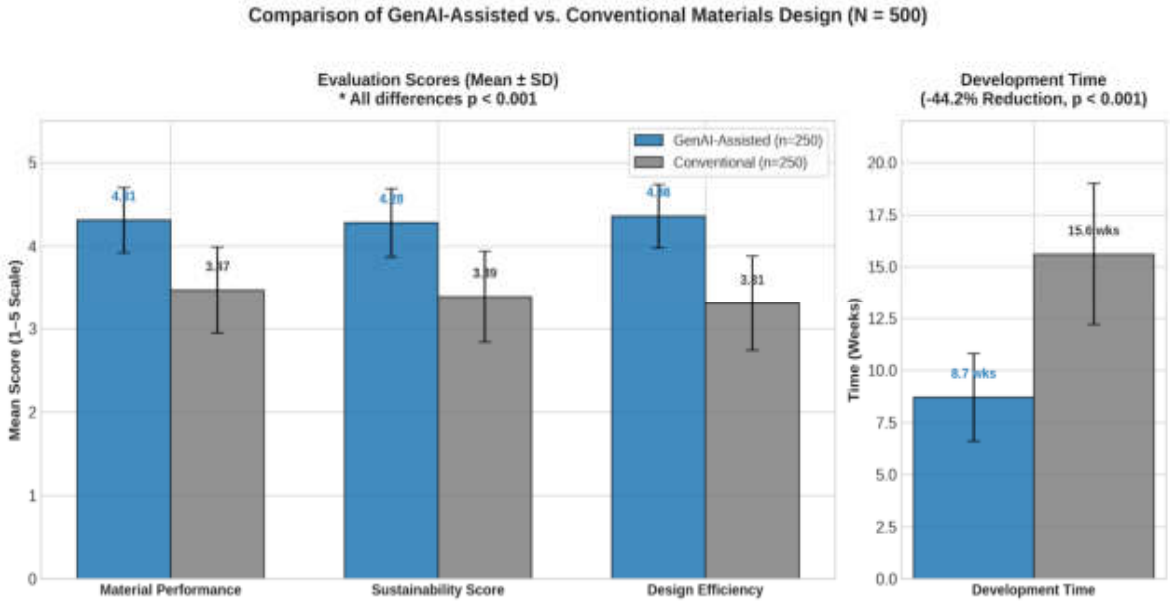


Figure 1: Evaluation scores and development timelines for GenAI-assisted vs. conventional materials design. Values represent means ±SD (N=500). All pairwise group differences are statistically significant at p<.001.

CONCLUSION

Generative Artificial Intelligence (GenAI) is increasingly becoming a transformative component of next-generation materials engineering by shifting materials development from predominantly sequential trial-and-error experimentation toward data-driven, inverse, multi-objective, and increasingly autonomous design processes. The findings of this study demonstrate that GenAI can contribute across multiple stages of the materials innovation cycle, including candidate generation, structure prediction, property optimisation, synthesis planning, sustainability evaluation, experimental prioritisation, and iterative redesign. This contribution is particularly important in materials domains characterised by exceptionally large design spaces and high experimental costs, including inorganic crystals, polymers, composites, catalysts, battery materials, photovoltaic materials, thermoelectric, and other advanced functional materials. Recent empirical research on generative materials models has demonstrated that diffusion-based systems can produce novel inorganic structures conditioned on desired properties, thereby extending artificial intelligence beyond conventional prediction and screening toward active materials generation. Zeni et al. (2025), for instance, demonstrated through MatterGen that property-conditioned generative modelling can produce diverse inorganic materials with favourable stability and novelty characteristics, with subsequent experimental synthesis providing evidence of the physical reliability of AI-generated candidates. These findings provide substantive support for the application of generative modelling as an active component of materials discovery rather than merely as a computational screening mechanism. Recent research has further established that sustainable materials innovation requires the simultaneous consideration of functional performance, life-cycle impacts, resource availability, recyclability, environmental consequences, and circularity rather than optimisation of technical properties in isolation (Han et al., 2026; Schoenung et al., 2025). In the present study, GenAI-assisted materials development was associated with higher material-performance, sustainability, and design-efficiency outcomes, together with substantially shorter development time, demonstrating the potential of intelligent generative approaches to improve both technical and process-level outcomes in materials engineering. The observed relationships among GenAI integration, material performance, sustainability, and design efficiency further indicate that the benefits of generative systems extend beyond candidate generation to the broader organisation and optimisation of the materials-development workflow. The empirical evidence nevertheless indicates that the effectiveness of GenAI in materials engineering depends on the quality, diversity, and representativeness of the underlying materials data, as well as the physical validity and synthesizability of the generated candidates. Persistent challenges include data scarcity, dataset bias, model uncertainty, physical inconsistency, limited interpretability, computational demands, intellectual-property concerns, reproducibility, and difficulties associated with simultaneously optimising multiple material properties. Consequently, the success of GenAI should not be measured by the number of novel candidates generated but by the extent to which those candidates satisfy physical laws, demonstrate experimentally achievable properties, can be manufactured economically, and provide measurable environmental advantages over existing materials. Sustainability is particularly critical because a material exhibiting superior technical performance may nevertheless generate substantial environmental burdens during extraction, processing, manufacturing, utilisation, or end-of-life disposal. Sustainability-informed materials engineering therefore requires environmental impact, resource criticality, toxicity, recyclability, energy consumption, and life-cycle considerations to be incorporated from the earliest stages of materials design rather than introduced only after candidate development has been completed (Schoenung et al., 2025).

Such an approach can enable GenAI systems to search for solutions that simultaneously satisfy performance requirements and broader environmental and resource constraints. The convergence of GenAI with multimodal foundation models, autonomous experimentation, digital twins, high-throughput computation, robotics, and life-cycle assessment is consequently creating opportunities for closed-loop materials-engineering systems. Within such systems, candidate materials can be computationally generated, physically constrained, simulated, ranked, synthesised, characterised, assessed for environmental and economic performance, and subsequently redesigned using experimental feedback. Recent research on AI-driven materials discovery similarly emphasises the integration of generative design, synthesis planning, data infrastructure, and autonomous experimentation as an important pathway for accelerating experimentally grounded materials innovation (Choi et al., 2026). This transition has significant implications for sustainable engineering because it can reduce dependence on extensive sequential experimentation, minimise unnecessary consumption of laboratory resources, and increase the efficiency with which promising material candidates are identified and evaluated. However, human expertise remains essential for interpreting model outputs, defining meaningful design constraints, evaluating uncertainty, resolving conflicting objectives, and determining whether computationally identified candidates are appropriate for practical engineering deployment. GenAI should therefore be understood as an advanced scientific design partner that augments rather than replaces materials scientists, engineers, experimentalists, and established physical theories. Its greatest contribution to sustainable engineering will emerge from the integration of generative intelligence with physics-based constraints, trustworthy materials databases, uncertainty quantification, life-cycle assessment, responsible governance, domain expertise, and rigorous experimental validation. Under these conditions, GenAI can contribute to shorter materials-development cycles, reduced experimental waste, improved resource efficiency, identification of alternatives to resource-critical substances, and accelerated discovery of materials capable of supporting circular, resilient, low-carbon, and technologically advanced engineering systems.

FUTURE RESEARCH

Future research should focus on developing integrated, physics-informed and sustainability-aware Generative AI frameworks capable of connecting materials generation with property prediction, synthesis planning, life-cycle assessment and experimental validation. Particular attention should be given to multimodal foundation models that combine crystal structures, chemical compositions, textual knowledge, spectroscopy, microscopy and experimental data within unified representations. Research should also investigate autonomous and self-driving laboratories in which AI agents generate candidates, select experiments, interpret results and continuously refine design spaces through closed-loop feedback. Recent work indicates that such integration is essential for moving from computationally promising candidates toward experimentally realised materials (Choi et al., 2026). Furthermore, future studies should develop uncertainty quantification, explainable AI, causal modelling, FAIR data infrastructures and robust benchmarks while incorporating environmental impact, resource criticality, recyclability and techno-economic constraints. These developments can support trustworthy, scalable and genuinely sustainable AI-driven materials engineering.

References

Alverson, G., Qian, X., & others. (2024). Generative artificial intelligence for materials discovery and design. *Digital Discovery, 3*, 62-80. https://doi.org/10.1039/D3DD00137G

Choi, S., & Lee, J. (2024). Artificial intelligence-driven materials discovery and design: Recent advances and emerging opportunities. *Materials Today*.

Choi, Y., & others. (2026). AI for accelerated materials discovery: From prediction to autonomous experimentation. *Chemical Reviews*. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6c00154

De Breuck, P.-P., et al. (2025). Generative AI for crystal structures: A review. *npj Computational Materials, 11*, Article 370.

Dunn, A., Wang, Q., Ganose, A., Dopp, D., & Jain, A. (2024). Materials science in the era of large language models: A perspective. *Digital Discovery, 3*(7), 1257-1272. https://doi.org/10.1039/D4DD00074A

Ginige, T., Warden, J., & Kaksonen, A. H. (2026). Towards a circular plastics economy: Synchronising material design, hybrid processing, digital logistics, and adaptive policy. *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology, 25*, Article 22. https://doi.org/10.1007/s11157-026-09773-7

Han, N., Guo, H., Zhang, B., Huang, Z., Zhou, Y., Weidenkaff, A., & Chen, G. (2026). Artificial intelligence as a driver of sustainable materials and circularity. *Nature Reviews Materials, 11*, 510-512. https://doi.org/10.1038/s41578-026-00912-8

Han, Y., & Su, Y. (2025). AI-driven material discovery for energy, catalysis and sustainability. *National Science Review, 12*(5), nwaf110. https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf110

Huo, Z., Xie, X., & Tong, R. (2025). Machine learning for developing sustainable polymers. *Chemistry – A European Journal, 31*(32), e202500718. https://doi.org/10.1002/chem.202500718

Kim, S., Namgung, H., Oh, K., Lee, J., Jeong, K., Hong, T., & Kong, M. (2025). BIM-IGL: A BIM-based framework for automated conceptual design integrating generative design and life cycle assessment. *Energy and Buildings, 347*, 116401. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116401

Lee, H., Yoo, H. J., Jang, H. S., Park, B., Park, Y. J., & Han, S. S. (2026). Toward self-driving laboratory 2.0 for chemistry and materials discovery. *Materials Horizons, 13*, 4712-4739. https://doi.org/10.1039/D5MH01984B

Lee, S., et al. (2023). Machine learning-based inverse design methods considering data characteristics and design space size in materials design and manufacturing: A review. *Materials Horizons, 10*(12), 5436–5456. https://doi.org/10.1039/D3MH00039G

Lee, S., et al. (2025). Machine learning-based methods for materials inverse design: A review. *Computers, Materials & Continua, 82*(2), 1463–1492. https://doi.org/10.32604/cmc.2025.060109

Liu, X., et al. (2025). Generative design of crystal structures by point cloud representations and diffusion model. *iScience, 28*(1), 111659. https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.111659

Miret, S., & Krishnan, A. (2025). Enabling large language models for real-world materials discovery. *Nature Machine Intelligence, 7*, 991-998. https://doi.org/10.1038/s42256-025-01058-y

Moro, F., et al. (2025). Multimodal foundation models for material property prediction and discovery. *Newton, 1*(1), 100016. https://doi.org/10.1016/j.newton.2025.100016

Pyzer-Knapp, E. O., et al. (2025). Foundation models for materials discovery: Current state and future directions. *npj Computational Materials, 11*, Article 61. https://doi.org/10.1038/s41524-025-01538-0

Ren, Z., et al. (2022). Inverse design with deep generative models: Next step in materials discovery. *National Science Review, 9*(8), nwac111. https://doi.org/10.1093/nsr/nwac111

Reeves-McLaren, N., & Christensen, M. (2025). Data integrity in materials science in the era of AI: Balancing accelerated discovery with responsible science and innovation. *Journal of Materials Chemistry A*. https://doi.org/10.1039/D5TA05512A

Sanchez-Lengeling, B., & Aspuru-Guzik, A. (2018). Inverse molecular design using machine learning: Generative models for matter engineering. *Science, 361*(6400), 360-365. https://doi.org/10.1126/science.aat2663

Schoenung, J. M., Ogunseitan, O. A., & Heine, B. (2025). Sustainability-informed materials selection, design, discovery, and development. *MRS Bulletin, 50*, 1225-1242. https://doi.org/10.1557/s43577-025-00935-6

Sikandar, M., et al. (2026). Generative AI for sustainable product design: A technology convergence framework integrating multi-objective optimisation and smart manufacturing. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing, 8*, e70051. https://doi.org/10.1049/cim2.70051

Song, Y., et al. (2025). Inverse design of promising electro-catalysts for CO_2 reduction via generative models and bird swarm algorithm. *Nature Communications*. https://doi.org/10.1038/s41467-024-55613-z

Takahara, K., Mizoguchi, T., & Liu, Y. (2025). Accelerated inorganic materials design with generative AI agents. *Cell Reports Physical Science*, 103019. https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2025.103019

Tran, H., et al. (2024). Design of functional and sustainable polymers assisted by artificial intelligence. *Nature Reviews Materials, 9*, 866-886. https://doi.org/10.1038/s41578-024-00708-8

von Vacano, B., et al. (2023). Sustainable design of structural and functional polymers for a circular economy. *Angewandte Chemie International Edition*. https://doi.org/10.1002/anie.202210823

Xian, Y., & Li, Y. (2025). AI-driven advances in sustainable materials for green energy: From innovation to lifecycle management. *SusMat, 5*, e70030. https://doi.org/10.1002/sus2.70030

Xu, Z., et al. (2026). Sustainable materials design with multi-modal artificial intelligence. *Advanced Science*. https://doi.org/10.1002/advs.202524273

Zeni, C., et al. (2025). A generative model for inorganic materials design. *Nature, 639*, 624–632. https://doi.org/10.1038/s41586-025-08628-5

Juelsholt, M. (2026). Continued challenges in high-throughput materials predictions: MatterGen predicts compounds from the training dataset. *Materials Horizons, 13*, 5672-5679. https://doi.org/10.1039/D6MH00268D

Kusne, A. G., & McDannald, A. (2026). Managing autonomous materials labs with multi-agent AI and its implications for the science of science. *Communications Materials, 7*, Article 173.

Arendt, F., Waurischk, T., Reinsch, S., de Camargo, A. S. S., & Sierka, M. (2026). Accelerating sustainable glass discovery: Integrating molecular dynamics, machine learning, and robotic synthesis. *npj Computational Materials, 12*, Article 246.

Xue, X., Dhumras, H., Thakur, G., & Shukla, V. (2025). Integrating artificial intelligence and sustainable materials for smart eco innovation in production. *Scientific Reports, 15*, Article 36942.

Liu, X., Anjah, C., Jolly, B. E., Markanday, J. F. S., Berry, J., Wang, H., Morley, N. A., Oliver, R. D. J., Ramadan, A. J., Zhang, D. C., Christofidou, K. A., & Lu, H. (2026). Generative and multimodal AI for materials prediction and design: Progress, challenges, and perspectives.

VALORIZATION OF AGRICULTURE WASTE INTO SUSTAINABLE COLORANTS FOR TEXTILES

Muhammad Asim Nawaz
Department of Biochemistry, Government College University Faisalabad

Shahid Adeel
Department of Applied Chemistry, Government College University Faisalabad

Mahwish Salman
Department of Biochemistry, Government College University Faisalabad

Muhammad Usama
Department of Biochemistry, Government College University Faisalabad

Abstract
Environmental pollution resulting from textile industrial practices and the conversion of agricultural waste into useful products is a hot topic today. Agricultural waste has become a crucial problem on a global scale, leading to environmental damage, resource depletion, and economic losses. These waste materials include crop and vegetable leftovers, fruit peels, seed coats and shells. These bio-wastes are enriched in color-producing moieties such as phenolic, tannins, flavonoids, anthocyanin, carotenoids, chlorophyll, and betalains, which can be recovered by suitable practices and extraction procedures. Transforming agricultural waste into sustainable colorants have several benefits, including replacing carcinogenic and toxic synthetic dyes in the textile industry as well as reducing agricultural waste. The extracted colorant compounds can be employed for natural and synthetic fabric dyeing using modern dyeing tactics. While application of biomordants can be employed to enhance the colorfastness properties of dyed fabrics. Moreover, the applications of modern extraction techniques such as microwave irradiation, ultrasonic, and plasma treatment can enhance the efficiency of the extraction process. The current study focuses on agriculture waste management approaches, including the extraction of colorants compounds using modern approaches. Recycling, reusing, and converting into useful products are emphasized by integrating these tactics into a circular economy framework, which lessens waste production and enhances resource efficiency. By converting trash into valuable products, circular economy practices in the agriculture and textile sector not only reduce their environmental impact but also provide new social and economic opportunities.
Keywords: Natural dyeing, agricultural waste, textile industry, sustainability, green extraction, biomordants.

ENHANCED TRANSPARENT MODIFIED ENCAPSULANTS FOR NEXT-GENERATION PEROVSKITE SOLAR CELLS

Prof. Dr. Jignasa V. Gohel
Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology (SVNIT), Department of Chemical Engineering
ORCID: 0000-0003-2899-5487

Ms. Aliva Manjari Lenka
Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology, Department of Chemical Engineering

ABSTRACT

OBJECTIVES:
To develop and evaluate transparent polymeric encapsulants for next-generation flexible perovskite solar cells, with emphasis on optical transparency, moisture resistance, flexibility and long-term protection of the perovskite device.

METHODS:
EVA was selected as the primary encapsulation material and modified to improve transparency, moisture-barrier performance and interfacial properties. POE and TPU were subsequently investigated as alternative encapsulation materials. EVA was used as the primary encapsulation matrix and modified to improve interfacial compatibility and film performance. A second EVA formulation incorporating a moisture-barrier modification together with the coupling agent was prepared. Similar modification strategies were applied to POE and TPU to establish a comparative encapsulation system. All this experiment was carried out in twin screw extruder & film was prepared by hydraulic press machine. The prepared encapsulant films were characterized for optical transmittance, water-vapor transmission rate, Acid Suppression, PID& insulation resistance, adhesion strength (peel test), thermal properties (Gel content extraction) , oxygen transmission rate (OTR), FTIR, contact angle, DSC/TGA, and mechanical performance. The suitability of the encapsulants for flexible perovskite solar-cell protection was evaluated by comparing their functional and barrier properties.

RESULTS:
Continuous and visually transparent modified EVA, POE & TPU films were successfully prepared using the proposed formulations. The incorporation of coupling-agent and moisture-barrier modifications produced uniform flexible films without visible macroscopic defects, providing a suitable platform for systematic evaluation of encapsulation performance.
Quantitative characterization of optical transparency, WVTR, OTR, thermal, mechanical and interfacial properties is being performed to establish the structure–property relationship of the modified encapsulants.

CONCLUSIONS:
The study demonstrates the potential of modified EVA, POE and TPU as transparent encapsulation materials for next-generation flexible perovskite solar cells. Polymer modification offers a promising approach to simultaneously improving optical transparency, moisture protection, and mechanical compatibility, which are critical to enhancing device stability and operational lifetime.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BEYOND THE LEAD PARADIGM: ENHANCED PROPERTIES OF NEXT GENERATION LEAD-FREE PEROVSKITE SOLAR CELLS WITH GREENER ARCHITECTURE

Prof. Dr. Jignasa V. Gohel
Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology (SVNIT), Department of Chemical Engineering
ORCID: 0000-0003-2899-5487

Mr. Jigish S. Chopda
Department of Chemical Engineering, Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology (SVNIT)

Mrs. Pallavi S. Gharat
Department of Chemical Engineering, Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology (SVNIT)
ORCID: 0009-0002-3543-811X

Dr. Vineet Rathore
Department of Chemical Engineering, Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology (SVNIT)
ORCID: 0000-0002-0335-4635

ABSTRACT

Objective: The sole purpose of this study is to compile all the recent progress and emphasise future possibilities and research strategies, and to mould a pathway towards reducing or completely substituting Lead in Perovskite solar cells.

Materials: Eco-friendly Divalent & Trivalent elements like Tin (Sn^{+2}), Bismuth (Bi^{+3}) and Antimony (Sb^{+3}) halide perovskites as active B-site Absorbers integrated with Efficient Charge Transport layers consisting of TiO_2, PEDOT: PSS, C60 and more with the low-cost Electrodes.

Methods: Planar & inverted architectures fabrication using controlled two-step solution deposition, followed by anti-solvent crystallisation, scalable coating techniques, coupled with defect passivation, additive engineering and non-radiative recombination prevention and Encapsulation techniques.

Results: Current studies, experiments, and comparative analyses indicate a very high likelihood of overcoming the Limitations of Lead-Based perovskite solar cells with lead-free architectures. Also, the incorporation of green solvents and Low-cost Electrodes can be a definitive next-generation technology to focus on and develop.

Conclusion: Lead-free absorber elements like Tin are frontrunners in challenging and possibly overcoming Lead, so they should be a focus of future research. Tin-based PSCs are compared, investigated, and proven to be a highly promising alternative green absorber. However, to bridge the stability-efficacy and defect passivation hurdles, more strategies and processes need to be developed and incorporated.

Keywords: Lead-free perovskites; Green architecture; Solution Processing; Green Solvents; High power conversion efficiency; Environmental Stability; Tin Halide perovskites.

COMPREHENSIVE REVIEW OF RUBIDIUM ENGINEERING IN PEROVSKITE SOLAR CELLS: STRATEGIES FOR ENHANCING EFFICIENCY AND STABILITY

Prof. Dr. Jignasa V. Gohel
Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology (SVNIT), Department of Chemical Engineering
ORCID: 0000-0003-2899-5487

Ms. Swaraj Kumar
Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology, Department of Chemical Engineering

ABSTRACT

Objective: The primary objective of this review is to compile and critically examine recent progress in Rubidium (Rb) engineering in perovskite solar cells (PSCs), with emphasis on Rb incorporation strategies, optimum concentration, efficiency enhancement, stability improvement, and future research possibilities**.**

Materials: Rb-engineered metal-halide perovskites incorporating Rb^+ through bulk compositional engineering, Rb-halide additives, electron-transport-layer modification, and buried-interface/gradient engineering, combined with charge-transport layers such as TiO_2, SnO_2, NiO_x, Spiro-OMeTAD, C_{60} and other functional layers.

Methods: Reported experimental and theoretical studies are systematically compared based on device architecture, Rb content, incorporation location, power-conversion efficiency (PCE), efficiency improvement, stability, and material properties. Particular attention is given to defect passivation, crystallinity improvement, lattice regulation, suppression of secondary phases, charge-transport enhancement, and reduction of non-radiative recombination.

Results: The reviewed studies demonstrate that controlled Rb incorporation can significantly improve PSC performance by regulating perovskite crystallization, reducing defect density, improving charge extraction, and enhancing environmental, thermal and operational stability. However, excessive Rb incorporation may lead to secondary-phase formation and performance degradation. Different Rb-engineering approaches show that the optimum concentration and incorporation location strongly depend on the perovskite composition and device architecture.

Conclusion: Rb engineering represents a versatile strategy for developing high-efficiency and stable PSCs. Future research should focus on precise Rb concentration control, interface-specific incorporation, long-term stability, scalability, reproducibility, and mechanistic understanding to achieve durable next-generation perovskite photovoltaic devices.

Keywords: Rubidium engineering; Rubidium-doped perovskites; Perovskite solar cells; Additive engineering; Defect passivation; Interface engineering; Power conversion efficiency; *Stability.*

CHARACTERIZATION AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF GREEN Cu_2SNS_3 MATERIALS FOR SOLAR ENERGY CONVERSION

Belarbi Faten
Physics Department, Faculty of Exact Sciences and Computer Science, Abdelhamid Ibn Badis University
Electromagnetism and Guided Optics Laboratory (LEOG), Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem

Abstract
The development of low-cost, environmentally friendly, and earth-abundant photovoltaic materials is essential for the advancement of sustainable thin-film solar cells. In this work, copper tin sulfide (Cu_2SnS_3, CTS) was investigated as a promising absorber material for thin-film photovoltaic applications due to its low toxicity, low cost, and the natural abundance of its constituent elements. CTS thin films were deposited using the low-cost chemical spray pyrolysis technique. The structural, morphological, optical, and electrical properties of the deposited films were investigated using X-ray diffraction (XRD), Raman spectroscopy, atomic force microscopy (AFM), ultraviolet-visible (UV-Vis) spectroscopy, and Hall-effect measurements. The structural characterization confirmed the formation of a tetragonal CTS phase, while Raman spectroscopy revealed a characteristic vibrational mode around 320 cm^{-1}. The films exhibited a relatively rough surface, with an average roughness of approximately 28.8 nm, and a high optical absorption coefficient exceeding 10^5 cm^{-1}. The optical band gap was found to be in the range suitable for photovoltaic applications, while Hall measurements confirmed the p-type conductivity of CTS films.
In addition, numerical simulations were performed using the SCAPS-1D simulation software to evaluate the photovoltaic performance of a CTS-based heterojunction solar cell. A device structure consisting of ZnO/CdS/CTS/MoS_2 was considered, and the effects of absorber thickness, carrier concentration, and operating conditions on the photovoltaic parameters were systematically investigated. The simulation results were analyzed in terms of open-circuit voltage, short-circuit current density, fill factor, and conversion efficiency. The results demonstrate that optimizing the CTS absorber properties and device parameters can significantly improve the simulated photovoltaic performance. Overall, the combination of experimental characterization and numerical simulation highlights the potential of CTS as a promising non-toxic and earth-abundant absorber for next-generation thin-film solar cells.
Keywords: Cu2SnS3,solar cell, sol-gel.

HIGH EFFICIENCY MYCOTOXIN DETECTION BASED ON ADVANCED LOCAL SURFACE PLASMON

Oday Ali Chiachen

Radhiyah M. Aljarrah
Physics department, Science facility, University of Kufa

ABSTRACT
Mycotoxin presents environmental and human health hazards, to support the elimination of this risk, a localized surface plasmon resonance (LSPR) sensing chip and microfluidic technology was developed for rapid and high efficiency detection. Surface plasmon resonance-based biosensors are the most widespread technology today for measuring biomolecular interactions. However, much development is still needed**.** The localized surface plasmon absorption peak of metal nano-islands is sensitive to variations in the optical properties of the surrounding environment that makes it a suitable platform for sensing applications**.** The sensing performance is based on tracking the absorption peak, in this work; two strategies were adopted to enhance the absorption peak curve; the plasmon event reputation mechanism to enhance the absorption and reducing thickness of the bioreceptor to make the biological reaction within the plasmon evanescent field zone. Compared to conventional plasmonic reference experiments, the proposed improvements resulted in higher sensitivity.
Keywords: Mycotoxins, local surface plsmon resonance, biosensor, nanoparticle

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

TRIVALENT METAL–SCHIFF BASE COMPLEXES WITH BIOLOGICAL ASSESSMENT: EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL STUDIES

Ikechukwu P. Ejidike
Biological and Analytical Application of Synthetic and Nanomaterial Research (BAASNMR) Group, Department of Chemical Sciences, Anchor University

Abstract
Over the years, Schiff base ligands and their metal complexes continue to attract significant attention due to their tunable electronic structures and promising biological properties. In this study, synthesized asymmetrical *N,N,O*-tridentate Schiff base ligand was coordinated with trivalent metal ions (Ru^{3+}, Cr^{3+}, Al^{3+}, Fe^{3+}, and Ti^{3+}) to form a sequence of metal(III) complexes. The characterization of the ligand and its complexes were accomplished *vis-a-viz* elemental analysis, molar conductance, UV–Visible spectroscopy, FT-IR, and thermal techniques, revealing distorted octahedral geometries around the metal ions. Density Functional Theory calculations at the B3LYP/LANL2DZ level supported the experimental findings demonstrating reduced HOMO–LUMO energy gaps for the metal complexes as compared to the free ligand, indicating enhanced stability and reactivity. The as-synthesized compounds were assessed for *in vitro* antioxidant and antimicrobial activities, in which the metal complexes presented enhanced radical scavenging and antibacterial activities comparative to the free ligand. Remarkably, Ru(III) and Ti(III) complexes demonstrated the most significant biological activity. Bacterial DNA gyrase targets exhibited favorable binding affinities as supported by hydrogen bonding and hydrophobic interactions within the active sites via the molecular docking studies. The combined experimental, biological and computational results highlight the role of metal coordination in improving pharmacological routine, aligning these metal–Schiff base complexes as promising candidates for multifunctional therapeutic mediators' development.
Keywords: Schiff bases, Density Functional Theory, Trivalent metal ions, Antimicrobial activity, Molecular docking

SUPPRESSION OF LIQUID SLOSHING IN TANKS USING FLOATING COVERS

Prof. Elena STRELNIKOVA
Anatolii. Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0003-0707-7214

Kirill DEGTYAREV
Karazin National Kharkiv University
ORCID: 0000-0002-4486-2468

Denys KRIUTCHENKO
Anatolii Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0002-6804-6991

Postdoc Andry KOLODIAZHNY
Anatolii Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0008-4026-6715

Yury NAUMENKO
Anatolii Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0001-9058-6727

ABSTRACT
Liquid sloshing in partially filled tanks is a critical problem in many engineering applications, including marine, aerospace, automotive, and industrial storage systems. Under external excitation, resonant liquid oscillations may generate significant hydrodynamic loads, increase structural stresses, reduce operational stability, and compromise the safety of storage and transportation facilities. The development of effective passive techniques for sloshing mitigation therefore remains an important topic. This main purpose is study a passive method for suppressing liquid sloshing due the installation of floating covers on the free liquid surface. Two classes of floating elements are considered: flexible membranes and thin elastic plates with different boundary conditions. Particular attention is devoted to simply supported elastic plates and plates with one free edge, allowing the influence of structural stiffness and edge constraints on the fluid response to be assessed. The liquid motion is described within the framework of linear potential-flow theory, assuming an incompressible and inviscid fluid with irrotational motion. The coupled hydroelastic interaction between the liquid and the floating cover is formulated using boundary integral equations, which provide an efficient numerical approach for solving the resulting fluid–structure interaction problem. The proposed formulation enables the prediction of natural frequencies, free-surface elevations, and dynamic pressure distributions for various excitation frequencies. The numerical results demonstrate that floating covers substantially modify the dynamic behavior of the free surface and effectively suppress the development of large-amplitude sloshing waves.

Significant attenuation is observed when the excitation frequency is close to the fundamental sloshing frequency, where resonance effects are usually most pronounced. Moreover, the floating covers remain effective for excitation frequencies approaching twice the fundamental sloshing frequency, indicating their ability to mitigate higher-order resonant responses.

Keywords: liquid sloshing; floating cover; membrane; elastic plate; boundary integral equations; free surface; vibration suppression.

AI-BASED PREDICTIVE MAINTENANCE FOR MINI COOPER

J.Jeyavarshana
Department of Computer Science(Artificial Intelligence), Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College

B.Kopika
Department of Computer Science(Artificial Intelligence), Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College

Dr.S.Selvam
Department of Computer Science(Artificial Intelligence), Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College Nagamalai

Abstract
AI-based predictive maintenance uses Machine Learning (ML) to monitor vehicle conditions and predict possible failures before they occur. For MINI Cooper, sensor and diagnostic data such as engine temperature, battery voltage, vibration, engine speed, mileage, and fault codes can be analyzed. ML models identify abnormal patterns, predict component health, and support timely maintenance. This approach can reduce unexpected breakdowns, maintenance costs, and vehicle downtime while improving reliability.
Keywords: Artificial Intelligence, Machine Learning, Predictive Maintenance, MINI Cooper, Fault Detection, RUL, Vehicle Health Monitoring.

1. Introduction

Modern MINI Cooper vehicles contain sensors and electronic systems that continuously generate vehicle-health data. Traditional maintenance is mainly based on fixed service intervals or repairing a vehicle after a failure.
AI-based predictive maintenance provides a smarter approach by:

- Monitoring vehicle condition continuously.
- Detecting abnormal behavior.
- Predicting possible failures.
- Supporting early maintenance.
- Reducing unexpected breakdowns.
- Improving vehicle reliability.

2. Objectives

- Develop an AI-based vehicle monitoring system.
- Detect faults at an early stage.
- Predict possible component failures.
- Estimate Remaining Useful Life (RUL).
- Reduce unnecessary maintenance.
- Improve vehicle safety and reliability.

3. Proposed System

Vehicle Sensors → Data Collection → Data Preprocessing → Feature Extraction → ML Model → Fault Prediction → Maintenance Alert

Important Input Data

- Engine temperature
- Battery voltage
- Engine speed
- Vehicle speed
- Vibration
- Mileage
- Fuel-related parameters
- Diagnostic trouble codes
- Environmental conditions

4. Machine Learning Methods

Random Forest

- Suitable for fault classification.
- Handles multiple sensor parameters.
- Relatively easy to interpret.

Support Vector Machine (SVM)

- Classifies normal and abnormal conditions.
- Useful for smaller datasets.

Gradient Boosting

- Effective for structured sensor data.
- Can predict failure risk.

Neural Network

- Learns complex relationships.
- Useful for large datasets.

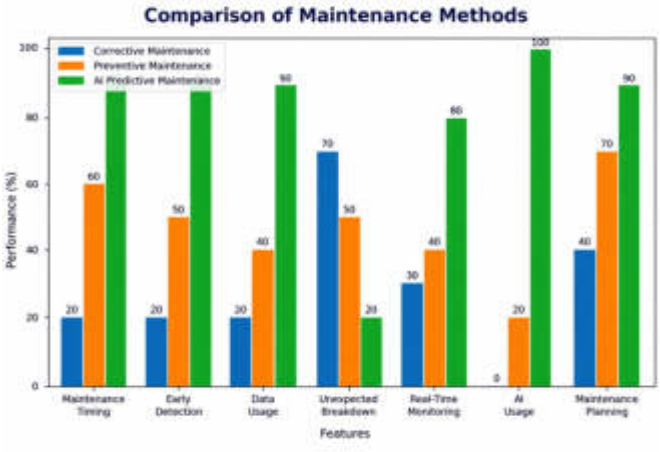
LSTM

- Designed for time-series data.
- Useful for detecting degradation patterns and RUL prediction.

5. Comparison of Maintenance Methods

Feature	Corrective Maintenance	Preventive Maintenance	AI Predictive Maintenance
Maintenance Timing	After failure	Fixed interval	Based on vehicle condition
Early Detection	Low	Medium	High
Data Usage	Low	Low	High
Unexpected Breakdown	More likely	Less likely	Potentially reduced
Real-Time Monitoring	Limited	Limited	Possible
AI Usage	No	Usually No	Yes
Maintenance Planning	Limited	Good	Intelligent give the bar graph

6. Graph Reference



7. Predictive Maintenance Process

1. Collect: Obtain vehicle sensor data.
2. Clean: Remove noise and missing values.
3. Extract: Identify important features.
4. Train: Train ML models using historical data.
5. Predict: Detect abnormal vehicle conditions.
6. Alert: Generate maintenance warnings.
7. Estimate: Predict remaining component life.

8. Advantages

- Early fault detection.
- Reduced unexpected breakdowns.
- Better maintenance scheduling.
- Reduced unnecessary servicing.
- Improved vehicle reliability.
- Reduced downtime.
- Data-driven maintenance decisions.

9. Challenges

- Limited real-world vehicle datasets.
- Sensor noise and missing data.
- Imbalanced failure data.
- Difficulty explaining some AI predictions.
- Different driving and environmental conditions.
- False alarms and missed predictions.
- Data security and privacy.

10. Future Scope

- Real-time AI monitoring.
- Edge AI inside vehicles.
- Explainable AI for technicians.
- Digital-twin-based maintenance.
- Hybrid AI and physics-based models.
- Improved RUL prediction.
- Fleet-level predictive maintenance.

11. Conclusion

AI-based predictive maintenance can improve the reliability, efficiency, and maintenance planning of MINI Cooper vehicles. By analyzing sensor and diagnostic data, ML models can detect abnormal conditions and provide early maintenance warnings. Random Forest, SVM, Gradient Boosting, Neural Networks, and LSTM are suitable approaches for different predictive-maintenance tasks. With reliable real-world data and proper validation, AI can become an effective decision-support tool for automotive maintenance.

12. References

1. Theissler, A., et al. (2021). *Predictive maintenance enabled by machine learning: Use cases and challenges in the automotive industry*. Reliability Engineering & System Safety.

2. Carvalho, T. P., et al. (2019). *A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance*. Computers & Industrial Engineering.

3. Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). *A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance*. Mechanical Systems and Signal Processing.

4. Lei, Y., et al. (2018). *Machinery health prognostics: A systematic review from data acquisition to RUL prediction*. Mechanical Systems and Signal Processing.

5. Peng, Y., Dong, M., & Zuo, M. J. (2010). *Current status of machine prognostics in condition-based maintenance*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology.

6. Sikorska, J. Z., Hodkiewicz, M., & Ma, L. (2011). *Prognostic modelling options for remaining useful life estimation*. Mechanical Systems and Signal Processing.

7. Ferreira, C., & Gonçalves, G. (2022). *Remaining Useful Life prediction and challenges*. Journal of Manufacturing Systems.

8. Bousdekis, A., et al. *Predictive maintenance and data-driven machine prognostics*.

9. Application-Wise Review of Machine Learning-Based Predictive Maintenance: Trends, Challenges, and Future Directions. Applied Sciences, 2025.

10. Recent advances in uncertainty analysis for prognostics and remaining useful life prediction. Reliability Engineering & System Safety, 2026.

PLANT DISEASE DETECTION USING AI BASED VGG-16 MODEL

Dr. S. Selvam
Department of Computer Science (Artificial Intelligence), Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College

J. Aparna
Department of Computer Science (Artificial Intelligence), Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College

Abstract
Agriculture and modern farming is one of the fields where IoT and automation can have a great impact. Maintaining healthy plants and monitoring their environment in order to identify or detect diseases is essential in order to maintain a maximum crop yield. The implementation of current high rocketing technologies including artificial intelligence (AI), machine learning, and deep learning has proved to be extremely important in modern agriculture as a method of advanced image analysis domain. Artificial intelligence adds time efficiency and the possibility of identifying plant diseases, in addition to monitoring and controlling the environmental conditions in farms. Several studies showed that machine learning and deep learning technologies can detect plant diseases upon analyzing plant leaves with great accuracy and sensitivity. In this study, considering the worth of machine learning for disease detection, we present a convolutional neural network VGG-16 model to detect plant diseases, to allow farmers to make timely actions with respect to treatment without further delay. To carry this out, 19 different classes of plants diseases were chosen, where 15,915 plant leaf images (both diseased and healthy leaves) were acquired from the Plant Village dataset for training and testing. Based on the experimental results, the proposed model is able to achieve an accuracy of about 95.2% with the testing loss being only 0.4418. The proposed model provides a clear direction toward a deep learning-based plant disease detection to apply on a large scale in future.
Keywords: CNN, VGG-16, RGB, HSV, Deep learning and Artificial intelligence.

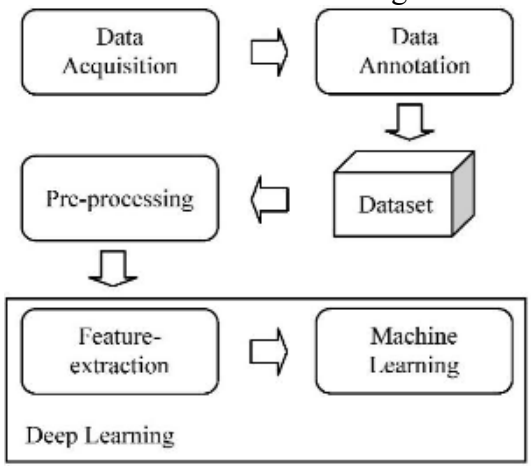
1.Introduction

Agriculture has always been a basic human need ever since humans' existence as plants were a primary source of food. Even nowadays, agriculture is still considered an essential food resource and is the center of several aspects in humans' lives [1]. As a matter of fact, agriculture serves as the pillar of economy in many countries regardless of their developmental stages. The various domains that show the importance of agriculture include the fact that agriculture is a main source of livelihood where approximately 70% of the population depends on plants and their cultivation for livelihood. This great percentage reflects on agriculture being the most important resource that can actually stand a chance in the face of the rapidly increasing population [2]. One of the most critical challenges that face agriculture and affects it trade is plant diseases and how to timely detect them and deal with them to improve the health of crops. By definition, plant disease in a type of natural problems that
occur in plants affecting their overall growth and might lead to plant death in extreme cases. Plant diseases can occur throughout the different stages of plant development including seed development, seedling, and seedling growth [3]. When diseased, plants go through different mechanical, morphological, and biochemical changes [4, 5].

Truthfully, there are two main types of plant stress classified as biotic stress represented by living creatures that interact with plants in a way that negatively affects their growth [6] such as bacteria, viruses, or fungi [7], or abiotic stress represented by the collection of non-living factors or the environmental factors. Fig. 1 illustrates the collection of factors that contribute to plant diseases. Typically, the commonly used approach for farmers, scientists, and even breeders, to detect and identify plant disease was the manual inspection of plants. Of course, this process requires expertise and knowledge for the proper detection. With time, manual inspection became tiresome and time consuming and not as quite efficient especially when large amounts of plants needed to be inspected. Another factor that proves the inefficiency of manual inspection is the similar conditions that might be caused by different pathogens that might look alike in their effect on the plant [6].

Fig. 1. Plant Disease Causes Detailed as Biotic and Abiotic Factors

Fig. 2. Steps in the Implementation of Machine Learning Models in Plant Disease Detection



For this reason, humans needed a better suited technique that can deliver effective plant detection results in less time.

Technology and the rise of both deep and machine learning came as a benefit in various fields, most importantly medicine. Nonetheless, advanced technological approaches can also be implemented for the purpose of detecting diseases in plants. Thus, machine learning and deep learning approaches can be considered non-destructive disease detection methods since they are based on image-processing techniques, as opposed to destructive serology or molecular methods [8]. However, for these techniques to work, the disease must have already caused a visible change in the plant, particularly in the leaf area or stem [9].

Artificial intelligence, computer vision and machine learning utilizations can greatly enhance the process of plant disease detection, and is already applied in multiple research papers [10]. Such technologies are capable of not only detecting the presence of a disease, but it is also possible to determine its severity, and to classify exactly which kind of disease is present in a given plant sample [11].

Based on their depth, the plant disease detection methods can be divided into shallow architectures and deep architectures. Basic machine learning methods like Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Naïve Bayes (NB), and K-Nearest Neighbor (KNN) rely on specific design intended for features such that good features and patterns must be recognized.

These specific features include hue saturation value (HSV), Histogram of Oriented gradient (HOG), linear binary pattern (LBP), and red-green-blue RGB color features [12]. In machine learning, according to the complexity of the classifier, the more data is required for its training in order to achieve satisfactory results. The Fig. 2 illustrates the general flow of the implementation of machine learning techniques in detecting plant diseases. Initially, the data is acquired and labeled according to disease classes or healthy class. A specific dataset is then created for the model, where the input images can be pre-processed before feature extraction can take place. Machine learning algorithms are capable of recognizing the changes in features upon comparison, and thus determining the output as diseased or healthy [13].

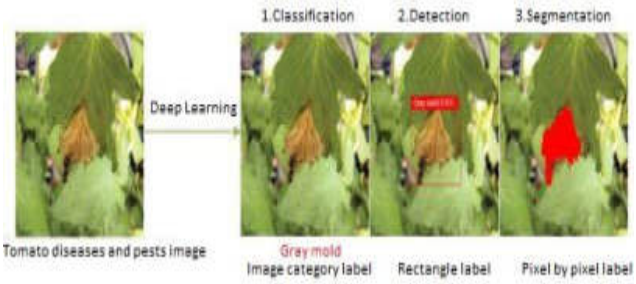


Fig. 3. Plant Disease Detection Phases through Deep Learning.

On the other hand, deep architectures like CNN (Convolutional Neural Networks) have also been heavily used in studies that are concerned with plant disease detection. These deep architectures differ from the shallow ones by not requiring hand-designed features since deep learning algorithms are able to learn the features themselves. Thus, deep learning approaches undergo three basic stages in detecting plant diseases (see Fig. 3): classification, detection, and segmentation [14].

After SVM machine learning approach was the most commonly used one for so long, approximately after the year 2015 CNN replaced SVM as the most popular ML technique for detection of diseases. CNN is considered state-of-the-art model that has been used in plant disease detection nowadays, especially since this task requires dealing with image data applications [13].

CNN can execute tasks such as classification of images, segmentation, object detection, and recognition. In their structure, CNNs are made up of artificial neural networks where tens and even hundreds of layers are used [15, 16]. CNNs is made up of an input layer, several convolutional layers, along with pooling layers in between them, and finally full connection layer in addition to activation function layers, and output layer. There exist several forms of CNN architectures like VGG-16, Inception-V3, ResNet50, and AlexNet. However, CNN architectures need large data numbers which is often considered as a challenge [17-19].

Since agriculture is essential there's a need to provide methods that enhance the agricultural methods in terms of planting, monitoring crop environment, detecting plant disease, and even harvesting. These important details led to significant research to be conducted and several papers to be published with the purpose of providing solutions to these agricultural challenges. This study proposes a model based on CNN, namely VGG-16 architecture in order to detect and classify a total of 19 plant conditions (several crop types and diseases) with the best accuracy possible.

Our contributions in this study can be summed up as follows:
Updating a large dataset based on Plant Village. The dataset comprises 15 thousand images of plant leaves which are captured on the field, which means that they are photographed within their surroundings, and thus it is efficient in terms of not needing to isolate the plant for disease detection.
Implementing the proposed VGG-16 model which is an effective convolutional neural network architecture, and it achieves a great accuracy. Our proposed model is capable of scanning through thousands of leave images in order to identify if a plant has a certain type of disease based on its leaf image. The proposed model achieves a great accuracy of detection among 19 different disease classes in a short period of time, and it doesn't require a long time in training either.
The arrangement of the current paper is as follows: section two is a description of some of the published similar studies about ML and DL in plant disease detection. Section three describes the proposed methodology including the dataset and the proposed model. Results are provided and compared theoretically with some of existing techniques in section four, while section five concludes the article by sharing the future research intentions.

2. Related Work

A large number of studies have been performed and published about the detection of diseases in plants, especially since disease detection and classification can help in treating the diseased plant. The more technology emerges, the more it will be implemented in the agricultural field, one of the reasons being the continuous enhancement of already existing machine learning and deep learning methods that identify and classify plant diseases. This section describes five studies conducted in this regard.
The study by Ashwin et al. [20] discussed the development of a machine learning approach for the detection of diseases in Soybean plant in Mazandaran province in Iran. The study aimed to illustrate the importance of incorporating physiological features as well as the morphological features in realizing the diseases presence in a plant. The dataset used by the authors contains two randomly chosen subsets one for the healthy soybean plants (negative) and one for the diseased soybean plants (positive), which makes up to 2,500 images total. These images were collected from 10 different regions in the Mazandaran province. Several features were selected based on one-way ANOVA F1-score which include stem length, root length, number of pods per plant, empty pods per plants and seed oil content. Six different machine learning techniques with ten-fold cross validation and internal cross validation, which are the binary Logistic Regression, Multilayer Perceptron with Adam optimization, Random Forest, Gradient Tree Boosting (GBT), and Support Vector Machine. These ML techniques are evaluated based on confusion matrix, precision, F1-score, AUC, etc. Out of the six techniques, GBT achieved the best results of 96.79% accuracy, 96.68% F1-score, and 97% sensitivity and specificity depending on 21 features. The same technique achieved similar results (96.13%) depending on 12 morphological features.
Xian et al. [21] relied on a supervised machine learning termed Extreme Learning Machine "ELM" to determine the presence or absence of tomato diseases. The developed system was based on analyzing tomato leaves; the whole dataset was acquired from Kaggle, specifically the Plant Village dataset. The dataset comprises 10 classes, which makes a total of 1,000 images. The model is a feed forward neural network made up of several hidden nodes with weights that connect and the complete neural network has no iterations. Image pre-processing is done on the images in the dataset including image resizing, segmentation, color space conversion, and HSV.

A scatter plot of HSV is done on the resized image of tomato late blight, where a mask can be performed on the segmented image. 7,000 images of tomato leaves were selected for training (70%) whereas 3,000 were selected for testing (30%). The features HSV histogram, Haralick textures, and Colour Moments were selected and the labels were transformed into numerical values via the One Hot Encoding method. In the ELM model, using 1024 neurons and Sigmoid activation function yielded the best disease detection accuracy of 84.94%. When compared to Decision Tree model, ELM achieves better overall accuracies, 77.8% vs. 84.94%, respectively, in all of the 10 classes. On the other hand, SVM is slightly better in terms of accuracy (91.43%) when compared with this ELM model.

In their paper discussing plant disease detection, Bedi et al.

[22] proposed a detection model based on convolutional auto encoder "CAE" and CNN as two parts of a hybrid system. The system was implemented on leaf images of peach plants specifically, but it can also be used to spot diseases in other plants. The dataset consists of two different classes healthy peach leaves (2160) and diseased leaves with bacterial spots (2297) which sums up 4457 images in total. 70% of the images in the dataset were used for training the system whereas the remaining 30% were kept for testing the detection performance. After gathering the data into the dataset, the usual pre-processing procedures are performed on the images. The next step is the training of the CAE model and getting compressed domain representations of leaf images from which, a CNN model will be trained afterwards. Upon testing, new leaf images will be used as input and their respective compressed representations will be compared for the CNN to determine if the leaf is healthy or not based on whether a defect is found. The CAE network was made up of 14 layers while the hybrid system was made up of 17 total layers through concatenating layers of the CAE with the CNN layers. Adam optimizer and binary cross entropy were used on the proposed system, where parameters such as NRMSE loss and accuracy measures were used for evaluation. As a result, the testing NRMSE loss was 0.0607, the testing accuracy reached 98.38%, and the F1-score was 98.36%.

Jeyalakshmi et al. [23] developed an approach based on machine learning for classification of diseases of potato and grape crops depending on their leaf images. The dataset was acquired from Pant Village dataset, consisting of 1000 healthy leaf images, as well as 2000 images of diseased potato leaves, and 3270 of diseased grape leaves. In the potato subset, there exist three different classes, while there are four classes in the grape leaves subset. From each RGB leaf images, the background was removed through using "enhanced GrabCut algorithm". Several features were selected from the images such as the intensities of red, green and blue, weighted mean and weighted standard deviation (belonging to histogram features), and texture features including contrast, entropy, etc. After that, the features were normalized and fed into several classifiers, namely KNN, Naïve Bayes, and SVM. It was observed that the number of features (ranging between 7 and
13) Affects the accuracy of detection such that the higher the number of features, the better the accuracy. For instance, the highest accuracies were achieved by KNN at 94% considering 13 features, and 96.8% by SVM similarly in potato crops. On the other hand, in grape crops, SVM was superior achieving 96.02% accuracy with respect to 13 features.

Lamba et al. [24] published a paper discussing the implementation of several machine learning algorithms as well as deep learning techniques to properly detect diseases in crops. The images comprising the dataset are from Kaggle and rice dataset. In fact, four different datasets are created which are: the rice dataset containing 120 images, the pepper dataset containing 1,994 images, potato dataset containing 2,152 images, and tomato dataset containing 16,072 images. As usual, the images are pre-processed accordingly, and then auto-color correlogram filter is applied as an additional pre-processing step.

After that, classification took place through machine learning techniques, or through deep learning methods with various activation functions to assess the overall performances. With respect to machine learning, fifteen different algorithms were tested including bayes net, random forest, and iterative optimized classifier to name a few. On the other hand, in the deep learning method, different activation functions were used including SoftMax, Softsign, ReLu, etc. The evaluation of performance was done relying on confusion matrix, specificity, F1-score, and accuracy. As a matter of fact, each of the models (ML and DL) was implemented on each one of the four datasets. In Pepper dataset, random forest and DL-Softsign achieved the best results as ML and DL techniques respectively. In rice dataset, random forest and DL-Softmax achieved the best results. SVM and DL-Softsign were responsible for the better results in the tomato dataset, and SVM and DL-Hard-tanh outperformed the rest in the potato dataset. In conclusion, from the large set of experiments, the
authors concluded that in binary classification, DL with Softsign is the best, whereas Softmax is better suited for multi-class classifications. Table I compares between theses similar systems.

From the analysis of these previous studies, a group of limitations can be seen, as most of the studies focus on detecting the diseases in one type of crops. On the other hand, logically, most farms are interested in growing more than one crop, especially if the farmer is using these crops for the local market, whereas in some cases a field might be planted with one specific type of crop which is grown for a huge demand and can be used for exportation and national trade. However, the aim is to create a model that can be used by the various farmers, whether they have a small farm growing multiple crops, or they had large farms with more than one type of crop. For this reason, we chose to take into consideration a group of plants to be analyzed and to train our model to detect their diseases respectively. Furthermore, the second aim is to create a reliable model which achieves very accurate results with minimal loss and minimal false detection (both false positive and false negative), for this reason the majority of the studies focus on CNN models for the disease detection class. Similarly, our chosen CNN architecture in VGG-16 still stands as one of the best computer vision models. VGG provides better results while having smaller convolutional layers since it doesn't rely on a large number of hyper-parameters, yet it has several 3x3 filters with stride 1, and max layers and padding with stride 2 that are distributed throughout the architecture. In addition, the VGG16 model not only perform image recognition and detection, but it is also capable of localization, meaning that in our case and objectives, the model can be improved to detect the exact location of the classified disease on the plant leaf.

TABLE 1. Comparison between Similar Systems

Study	**Year of Publication**	**Crop Type**	**Dataset**	**Technique**	**Performance Results**
A Machine Learning Approach to Prediction of Soybean Disease" [20]	2021	Soybean	Real samples from Mazandaran province	LR-L1, LR-L2, MLP, RF, GBT and SVM	Accuracy: 96.7% F1-score: 96.5%
Plant Diseases Classification using Machine Learning [21]	2021	Tomato	Plant Village	Extreme Learning Machine (ELM)	Accuracy: 84.94% F1-score: -
Plant diseases detection using hybrid model based on convolutional autoencoder and convolutional neural network [22]	2021	Peach	Plant Village	CAE and CNN	Accuracy: 98.38% F1-score: 98.36%
An effective approach to feature extraction for classification of plant diseases using machine learning [23]	2020	Potato and grape	Plant Village	Naïve bayes, K nearest neighbor and support vector machine classifier	Accuracy: 96% F1-score: 95%
"Classification of plant diseases using machine and deep learning [24]	2021	Rice, pepper, potato and tomato	Plant Village	Auto-color correlogram and deep learning	Accuracy: 99.4% F1-score: 95%
Comparative study on the performance of deep learning implementation in edge computing: Case study on plant leaf disease identification [26]	2022	potato and tomato	PlantVillage	AlexNet, **VGG-16**, ResNet50, DenseNet121	Accuracy: 98.3% F1-score: 96%

3.Implementation of the Model

In order to maintain constant care of plants in any farm, especially a vertical farm, you need to constantly keep a close eye on the crops and their leaves as well as their stems and all the surrounding conditions. Of course, detecting plant diseases from looking into plant leaves manually takes a lot of time and effort from the farmer, which is why automation could be a game changer in the field of plant disease detection. Computational techniques can be applied such that the images of the plants are being taken and analyzed or screened for diseases in a time efficient manner, without facing human effort or human error challenges.

In this project, we implement several deep learning technologies in order to classify the diseases in crops. Among machine learning techniques, deep learning is an interesting area since it can easily recognize patterns and perform complicated procedures, which makes it suitable for the disease classification task.

In deep learning, deep neural networks are created, among which is the CNN, short for Convolutional Neural Networks, that can easily analyze images upon training. In our project, VGG-16 was selected to be the CNN classifier of different plant diseases.

3.1 Dataset

The chosen dataset for our study is the Plant Village dataset which contains numerous images of plant diseases totaling for 15,915 images. From these images, the dataset is divided into nineteen different classes, each class resembles a disease, and these classes do not overlap, meaning that a single image only belongs to one class and cannot simultaneously belong to two or more classes.

The nineteen classes include tomato, grape, apple, tomato, and corn diseases as well as healthy classes. The Fig. 4 and Fig. 6 demonstrate in detail the different classes and to which crop they belong.

The number of images per class varies between the classes, as shown in the Fig. 5. After the data had been selected, they

are collected in a csv file, where each image is labeled with a path that indicates the health conditions of the crop within the image.



Fig. 4. Crop Disease Classes in Plant Village Dataset-1

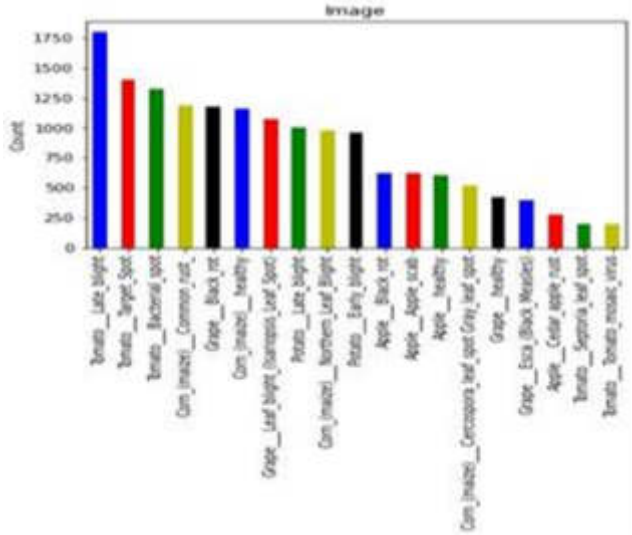


Fig. 5. Distribution of Images in Plant Village Dataset into Nineteen different Classes.

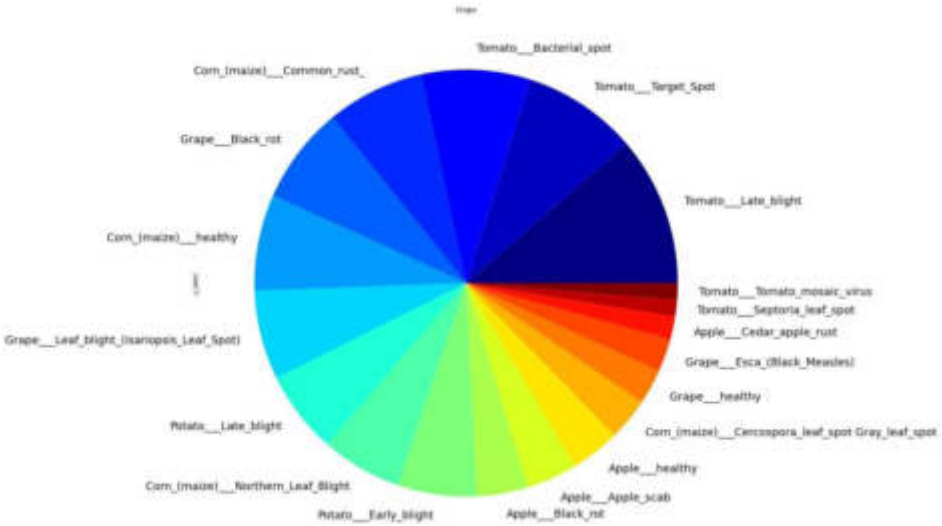


Fig. 6. Crop Disease Classes in Plant Village Dataset-2.

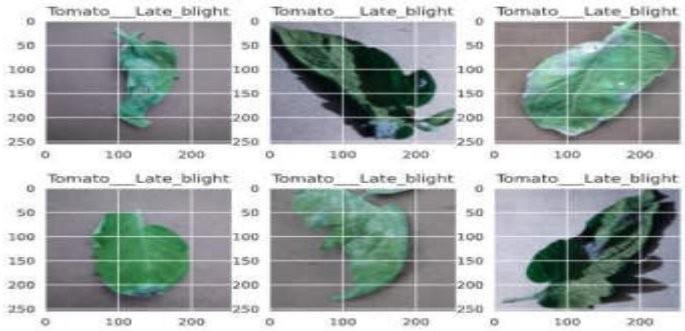


Fig. 7. Leaves with Diseases

The Fig. 7 illustrates some images of the tomato late blight class which refers to a disease in the tomato crop.

In order for the data to be convenient for our chosen model, all the text value had to be converted into numeric values that are suitable for the model. Moreover, the majority of dataset's images (80%) were utilized in the training procedure, and the rest 20% were kept for testing.

4. Proposed Model

VGG-16 is one of the most commonly used CNN architecture, especially since it works well with the ImageNet, which is large project utilized for visual object recognition procedures and it is considered one of the best models to be proposed so far due to its extreme usefulness in the image classification's field in the deep learning domain. Initially, this model was created by Karen Simonyan and Andrew Zisserman in 2014, where they developed in during their work in Oxford University titled "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition". In fact, "V" means Visual," G" Geometry while "G" stands for research group who contributed in the development of this Convolutional Neural Network model, whereas the number 16 refers to the neural network layer's number. ImageNet is so large that it contains more than fourteen million images distributed over thousand classes. This architecture is one of the top 5 models in terms of performance achievement in the ImageNet dataset, where its accuracy reached 92.7%. As an approach for the AlexNet enhancement, this architecture was submitted to ImageNet.

Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC), where this model has replaced the large kernel-sized filters of numbers 11 and 5 in both first and second convolutional layer, respectively by a multiple three × three kernel-sized filters consecutively. Moreover, the training of this model was trained by utilizing NVIDIA Titan Black GPUs for several weeks.

4.1 VGG-16 Architecture and Training Procedure

The training Procedure is made up of three consecutive steps as shown in Fig. 8:

- Preparing the images.
- Classifying the photos.
- Printing the decision.

Image Processing: The input of the convents is 224 × 224 RGB image with a fixed size where the value of each pixel is subtracted from the RGB mean value of the training image.

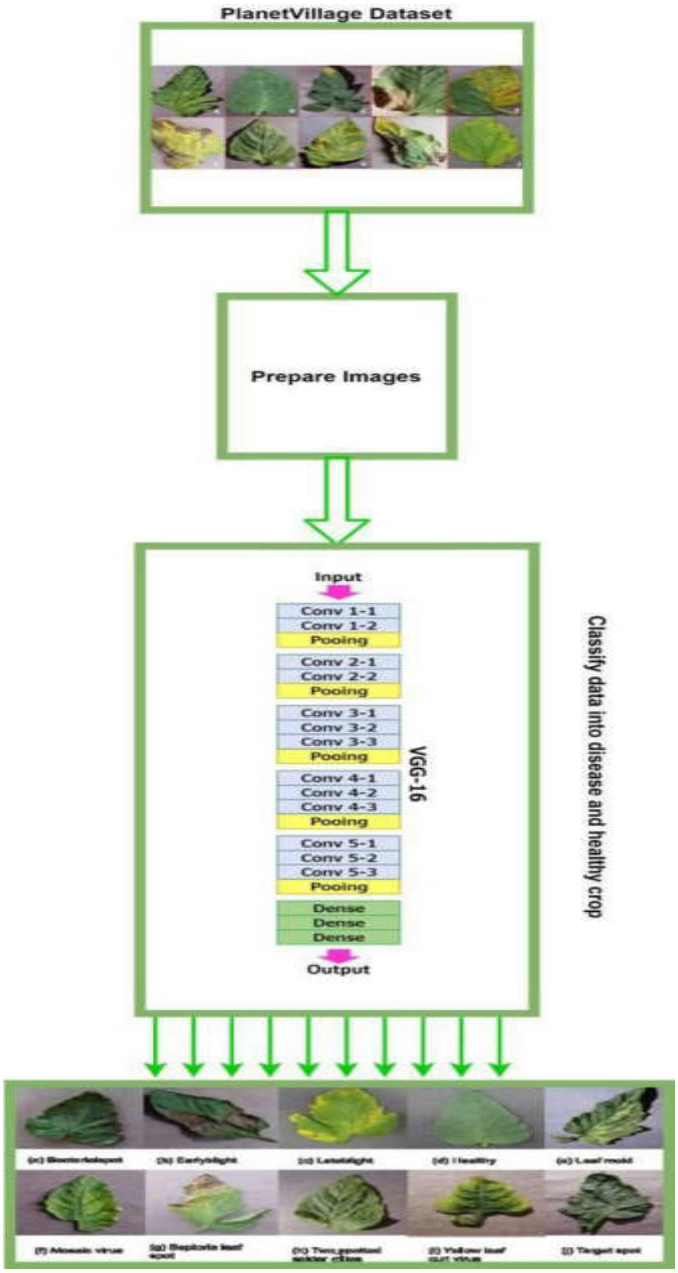


Fig. 8. Training Steps

One of the domains where technology can have a large impact is the detection of plant diseases. Machine learning and deep learning are often implemented in systems for this specific purpose especially since ML techniques have an important image processing capability.

In this study, we proposed a system for the detection of plant diseases through analyzing leaf images of plants to determine not only if they are healthy or diseased, but rather to classify which kind of disease exists in each crop type. Our

In addition to that, a total of three varying FC (Fully Connected) layers in depths are fixed behind a group of convolutional layers, where the first two FC layers is made up of 4096 channels per FC layer, and the third performs 1000- way ILSVRC classification and is made up of 1000 channels for each class. Finally, the final layer is the soft-max layer, it's important to say the Fully Connected Layer's configuration does not vary among different networks.

The architecture of the VGG-16 model is portrayed in details in the Fig. 9.

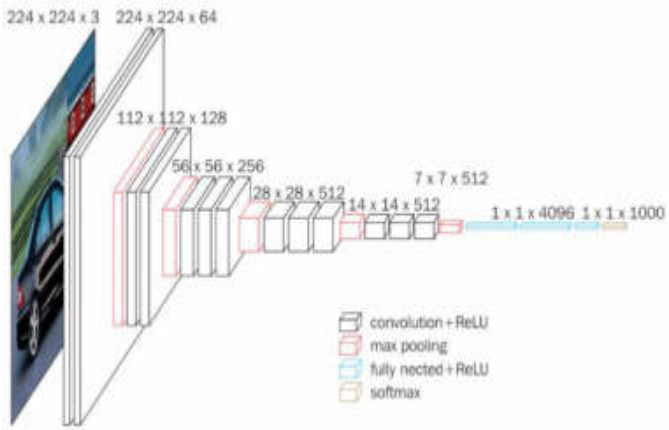


Fig. 9. VGG-16 Detailed Architecture showing the Various Layer and their Positioning

A. Activation Function Used Two activation Functions were used for our model training where the Softmax activation and the ReLU function. The ReLU function was used at the fully connected layers, where the ReLU or "Rectified Linear Unit" is one of the popular activation functions used in Neural Networks and specifically in Convolutional Neural Networks and is defined as in (1):

$$y = max\,(0, x) \qquad (1)$$

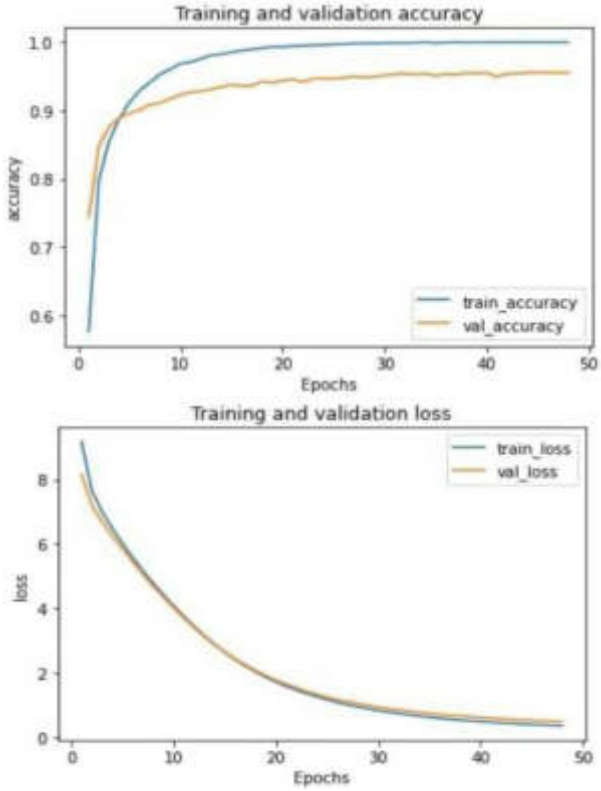
Moreover, the Softmax activation function is used for the output layers and this activation function is a type of logistic regression that is able of normalizing the inputted vector to a new vector where its probability distribution is equal to 1 and it is defined as in (2):

B. Loss Functions used

In the machine learning domain, the cost functions tend to optimize the model in the training procedure and the aim of the training procedure is to minimize the loss function and the model obtained is better as much as we tend to minimize this loss function. Therefore, one of the most important loss functions is the Cross Entropy Loss Function where it is used for Classification model's optimization and the complete understanding of this loss function depends on the Softmax activation function understanding. Moreover, in our project, the Sparse Categorical Cross Entropy is used for training our model where it has the same loss function as that of the cross entropy as in (3):

5.RESULTS

The performance of our proposed model was assessed in terms of Loss Function and Accuracy, which was measured during the training/validation step as well as during the testing step. The Fig. 10 shows the performance during the training phase



One of the domains where technology can have a large impact is the detection of plant diseases. Machine learning and deep learning are often implemented in systems for this specific purpose especially since ML techniques have an important image processing capability.

In this study, we proposed a system for the detection of plant diseases through analyzing leaf images of plants to determine not only if they are healthy or diseased, but rather to classify which kind of disease exists in each crop type.

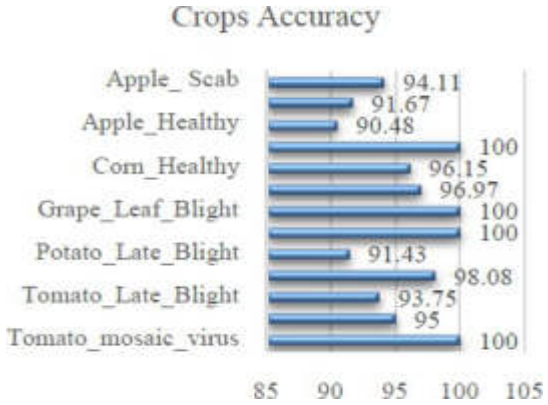


Fig. 11. Crops Accuracy

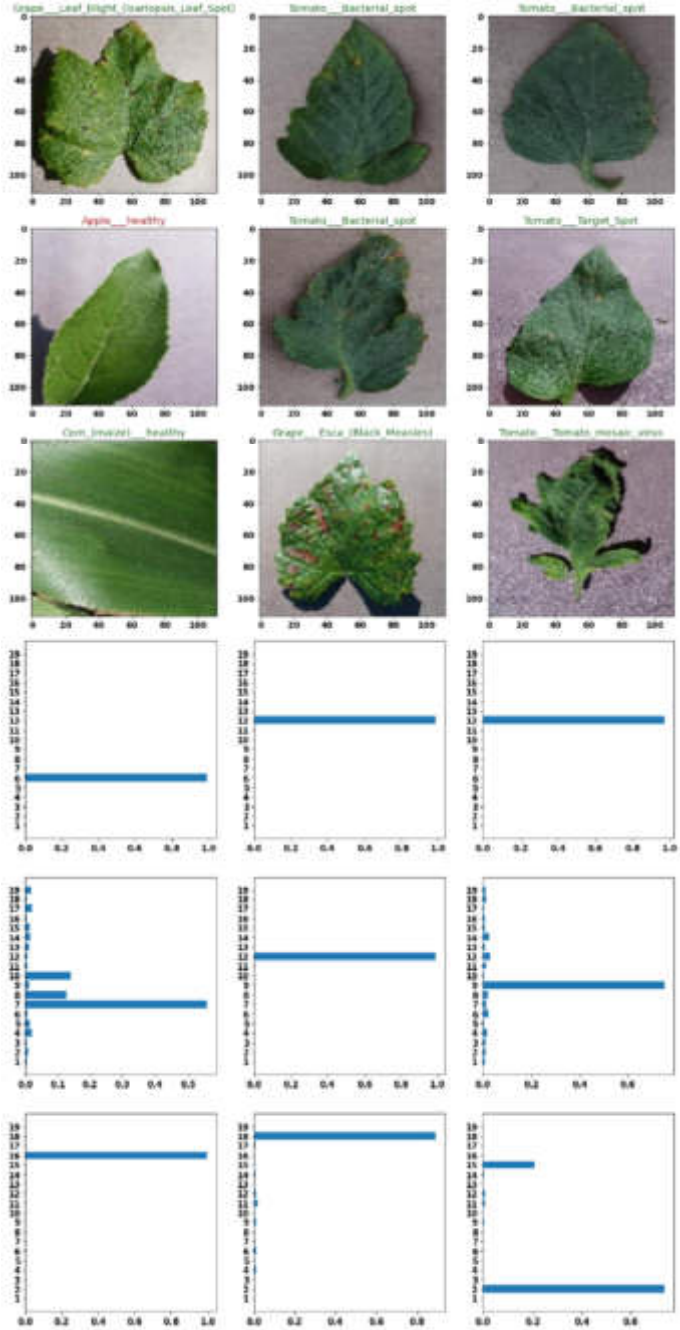


Fig. 12. Probability Estimated Distribution

One of the domains where technology can have a large impact is the detection of plant diseases. Machine learning and deep learning are often implemented in systems for this specific purpose especially since ML techniques have an important image processing capability.

6. CONCLUSION

In this study, we proposed a system for the detection of plant diseases through analyzing leaf images of plants to determine not only if they are healthy or diseased, but rather to classify which kind of disease exists in each crop type. Our model is based on a VGG-16 architecture that classifies 19 classes of plant diseases, according to the data acquired from the Plant Village dataset. The model was able to achieve a 95.2% accuracy with a loss of 0.4418.

Despite achieving a high accuracy with a low loss, our model faces some limitations since the input images must have certain illumination conditions and a complex background behind them due to the fact that they are collected from actual leaves from planted plants. These conditions pose as a challenge for any model used for plant disease detection and they can be considered as areas for improvement when designing or trying to enhance the existing model. Furthermore, in the future studies, our efforts will be focused on achieving more precise disease detection, particularly through training our machine learning model to identify the exact location of the disease on each leaf, especially if more than one disease is detected in one plant leaf. In addition to that, the plant disease dataset can be further increased to take into consideration even more plant diseases and to incorporate additional crop types. Moreover, we can consider some advanced methods to increase the accuracy of processing of leaf images by applying technologies like Faster region-based convolutional neural network (Faster R-CNN), which is a unified network designed for object recognition. Faster R-CNN creates a network that proposes a region for the detection which is then fed to the developed model for training, and after that according to the features, the optimal detection region is selected for classification purposes. Another method that can be implemented is the You Only Look Once YOLO technology which presents a very fast detection in real time with approximately 45 frames for second. Another technique similar to YOLO is the Single Shot Detector (SSD) which provides a fast detection of objects from a single frame. SSD achieves its high accuracy by producing detection at different scales and separates between the predictions by aspect ratio.

References

[1] J. G. A. Barbedo, “Digital image processing techniques for detecting, quantifying and classifying plant diseases,” *SpringerPlus*, vol. 2, no. 1, p. 660, 2013, doi: 10.1186/2193-1801-2-660.

[2] J. G. A. Barbedo, “A review on the main challenges in automatic plant disease identification based on visible range images,” *Biosystems Engineering*, vol. 144, pp. 52–60, 2016, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.01.017.

[3] S. Sladojevic, M. Arsenovic, A. Anderla, D. Culibrk, and D. Stefanovic, “Deep neural networks based recognition of plant diseases by leaf image classification,” *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2016, Art. no. 3289801, 2016, doi: 10.1155/2016/3289801.

[4] S. P. Mohanty, D. P. Hughes, and M. Salathé, “Using deep learning for image-based plant disease detection,” *Frontiers in Plant Science*, vol. 7, Art. no. 1419, 2016, doi: 10.3389/fpls.2016.01419.

[5] K. P. Ferentinos, “Deep learning models for plant disease detection and diagnosis,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 145, pp. 311–318, 2018, doi: 10.1016/j.compag.2018.01.009.

[6] K. P. Too, L. Yujian, S. Njuki, and L. Yingchun, “A comparative study of fine-tuning deep learning models for plant disease identification,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 161, pp. 272–279, 2019, doi: 10.1016/j.compag.2019.03.032.

[7] M. Brahimi, K. Boukhalfa, and A. Moussaoui, “Deep learning for tomato diseases: Classification and symptoms visualization,” *Applied Artificial Intelligence*, vol. 31, no. 4, pp. 299–315, 2017, doi: 10.1080/08839514.2017.1315516.

[8] A. Kamilaris and F. X. Prenafeta-Boldú, “Deep learning in agriculture: A survey,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 147, pp. 70–90, 2018, doi: 10.1016/j.compag.2018.02.016.

[9] J. Liu and X. Wang, "Plant diseases and pests detection based on deep learning: A review," *Plant Methods*, vol. 17, no. 1, Art. no. 22, 2021, doi: 10.1186/s13007-021-00722-9.

[10] A. Abade, P. A. Ferreira, and F. de Barros Vidal, "Plant diseases recognition on images using convolutional neural networks: A systematic review," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 185, Art. no. 106125, 2021, doi: 10.1016/j.compag.2021.106125.

[11] E. C. Too, L. Yujian, S. Njuki, and L. Yingchun, "A comparative study of fine-tuning deep learning models for plant disease identification," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 161, pp. 272–279, 2019.

[12] K. P. Ferentinos, "Deep learning models for plant disease detection and diagnosis," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 145, pp. 311–318, 2018.

[13] K. P. Ferentinos, "Deep learning models for plant disease detection and diagnosis," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 145, pp. 311–318, 2018.

[14] K. Simonyan and A. Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition," in *Proc. Int. Conf. Learning Representations (ICLR)*, 2015.

[15] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "ImageNet classification with deep convolutional neural networks," in *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 25, 2012, pp. 1097–1105.

[16] C. Szegedy *et al.*, "Going deeper with convolutions," in *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2015, pp. 1–9, doi: 10.1109/CVPR.2015.7298594.

[17] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," in *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 770–778, doi: 10.1109/CVPR.2016.90.

[18] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, and K. Q. Weinberger, "Densely connected convolutional networks," in *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 4700–4708, doi: 10.1109/CVPR.2017.243.

[19] M. Tan and Q. V. Le, "EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks," in *Proc. 36th Int. Conf. Machine Learning (ICML)*, 2019, pp. 6105–6114.

[20] N. Ashwin, U. K. Adusumilli, N. Kemparaju, and L. Kurra, "A machine learning approach to prediction of soybean disease," *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 9, pp. 78–88, 2021.

[21] T. S. Xian and R. Ngadiran, "Plant diseases classification using machine learning," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1962, no. 1, Art. no. 012024, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1962/1/012024.

[22] P. Bedi and P. Gole, "Plant disease detection using hybrid model based on convolutional autoencoder and convolutional neural network," *Artificial Intelligence in Agriculture*, vol. 5, pp. 90–101, 2021, doi: 10.1016/j.aiia.2021.05.002.

[23] S. Jeyalakshmi and R. Radha, "An effective approach to feature extraction for classification of plant diseases using machine learning," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 13, no. 32, pp. 3295–3314, 2020, doi: 10.17485/IJST/v13i32.827.

[24] M. Lamba, Y. Gigras, and A. Dhull, "Classification of plant diseases using machine and deep learning," *Open Computer Science*, vol. 11, no. 1, pp. 491–508, 2021, doi: 10.1515/comp-2020-0122.

[26] S. J. Wei, D. F. Al Riza, and H. Nugroho, “Comparative study on the performance of deep learning implementation in the edge computing: Case study on the plant leaf disease identification,” *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 10, Art. no. 100389, 2022, doi: 10.1016/j.jafr.2022.100389.

[27] J. G. A. Barbedo, “Impact of dataset size and variety on the effectiveness of deep learning and transfer learning for plant disease classification,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 153, pp. 46–53, 2018, doi: 10.1016/j.compag.2018.08.013.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EFFECT OF IMPACT STRENGTH OF 3D PRINTED CARBON FIBER-REINFORCED POLYLACTIC ACID (CF-PLA) ON DIFFERENT PRINTING PARAMETERS

Malik Shaheryar
Mechanical Engineering Department, University of Engineering and Technology Taxila

Muhammad Ali Nasir
Mechanical Engineering Department, University of Engineering and Technology Taxila

Muhammad Azeem
Department of Mechanical Engineering, Wah Engineering College, University of Wah

Rehman Khan
Mechanical Engineering Department, University of Engineering and Technology Taxila

ABSTRACT
Three-dimensional printing allows designers to modify the internal structure of a component without altering its external geometry, with infill pattern and infill density being two readily adjustable parameters. This study investigates the effects of these parameters on the impact strength of carbon-fiber-reinforced polylactic acid (CF-PLA). Nine test bars were fabricated using a Bambu Lab P1S with three infill patterns—grid, concentric, and tri-hexagonal—at infill densities of 25%, 50%, and 75%. Each specimen measured 63.5 × 12.7 × 3.2 mm and was printed in a flat orientation. The specimens were evaluated using an unnotched Izod impact test on a Torsee TIT-30 pendulum machine, with the pendulum released from a fixed angle of 120°. The absorbed impact energy ranged from 6.50 J to 11.00 J. The tri-hexagonal pattern demonstrated the highest overall impact performance, averaging 10.07 J, compared with 8.28 J for the grid and 8.63 J for the concentric pattern. Increasing infill density did not consistently improve impact strength; the grid and tri-hexagonal patterns achieved their highest values at 50% infill and decreased at 75%, whereas the concentric pattern continued to improve up to 75%. Considering impact energy relative to specimen weight, the tri-hexagonal pattern at 25% infill provided the highest efficiency, absorbing energy comparable to the grid pattern at 50% infill while reducing weight by approximately 23%. These findings demonstrate that optimizing infill geometry can provide a more effective balance between impact performance and material usage in CF-PLA components.
Keywords: Additive manufacturing, Fused deposition modelling, Carbon fibre PLA, Infill pattern, Infill density, Izod impact test.

DESIGN AND FABRICATION OF A SOLAR E-TRIKE

Mian Daniyal Gul
Department of Mechanical Engineering, Swedish College of Engineering and Technology, Wah Cantt, Pakistan (Affiliated with University of Engineering & Technology, Taxila)

Sagheer Ahmed
Department of Mechanical Engineering, Swedish College of Engineering and Technology, Wah Cantt, Pakistan (Affiliated with University of Engineering & Technology, Taxila)

Rehman Khan
Department of Mechanical Engineering, Swedish College of Engineering and Technology, Wah Cantt, Pakistan (Affiliated with University of Engineering & Technology, Taxila)

Shariq, M.
Department of Mechanical Engineering, Swedish College of Engineering and Technology, Wah Cantt, Pakistan (Affiliated with University of Engineering & Technology, Taxila)

Highlights

A low-cost tadpole solar-assisted electric recumbent trike was designed, fabricated and road-tested for short-distance mobility.
Design calculations gave 47.62 N·m peak torque and 462.18 W continuous resistance power; the prototype used a 48 V, 1000 W brushed DC drive.
Finite-element analysis of the mild-steel frame gave a minimum factor of safety of 1.16 and maximum resultant displacement of 1.24 mm.
The prototype reached 30 km/h at a 130 kg load on a straight path, while a 150 kg load achieved 26 km/h on level ground and 10 km/h on a 5° uphill grade.

Abstract

Solar-assisted electric tricycles can provide a low-emission alternative for short-distance mobility, particularly where conventional fuel costs and urban congestion are important constraints. This study presents the design, fabrication and experimental evaluation of a tadpole-type solar-assisted electric recumbent trike. The preliminary design considered a 150 kg operating load, 25 km h^{-1} target speed and 0.6 m rear-wheel diameter. Calculations produced an angular wheel velocity of approximately 23 rad s^{-1}, peak drive torque of 47.62 N·m, estimated peak power demand of 1080 W and continuous resistance power of 462.18 W. The prototype was built around a mild-steel frame, a 48 V 1000 W brushed DC motor, four 12 V 7 Ah batteries connected in series and a nominal 500 W photovoltaic panel. SolidWorks-based finite-element analysis returned a minimum factor of safety of 1.16 and a maximum resultant displacement of 1.24 mm. Road tests showed that straight-path speed decreased from 30 km h^{-1} at 130 kg to 24 km h^{-1} at 170 kg, while 5° uphill speed decreased from 14 to 4 km h^{-1} across the same loading range. At 150 kg, the measured straight-path speed was 26 km h^{-1} and the 5° uphill speed was 10 km h^{-1}. Braking distance decreased from 4.39 m at 30 km h^{-1} and 130 kg to 3.67 m at 25 km h^{-1} and 160 kg, reflecting the lower initial speeds at higher loads. The reported fabrication cost was PKR 77,200.

The results demonstrate the feasibility of a compact solar-assisted trike while also identifying the need for improved structural safety margin, standardized repeated testing and instrumented battery/solar-energy measurements before commercialization.
Keywords: Solar-assisted electric trike; Recumbent tricycle; Tadpole configuration; Photovoltaic charging; Finite-element analysis; Braking performance; Sustainable mobility.

1. Introduction

Growing urbanization, rising fuel costs and concerns about transport-related emissions have increased interest in lightweight electric mobility. Three-wheeled vehicles are attractive because they can provide greater static stability than two-wheeled bicycles while retaining a relatively small road footprint and low energy demand. Human-powered and electrically assisted tricycles have therefore been investigated for personal transport, rehabilitation and last-mile delivery applications (Brodie et al., 2022; D'hondt et al., 2022a).

The arrangement of the three wheels strongly influences steering, braking and rollover behaviour. Tadpole trikes use two front wheels and one driven rear wheel, placing a relatively large proportion of the vehicle mass over the front axle during braking and providing two front contact patches for steering. Prior studies have addressed recumbent-trike dynamics, centre-of-gravity placement, tilting mechanisms and stability under changing loading conditions (Sunday et al., 2019; Widi et al., 2019; Wilhelm et al., 2021). Structural studies have also applied finite-element methods to lightweight trike chassis to assess frame stiffness and load capacity (Gulati et al., 2012; Shakeel et al., 2019).

Solar assistance can reduce dependence on grid charging and extend useful operating time in sunny conditions. Tom et al. (2015) demonstrated a solar electric recumbent trike, while Masud et al. (2017) and Berjoza et al. (2021) reported solar-assisted tricycle concepts and performance testing. However, many reported designs focus on either electrical propulsion, structural design, or solar charging in isolation. There remains practical value in integrating these aspects into a low-cost prototype and evaluating its load-dependent road performance, braking behaviour and structural response within one design programme.

Accordingly, the objective of this work was to design and fabricate an affordable solar-assisted electric recumbent trike using a tadpole configuration, then evaluate its structural adequacy and basic road performance. The study combines drive-power calculations, centre-of-gravity considerations, CAD and finite-element analysis, fabrication of a full-scale mild-steel chassis, and experimental speed and braking tests under multiple loading conditions.

2. Materials and Methods

2.1. Design Architecture and Component Selection

A tadpole layout was selected, with two wheels at the front and one driven wheel at the rear. The design rationale in the thesis emphasized front-wheel steering and braking grip, rear-wheel traction, low seating position and improved cornering stability relative to the alternative delta arrangement. The target design condition used a 150 kg operating mass, a nominal speed of 25 km h^{-1}, a rear-wheel diameter of 0.60 m and a front-wheel diameter of 0.50 m.

Table 1. Principal design assumptions and prototype specifications reported in the thesis.

Parameter	Reported value
Target/nominal operating load	150 kg
Target speed	25 km h^{-1}
Rear / front wheel diameter	0.60 m / 0.50 m
Drive motor	48 V, 1000 W brushed DC
Battery pack	4 × 12 V, 7 Ah batteries in series (48 V nominal)
Solar panel	Nominal 500 W; Voc 48 V; Vmp 39.99 V; Isc 6.11 A; Imp 5.57 A
Frame material	Mild steel
Steering	Push-pull type
Mechanical transmission	Chain drive with sprockets
Reported prototype cost	PKR 77,200

2.2. Drive Requirement Calculations

The wheel angular speed was calculated from the linear velocity and wheel radius. For a target speed of 25 km h^{-1} (6.92 m s^{-1}) and a 0.30 m driven-wheel radius, the angular velocity was approximately 23 rad s^{-1}, corresponding to 219.54 rpm. Peak torque was estimated from the combined vehicle and battery mass, gravitational acceleration, wheel radius and an assumed 0.1 slope term. The resulting peak torque requirement was 47.62 N·m and the associated peak power estimate was approximately 1080 W.

The thesis separately estimated aerodynamic and rolling resistance contributions as 117.18 W and 345 W, respectively, giving a continuous resistance power of 462.18 W. The corresponding continuous torque estimate was 20.60 N·m at approximately 214.85 rpm. These calculations were used to justify selection of the 48 V, 1000 W motor while recognizing that the calculated peak demand slightly exceeded the nominal motor rating.

Table 2. Calculated mechanical requirements used for drivetrain sizing.

Quantity	Reported result
Wheel angular velocity	23 rad s^{-1}
Wheel speed	219.54 rpm
Peak torque	47.62 N·m
Estimated peak power	1080 W
Aerodynamic resistance power	117.18 W
Rolling-resistance power	345 W
Continuous resistance power	462.18 W
Continuous torque	20.60 N·m

2.3. Stability, CAD and Structural Analysis

Centre-of-gravity placement was considered using the support triangle formed by the three tyre contact patches. The design used a front track width of 41 in and a wheelbase of 52 in. The thesis describes positioning the rider centre of gravity inside a three-dimensional tipping envelope derived from front-view and side-view support triangles, with particular attention to forward rollover risk during braking.

The frame was modelled in CAD and manufactured from mild steel. Static finite-element analysis was conducted in SolidWorks SimulationXpress using applied loads and fixed supports defined on the frame. A blended-curvature mesh was used. The reported minimum factor of safety was 1.16 and the maximum resultant displacement was 1.24 mm.

Because the thesis itself notes that many engineering design codes employ safety factors in the range of approximately 1.5-3, the obtained minimum value indicates a limited reserve and identifies structural reinforcement as an important design improvement.



Figure 1. Solar-assisted trike development: CAD concept (left) and fabricated prototype used for road testing (right).

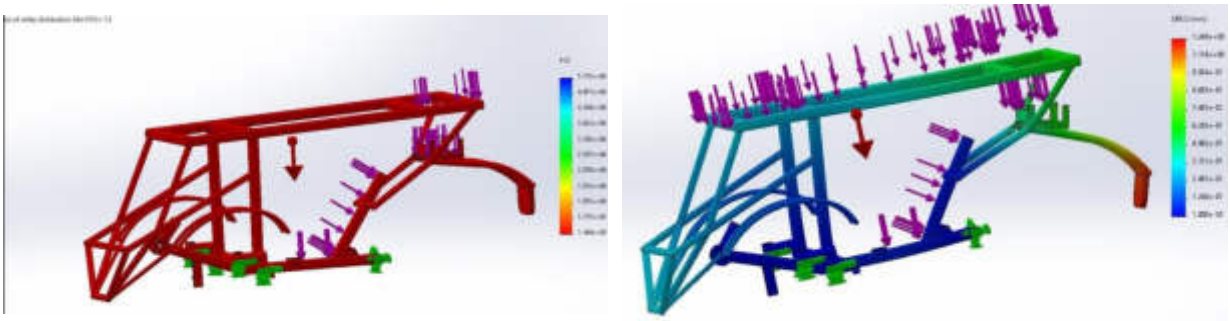


Figure 2. Finite-element results reported for the mild-steel frame: factor-of-safety distribution (left) and resultant displacement distribution (right).

2.4. Fabrication and Electrical Integration

Fabrication included cutting and grinding of the frame members, electric arc welding, seat construction and assembly of the wheel, steering, braking and chain-drive systems. The electrical system comprised the brushed DC motor, speed controller, battery bank, photovoltaic panel and solar charge controller. Four 12 V batteries were connected in series to obtain a nominal 48 V pack. The push-pull steering controls were positioned at the sides of the recumbent seat to avoid interference with pedalling.

The component-level cost reported for the prototype was PKR 77,200, including the donor bicycle, motor, battery, raw material, controllers, fabrication, solar panel and wheels. The solar panel represented the largest single listed component cost (PKR 15,000), while motor, raw material and fabrication were each reported at PKR 10,000.

2.5. Experimental Procedure

The completed trike was checked for electrical connections and brake operation before testing. The battery was charged, and the vehicle was first operated without load and then under different loading conditions. Experimental parameters included straight-path speed, 5° uphill and downhill speed, battery charging/discharging behaviour and braking performance. Vehicle speed was recorded for total loads of 130-170 kg.

Braking tests were reported for loads of 130-160 kg, with stopping distance measured from the onset of braking to rest and deceleration calculated from the initial speed and stopping distance.

3. Results and Discussion

3.1. Structural Performance

The static frame analysis yielded a minimum factor of safety of 1.16 and a maximum displacement of 1.24 mm. The displacement magnitude is small relative to the overall vehicle dimensions and indicates that the chassis remained comparatively stiff under the simulated load case. The minimum factor of safety, however, is close to unity. This suggests that the prototype can serve as a proof-of-concept but that local stress concentrations and load paths should be reassessed before higher-load or commercial use. A revised frame should target a larger safety margin through member-size optimization, improved joint geometry or local reinforcement while controlling mass.

3.2. Speed Performance under Load and Grade

Straight-path speed decreased monotonically with increasing load, from 30 km h^{-1} at 130 kg to 24 km h^{-1} at 170 kg. At the nominal 150 kg load, the prototype achieved 26 km h^{-1} on the straight path, which is close to the 25 km h^{-1} design target. On a 5° uphill grade, speed decreased more sharply, from 14 km h^{-1} at 130 kg to 4 km h^{-1} at 170 kg. In contrast, the reported downhill speed increased from 27 to 35 km h^{-1} as load increased, reflecting the increasing gravitational contribution on the descending grade.

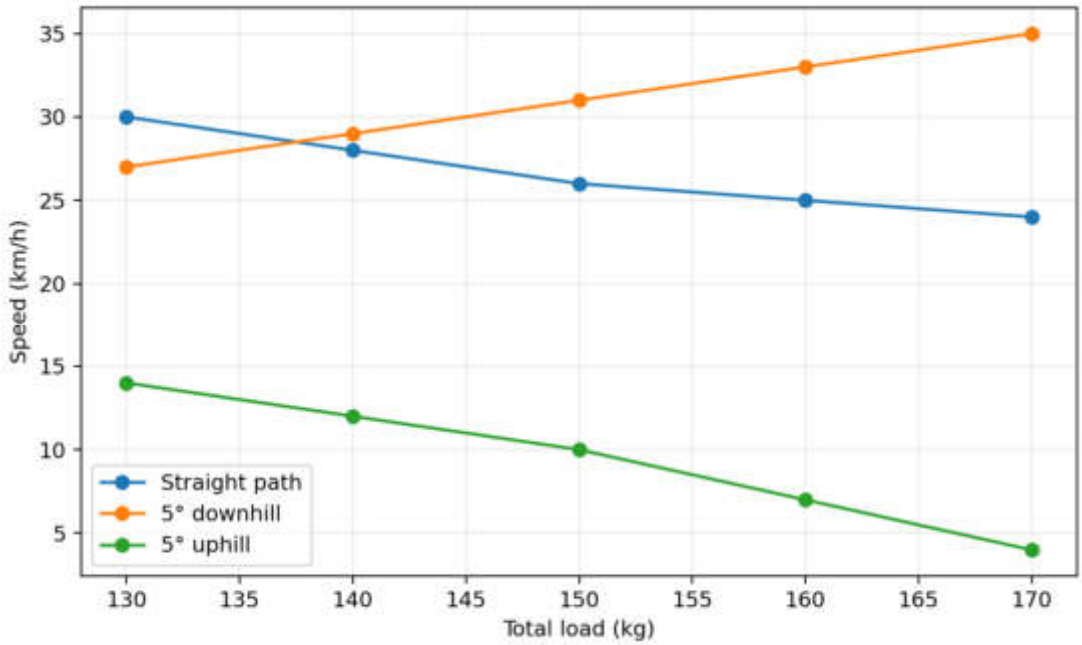


Figure 3. Measured speed as a function of total load for straight, 5° downhill and 5° uphill test conditions.

Table 3. Measured speed under different loading and road-grade conditions.

Load (kg)	Straight (km h⁻¹)	5° downhill (km h⁻¹)	5° uphill (km h⁻¹)
130	30	27	14
140	28	29	12
150	26	31	10
160	25	33	7
170	24	35	4

The results show that load sensitivity is most severe during uphill operation. Between 130 and 170 kg, straight-path speed decreased by 20%, whereas uphill speed decreased by approximately 71%. This is consistent with the limited power reserve of the drivetrain: grade resistance becomes increasingly important as total mass rises. The measurements therefore support the use of the prototype for relatively flat short-distance routes while identifying steep-grade performance as a key constraint for future drivetrain optimization.

3.3. Braking Performance

The reported braking tests were conducted at the naturally attained speed for each loading condition rather than at a common controlled initial speed. At 130 kg and 30 km h^{-1}, the stopping distance was 4.39 m with a calculated deceleration magnitude of 7.95 m s^{-2}. At 160 kg, the vehicle entered the braking test at 25 km h^{-1} and stopped in 3.67 m, with a calculated deceleration magnitude of 6.23 m s^{-2}. The reduction in stopping distance at higher loads should therefore not be interpreted as an intrinsic improvement due to mass; it is primarily confounded by the simultaneous reduction in initial speed.

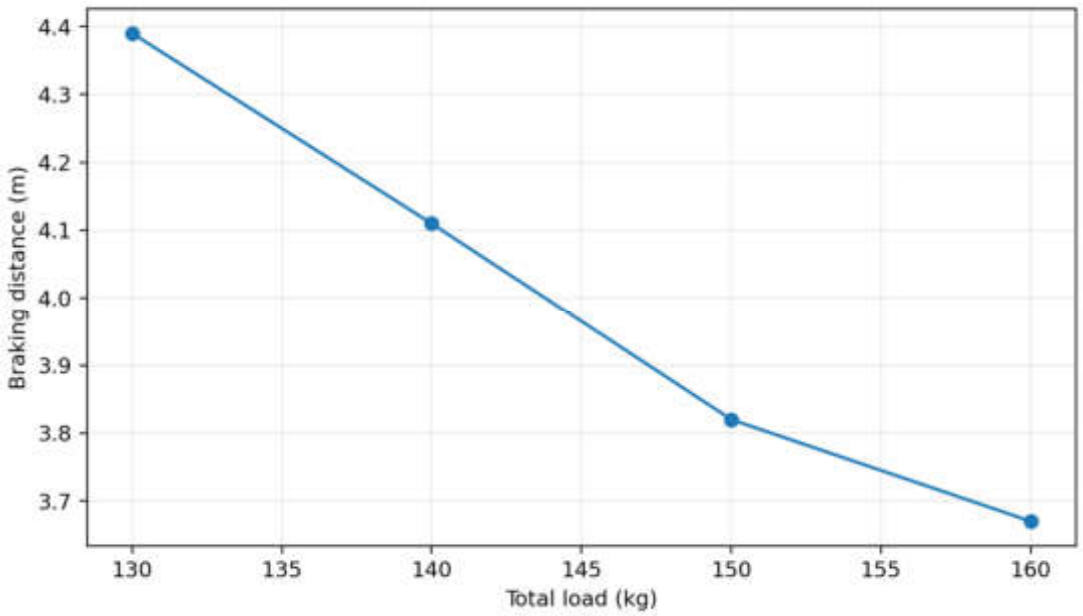


Figure 4. Reported braking distance at the test speed associated with each loading condition.

Table 4. Braking-test results reported in the thesis.

Load (kg)	Initial speed (km h^{-1})	Braking distance (m)	Deceleration (m s^{-2})
130	30	4.39	-7.95
140	28	4.11	-7.25
150	26	3.82	-6.64
160	25	3.67	-6.23

3.4. Comparison with the Reference Model

The thesis compared the fabricated prototype with a previously used reference model. The present design increased the stated design load from 130 to 150 kg and motor voltage from 24 to 48 V, added pedal-assist capability and front-wheel braking, and used a six-speed gear mechanism instead of a single gear. The reported achieved load speed increased from 20 to 30 km h^{-1}, while overall length reduced from 2.50 to 2.134 m. These changes indicate a shift toward a more compact, higher-voltage and more controllable layout, although direct comparison is limited because the two vehicles were not tested under a standardized common protocol.

3.5. Solar-Energy and Battery Considerations

The prototype incorporated photovoltaic charging so that the battery could receive energy while the vehicle was parked or operating in sunlight. The component specification lists a nominal 500 W panel and four 12 V, 7 Ah batteries connected in series. A series connection retains the 7 Ah capacity while increasing the nominal voltage to 48 V, corresponding to approximately 336 Wh from the stated battery ratings. The thesis also contains later charging/discharging calculations that assume different panel power and battery ampere-hour values. Because these figures are internally inconsistent in the source report, no single charging-time or operating-range value is claimed here. A publication-quality energy assessment requires direct logging of panel voltage/current, battery state of charge and motor power over standardized drive cycles.

4. Sustainability Implications

The solar-assisted trike was developed as a low-cost alternative for short urban journeys. Its potential sustainability advantages arise from low vehicle mass, electric propulsion, the ability to supplement grid energy with photovoltaic charging, and reduced local exhaust emissions compared with petrol-powered short-distance transport. The compact three-wheel architecture may also require less road and parking space than a passenger car. These advantages are consistent with the broader motivation for electric three-wheelers in urban mobility and last-mile applications.

The present work did not perform a life-cycle assessment or directly measure avoided greenhouse-gas emissions. Environmental claims should therefore remain qualitative. Future evaluation should quantify electricity consumption per kilometre, solar-energy contribution, battery replacement impacts, frame-material embodied energy and component life. Such measurements would allow the environmental benefit to be compared transparently with conventional motorcycles, small cars and grid-charged electric alternatives.

5. Limitations and Recommendations

The study provides a useful full-scale prototype and performance dataset, but several limitations should be addressed before journal submission or commercialization. First, the minimum frame factor of safety of 1.16 indicates limited structural reserve, and the finite-element model should be repeated with fully documented material properties, mesh convergence, load cases and boundary conditions. Second, speed and braking results appear to be based on single reported tests without repeat measurements, uncertainty bounds or statistical analysis. Replicated tests at controlled starting speeds are required, especially for braking comparison.

Third, the electrical-energy section of the thesis contains inconsistent battery-capacity and solar-power assumptions. Future experiments should use calibrated electrical instrumentation to record battery voltage, current, state of charge, solar input and motor demand throughout a complete drive cycle. Fourth, grade testing should be repeated at fixed loads and controlled slopes, with ambient wind and tyre pressure documented. Finally, steering geometry, rollover threshold and emergency-braking stability should be evaluated experimentally to complement the static centre-of-gravity analysis.

6. Conclusion

A functional solar-assisted electric recumbent trike was designed, fabricated and experimentally evaluated using a tadpole configuration. The design calculations predicted a peak torque requirement of 47.62 N·m and continuous resistance power of 462.18 W, and the completed vehicle used a 48 V, 1000 W brushed DC drive on a mild-steel chassis. Finite-element analysis produced a maximum displacement of 1.24 mm but a minimum factor of safety of only 1.16, identifying structural margin as a priority for redesign.

Road testing demonstrated practical short-distance performance: the vehicle reached 30 km h^{-1} at 130 kg and 26 km h^{-1} at the nominal 150 kg load on level ground. Uphill performance was strongly load-sensitive, falling to 10 km h^{-1} at 150 kg on a 5° grade. Braking distance ranged from 4.39 m at 30 km h^{-1} to 3.67 m at 25 km h^{-1} across the reported loading conditions. The prototype cost of PKR 77,200 supports the feasibility of a comparatively low-cost concept. With improved frame safety margin, controlled replicated testing and validated solar/battery energy measurements, the platform provides a useful basis for further development of affordable low-emission urban mobility.

Conflicts of Interest

Conflict-of-interest statement to be confirmed by all authors before submission.

References

Ahmad, F., Upadhyay, E., Mehra, R. (2022). A load bearing tricycle chassis and springs design with performance analysis calculations. Vol. 71, 12-25. [Bibliographic details as recorded in thesis; verify before submission].

Berjoza, D., Jurgena, I., Bergspics, J. (2021). Solar electric tricycle development and research. Agronomy Research, 19, 79-100.

Brodie, S., Griffin, M., Serraglio, R. (2022). Human powered vehicle team. Suparyanto dan Rosad, 5, 1-20. [Bibliographic details as recorded in thesis; verify before submission].

D'hondt, J., Juwet, M., Demeester, E. (2022a). Development of an electric tricycle for service companies and last-mile parcel delivery. Transport Problems, 17, 12-22.

D'hondt, J., Slaets, P., Demeester, E., Juwet, M. (2022b). Effects of a torsion spring used in a flexible delta tricycle. Applied Mechanics, 3, 40-50.

Gulati, V., Mehta, S., Kashyap, A., Pawar, K. (2012). Design and FEA of a recumbent trike. International Journal of Applied Engineering Research, 7, 89-110.

Masud, M.H., Akhter, M.S., Islam, S. (2017). Design, construction and performance study of a solar assisted tri-cycle. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering, 61, 78-89.

Shakeel, S.S., Abbas, K., Shafi, I. (2019). Designing efficient commuter vehicle using finite element analysis and computational fluid dynamics. Proceedings of the 16th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST), 20, 25-45.

Sunday, B., Thomas, U., Ityokumbul, I.S., Nasir, A. (2019). Effect of number of passengers (loading) on centre of gravity of a three wheeled vehicle. Transport Problems, 17, 88-99. [Bibliographic details as recorded in thesis; verify before submission].

Tom, T., Chacko, T., Lokanathan, S., Joy, J., Kulkarni, V. (2015). Solar electric recumbent trike. Proceedings International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD), 10, 35-55.

Widi, W.P., Syehan, A., Sumarsono, D.A. (2019). Kinematic analysis of triple ball tie-rod in Ackermann steering and tilting mechanism for tricycle application. E3S Web of Conferences, 130, 102-145.

Wilhelm, T., Dorsch, V., Gauterin, F. (2021). Mass data measurement, approximation and influence on vehicle stability for ultra-light human-powered vehicles. Applied Sciences, 11, 34-48. [Pagination/details as recorded in thesis; verify before submission].

Wilhelm, T., Dorsch, V., Gauterin, F. (2022). Survey-based accident analysis for human-powered three-wheeled vehicles. SAE International Journal of Transportation Safety, 10, 67-75.

Editorial note for submission: author order/corresponding author details and the bibliographic metadata marked for verification should be confirmed against the original records before the manuscript is submitted to a journal.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

AI-POWERED ROBOTIC WELDING IN AUTOMOBILE MANUFACTURING: ENHANCING PRECISION, QUALITY, AND MANUFACTURING EFFICIENCY

Raghav Sivakumar
United World Academy

Abstract
This paper examines the application of artificial intelligence (AI) in robotic welding systems used in automobile manufacturing, focusing on how AI enhances the precision, adaptability, and efficiency of robotic welding operations. Automotive welding robots are widely employed in body-in-white manufacturing to perform repetitive and high-precision welding operations; however, conventional robots primarily rely on pre-programmed movements and predefined process parameters. The study investigates how the integration of AI technologies, including machine learning, computer vision, sensors, and real-time data analysis, enables robotic welding systems to detect variations in components, identify welding defects, adjust welding parameters, and optimize robotic movements during production. Particular attention is given to AI-enabled visual inspection and real-time monitoring, through which the robotic system can identify defects such as incorrect weld placement, inconsistent welds, and component misalignment. The study also evaluates the role of predictive maintenance in identifying abnormal robotic behavior and potential equipment failures before they disrupt production. A qualitative literature review methodology is adopted, supported by industrial case studies and performance data from automobile manufacturers and robotic welding technology providers. The findings indicate that integrating AI with robotic welding systems can transform conventional pre-programmed welding robots into more adaptive and intelligent manufacturing systems, with potential improvements in welding accuracy, product quality, production efficiency, equipment reliability, and reduction of manufacturing defects.
Keywords: artificial intelligence; robotic welding; industrial robots; automobile manufacturing; machine learning; computer vision; welding automation; predictive maintenance; quality control; automotive robotics.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

HYBRID THERMAL ENHANCEMENT OF NATURAL-CONVECTION HEAT SINKS USING AERODYNAMIC WINGLETS AND SWCNT-WATER NANOFLUIDS

Mohamed Dhia Massoudi
Laboratory of Ionized Backgrounds and Reagents Studies (LEMIR), Preparatory Institute for Engineering Studies of Monastir (IPEIM), University of Monastir

Mohamed Bechir Ben Hamida
Deanship of Scientific Research, Imam Mohammad Ibn Saud Islamic University (IMSIU), Riyadh

Abstract
Effective thermal management remains a critical challenge in modern electronic devices, where excessive heat generation can compromise performance, reliability, and service life. This study proposes a hybrid passive-active thermal enhancement strategy for natural-convection heat sinks by combining aerodynamic winglet configurations with radiative SWCNT-water nanofluids under an applied magnetic field. Trapezoidal fins equipped with four different aerodynamic winglet geometries-swept rectangular wings (SRW), tapered swept wings (TSW), clipped delta wings (CDW), and clipped tapered swept wings (CTSW), are investigated to enhance buoyancy-driven heat transfer. The effects of thermal radiation, magnetic field strength, nanoparticle concentration, Rayleigh number, and winglet configuration are systematically examined using a two-dimensional numerical model developed in COMSOL Multiphysics based on the finite element method. The thermal and hydrodynamic characteristics are evaluated in terms of the average Nusselt number, streamlines, and isotherms over a broad range of Rayleigh numbers. The results show that replacing conventional straight fins with trapezoidal fins enhances the average Nusselt number by 16.11%, while the incorporation of rectangular winglets provides an additional enhancement of 18.45%. Among the investigated configurations, the TSW geometry exhibits the highest heat-transfer enhancement, reaching 22.5% compared with the corresponding rectangular-wing configuration, followed by CTSW (22.1%) and CDW (21.0%) at the considered Rayleigh number. Furthermore, the spatial arrangement of the winglets strongly influences the thermal performance. In particular, the descending arrangement promotes more favorable interaction with the buoyancy-induced flow and increases heat transfer by up to 41.11%. Overall, the findings demonstrate that aerodynamic winglet geometry, when combined with radiative SWCNT-water nanofluids and magnetic-field effects, provides an effective approach for intensifying natural-convection heat transfer and developing compact, high-performance heat sinks for advanced electronic cooling applications.
Keywords: Heat sink optimization; Natural convection; Trapezoidal fins; Aerodynamic winglets; Radiative nanoparticles.

ŞERBETÇİ OTU EKSTRAKTININ KARABUĞDAY (*Fagopyrum esculentum* Moench)'ın ERKEN GELİŞİM ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ALLELOPATİK ETKİSİ

Doç. Dr. Sema LEBLEBİCİ
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
ORCID: 0000-0002-3762-6408

Prof. Dr. Erdem GÜLÜMSER
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü
ORCID: 0000-0001-6291-3831

ÖZET

Bitkilerde sentezlenen ikincil metabolitler, çevrelerinde bulunan diğer bitkileri doğrudan veya dolaylı, olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Allelopati olarak tanımlanan bu etki, ikincil metabolit içeren bitki kısımlarının ortama bırakılmasıyla kendisinden sonra gelen türün çimlenme ve gelişim sürecini değiştirmektedir. Şerbetçi otu (*Humulus lupulus* L.), özellikle kozalaklarında bulunan reçineler, fenolik bileşikler ve flavonoidler bakımından zengin bir türdür. Çalışmanın test bitkisi olan karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench) ise Polygonaceae familyasına ait, kısa yetişme süresine sahip, marjinal ve düşük verimli topraklarda yetişebilen, yüksek besin değerine sahip bir psödotahıl (yalancı tahıl) türüdür. Bu çalışmada, farklı konsantrasyonlarda (%0, %25, %50, %75 ve %100) hazırlanan şerbetçi otu ekstraktlarının karabuğday tohumlarının çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Bilecik ilinden temin edilen şerbetçi otu materyalinden 500 g tartılarak 3 litre saf su içerisinde 7 saat süreyle bekletilmiş ve %100'lük ekstrakt elde edilmiştir; bu ekstrakt seyreltilerek %25, %50 ve %75'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Saf su ile sulanan örnekler kontrol grubunu oluşturmuştur. Deneme, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi laboratuvarlarında Tesadüf Parselleri Deneme Desenine göre dört tekerrürlü olarak yürütülmüş; 25/23 °C sıcaklık, %60 nem ve 16/8 saat fotoperiyot koşullarında 21 gün sürdürülmüştür. Araştırma sonuçlarına göre, şerbetçi otu ekstraktı uygulamaları çimlenme oranı hariç incelenen tüm özellikleri istatistiksel olarak önemli düzeyde ($p<0,01$) etkilemiştir. Çimlenme oranı %78,00-83,00, kök uzunluğu 9,92-19,83 cm, gövde uzunluğu 9,42-13,67 cm, fide canlılık indeksi (FCİ) 26,99-133,79 ve toplam çimlenme indeksi (TGİ) 821,00-1569,33 arasında değişmiştir. Kök ve gövde kuru ağırlıkları ile kök ve gövde biyokütlesi bakımından en yüksek değerler kontrol grubunda belirlenmiştir. Sonuç olarak, düşük ve orta dozlardaki (%25-%50) şerbetçi otu ekstraktı toplam çimlenme indeksi ve gövde uzunluğu bakımından daha olumlu sonuçlar verirken, kontrol grubu kuru ağırlık, biyokütle ve fide canlılık indeksi bakımından daha yüksek değerler ortaya koymuş, en yüksek doz (%100) ise genel olarak sınırlayıcı bir etki göstermiştir. Bu bulgular, şerbetçi otu ekstraktının uygun dozlarda karabuğday tohumlarının çimlenme ve erken gelişim sürecini teşvik edebileceğini, ancak yüksek dozlarda fide gelişiminin bazı bileşenlerini sınırlandırabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Karabuğday, Şerbetçi Otu, Allelopati, Çimlenme, Fide Gelişimi

ALLELOPATHIC EFFECT OF HOP EXTRACT ON EARLY DEVELOPMENT CHARACTERİSTİCS OF BUCKWHEAT (*Fagopyrum esculentum* L.)

ABSTRACT

Secondary metabolites synthesized in plants can affect surrounding plants directly or indirectly, positively or negatively. This effect, known as allelopathy, alters the germination and development of subsequent species through the release of plant parts containing secondary metabolites into the environment. Hop (*Humulus lupulus* L.) is particularly rich in resins, phenolic compounds, and flavonoids found in its cones. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench), the test species of this study, is a pseudocereal of the Polygonaceae family, characterized by a short growing period, adaptability to marginal and low-fertility soils, and a high nutritional value. In this study, the effects of hop extracts prepared at different concentrations (0%, 25%, 50%, 75%, and 100%) on the germination and early seedling growth of buckwheat seeds were investigated. Hop plant material obtained from Bilecik province was weighed at 500 g and soaked in 3 liters of distilled water for 7 hours to obtain a 100% extract, which was then diluted to prepare 25%, 50%, and 75% solutions. Samples irrigated with distilled water constituted the control group. The experiment was conducted at Bilecik Şeyh Edebali University laboratories in a completely randomized design with four replications, and continued for 21 days at 25/23 °C, 60% humidity, and a 16/8-hour photoperiod. The results showed that hop extract applications had a statistically significant effect ($p<0.01$) on all traits examined except germination percentage. Germination percentage ranged from 78.00 to 83.00%, root length from 9.92 to 19.83 cm, shoot length from 9.42 to 13.67 cm, seedling vigor index (SVI) from 26.99 to 133.79, and total germination index (TGI) from 821.00 to 1569.33. Root and shoot dry weights, as well as root and shoot biomass, were highest in the control group. As a result, low and moderate hop extract doses (25-50%) produced more favorable results for total germination index and shoot length, whereas the control group exhibited higher dry weight, biomass, and seedling vigor index values, and the highest dose (100%) generally exerted a limiting effect. These findings suggest that hop extract, at appropriate doses, may promote the germination and early development of buckwheat seeds, while higher doses may limit certain components of seedling growth.

Keywords: Buckwheat, Hop, Allelopathy, Germination, Seedling Growth

1. GİRİŞ

Allelopati, bir bitkinin çevresine saldığı biyolojik olarak aktif bileşikler aracılığıyla başka bitkilerin çimlenme ve gelişme süreçlerini olumlu veya olumsuz yönde etkilemesi olarak tanımlanmaktadır. Bitkilerden elde edilen farklı özütlerin tohum çimlenmesi, kök gelişimi ve fide büyümesi üzerinde önemli etkiler oluşturabildiği ve bu etkinin kullanılan bitki türüne ve özüt konsantrasyonuna göre değişebildiği bildirilmektedir (Kadıoğlu ve Yanar, 2004). Bu nedenle bitki özütlerinin allelopatik özelliklerinin belirlenmesi, türler arasındaki biyokimyasal etkileşimlerin ortaya konulması ve doğal kaynaklı biyolojik aktivite gösteren materyallerin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Şerbetçi otu (*Humulus lupulus* L.), özellikle kozalaklarında bulunan reçineler, fenolik bileşikler, flavonoidler ve diğer sekonder metabolitler bakımından zengin bir bitkidir. Bu bileşiklerin farklı biyolojik aktivitelere sahip olduğu ve *H. lupulus* özütlerinin biyolojik olarak aktif özellikler gösterdiği bildirilmiştir (Korpelainen ve Pietiläinen, 2021; Yılar ve ark., 2020). Farklı bitki ekstraktlarının biyolojik aktivitelerinin değerlendirildiği çalışmalarda, bitki özütlerinin mikroorganizmalar ve diğer biyolojik sistemler üzerinde önemli etkiler oluşturabildiği bildirilmiştir (Atmaca ve ark., 2021).

Şerbetçi otu özütünün allelopatik potansiyelini doğrudan değerlendiren bir çalışmada, *H. lupulus* özütünün mısır (*Zea mays* L.) ve fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) tohumlarının çimlenmesi ve fide gelişimi üzerinde etkili olduğu; farklı özüt konsantrasyonlarının her iki türün çimlenme ve fide gelişim dinamiklerini değiştirdiği bildirilmiştir (Marian ve ark., 2017). Ayrıca, şerbetçi otu rizosferinden elde edilen ekstraktlarda biyolojik aktif bileşiklerin belirlenmiş olması, *H. lupulus*'un bitkiler arası kimyasal etkileşimler bakımından da dikkate değer bir tür olduğunu göstermektedir (Zhang ve ark., 2011).

Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench), Polygonaceae familyasının *Fagopyrum* cinsine ait, kısa yetişme süresine (yaklaşık 10-12 hafta) sahip bir psödotahıl (yalancı tahıl) türüdür. Düşük girdi gereksinimi ve marjinal, düşük verimli topraklara uyum sağlayabilme yeteneği ile bilinen bitki, yüksek protein kalitesi ile zengin rutin ve flavonoid içeriği sayesinde hem insan beslenmesinde hem de alternatif tarım sistemlerinde giderek artan bir öneme sahiptir. Karabuğdayın, dokularında biriktirdiği fenolik asitler ve flavonoidler aracılığıyla kendisinin de belirgin bir allelopatik/yabancı ot baskılayıcı potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir (Marusig ve ark., 2026). Diğer bitki türlerinde olduğu gibi karabuğdayın da çimlenme ve erken fide gelişimi, çevrede bulunan veya diğer bitkiler tarafından salgılanan biyolojik aktif bileşiklerden etkilenebilmektedir. Nitekim Stefanello ve ark. (2024), *Melia azedarach* L. yaprak ekstraktlarının karabuğday ve *Cyperus iria* tohumlarının çimlenme ve erken gelişimi üzerindeki allelopatik etkisini %0, %25, %50, %75 ve %100 dozlarında inceledikleri çalışmalarında, %25 dozunun her iki tür üzerinde de belirgin bir etki oluşturduğunu; dolayısıyla farklı bitki özütlerinin karabuğday üzerinde belirgin doza bağlı allelopatik etkiler meydana getirebildiğini ortaya koymuşlardır. Bitki özütlerinin çimlenme ve fide gelişimi üzerindeki etkisinin kullanılan bitki türüne, özüt konsantrasyonuna ve test bitkisinin duyarlılığına bağlı olarak değişebildiği bildirilmektedir (Acar ve ark., 2019).

Bu bağlamda, şerbetçi otu özütünün karabuğdayın çimlenme ve erken fide gelişimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, hem *H. lupulus*'un potansiyel allelopatik özelliklerinin hem de karabuğdayın farklı bitki özütlerine karşı gösterdiği doz-yanıt davranışının ortaya konulması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, şerbetçi otu ekstraktının karabuğday tohumlarının çimlenme parametreleri ve erken fide gelişim özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikler (allelopatik etkiler) incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Allelopatik çalışmada kullanılan şerbetçi otu (*Humulus lupulus* L.) materyali, Bilecik ilinden temin edilmiştir. Bitki materyali hasat edildikten sonra laboratuvara getirilmiş ve ekstrakt hazırlanması amacıyla kullanılmıştır. Şerbetçi otu materyalinden 500 g tartılarak 3 litre saf su içerisinde 7 saat süreyle bekletilmiş ve elde edilen süzüntü %100'lük ekstrakt çözeltisi olarak kabul edilmiştir. Diğer deney gruplarında bu ekstrakt seyreltilerek %25, %50 ve %75'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Ekstraktlar, deney gerçekleşene kadar buzdolabında +4 °C sıcaklıkta saklanmıştır. Saf su ile sulanan örnekler kontrol (%0) grubunu oluşturmuştur. Çimlenme çalışmasında test bitkisi olarak karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench) tohumları kullanılmıştır.

Deneme, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama alanında bulunan laboratuvarda, Tesadüf Parselleri Deneme Desenine göre dört tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çimlenme denemelerinde karabuğday tohumları, petri kapları içinde ve iki kat kurutma kâğıdı üzerinde çimlendirilmiştir. Petri kapları içerisindeki tohumlar, şerbetçi otundan elde edilen ekstraktlar ile gün aşırı olacak şekilde sulanmış ve radikulanın kurutma kâğıdına değdiği an çimlenmenin başlangıcı olarak kabul edilmiştir. Deney, 25/23 °C sıcaklık, %60 bağıl nem ve 16/8 saat fotoperiyotta (16 saat aydınlık/8 saat karanlık) 21 gün boyunca devam etmiştir (Karakurt ve ark., 2010).

Çimlenme başladıktan sonra her gün çimlenen tohum sayıları kaydedilmiştir. Deney sonunda örneklere ait % çimlenme (ÇO), kök ve gövde uzunluğu, kök ve gövde yaş-kuru ağırlığı ölçülmüş; fide canlılık indeksi (FCİ), toplam çimlenme indeksi (TGİ), kök biyokütlesi (KB) ve gövde biyokütlesi (GB) hesaplanmıştır.
ÇO: ((Çimlenen tohum sayısı/Toplam tohum sayısı) × 100) (Kayaçetin ve ark., 2018).
FCİ: ((Kök uzunluğu + Gövde uzunluğu) × Çimlenme oranı) (Böhm, 1979).
TGİ: (Günlük çimlenen tohum sayısının, çimlenmeden itibaren geçen gün sayısına oranlanarak toplanması esasına dayanan kümülatif çimlenme indeksi) (Association of Official Seed Analysts [AOSA], 1983).
KB: ((Kuru kök ağırlığı × petri kabının alanı)/10^{-8}) (Işık ve Çalışeki, 2017).
GB: ((Kuru gövde ağırlığı × petri kabının alanı)/10^{-8}) (Işık ve Çalışeki, 2017).
Deneme sonunda elde edilen veriler, Tesadüf Parselleri Deneme Desenine uygun olarak SPSS 21.0 istatistik paket programında varyans analizine tabi tutulmuş, farklılıkların belirlenmesinde Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Karabuğday tohumlarının çimlenme oranı, kök-gövde uzunluğu, kök-gövde yaş-kuru ağırlığı, kök-gövde biyokütlesi, fide canlılık indeksi ve toplam çimlenme indeksi değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Çimlenme oranı (ÇO) hariç incelenen tüm özellikler bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak çok önemli ($p<0,01$) farklılıklar belirlenmiştir.

Tablo 1. Şerbetçi otu özütünün karabuğday tohumlarının çimlenme ve fide gelişim özellikleri üzerine etkisi

Dozlar	%0	%25	%50	%75	%100	Ortalama
ÇO	78.00	79.00	82.00	83.00	83.00	81.00
KU**	19.08a	19.83a	17.60ab	13.83bc	9.92c	16.05
GU**	9.42c	13.33a	13.67a	13.06a	11.00b	12.09
KY**	1.37b	1.30b	0.65c	1.70a	0.75c	1.15
GY**	0.89e	2.39a	2.30b	2.02c	1.68d	1.85
KK**	1.21a	0.19e	0.21d	0.24c	0.30b	0.43
GK**	0.51a	0.15b	0.16b	0.13c	0.14bc	0.22
KB**	31.46a	4.91e	5.53d	6.30c	7.71b	11.18
GB**	13.21a	3.98bc	4.08b	3.48d	3.61cd	5.67
FCİ**	133.79a	26.99d	30.26d	31.17c	36.08b	51.66
TGİ**	1488.50a	1569.33a	1443.20a	1143.11ab	821.00b	1293.03

**: $p<0,01$. Aynı satırda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur. ÇO: Çimlenme oranı (%); KU: Kök uzunluğu (cm); GU: Gövde uzunluğu (cm); KY: Kök yaş ağırlığı (g); GY: Gövde yaş ağırlığı (g); KK: Kök kuru ağırlığı (g); GK: Gövde kuru ağırlığı (g); KB: Kök biyomas; GB: Gövde biyomas; FCİ: Fide canlılık indeksi; TGİ: Toplam çimlenme indeksi.

Çimlenme oranı (ÇO) bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık belirlenmemiştir; değerler %78.00 (kontrol) ile %83.00 (%75 ve %100 dozları) arasında değişmiş, doz artışıyla birlikte hafif bir artış eğilimi gözlenmekle birlikte bu artış istatistiksel anlamlılığa ulaşmamıştır.

Kök uzunluğu (KU) bakımından en yüksek değerler kontrol (19.08 cm) ve %25 dozunda (19.83 cm) aynı istatistiksel grupta belirlenmiş, doz arttıkça kök uzunluğunda kademeli bir azalma gözlenmiş ve en düşük değere %100 dozunda (9.92 cm) ulaşılmıştır. Gövde uzunluğu (GU) bakımından ise en düşük değer kontrol grubunda (9.42 cm) kaydedilirken, %25-%75 dozları (13.33-13.06 cm) aynı istatistiksel grupta en yüksek değerleri vermiş, %100 dozunda gövde uzunluğu 11.00 cm'e gerilemiştir. Bu durum, düşük ve orta dozlardaki şerbetçi otu ekstraktının gövde uzamasını teşvik ederken, en yüksek dozun (%100) bu teşvik edici etkiyi kısmen sınırlandırdığını göstermektedir.

Kök yaş ağırlığı (KY) bakımından en yüksek değer %75 dozunda (1.70 g), en düşük değerler ise %50 (0.65 g) ve %100 (0.75 g) dozlarında belirlenmiştir. Gövde yaş ağırlığı (GY) bakımından en yüksek değere %25 dozunda (2.39 g) ulaşılmış, doz arttıkça değerler kademeli olarak azalmış ve en düşük değer kontrol grubunda (0.89 g) kaydedilmiştir.

Kök ve gövde kuru ağırlıkları (KK ve GK) kontrol grubunda en yüksek (sırasıyla 1.21 g ve 0.51 g) değerleri vermiş; KK bakımından en düşük değer %25 dozunda (0.19 g). GK bakımından ise en düşük değer %75 dozunda (0.13 g) belirlenmiştir. Benzer şekilde kök ve gövde biyokütlesi (KB. GB) en yüksek değerlerine kontrol grubunda (sırasıyla 31.46 ve 13.21) ulaşmış, ekstrakt uygulamaları biyokütle değerlerini önemli ölçüde azaltmıştır; en düşük KB değeri %25 dozunda (4.91), en düşük GB değeri ise %75 dozunda (3.48) kaydedilmiştir. Fide canlılık indeksi (FCİ) en yüksek kontrol grubunda (133.79), en düşük ise %25 dozunda (26.99) belirlenmiştir; doz arttıkça FCİ değerlerinde kademeli bir artış gözlenmiş, ancak kontrol grubunun gerisinde kalınmıştır.

Toplam çimlenme indeksi (TGİ) bakımından en yüksek değerler %25 (1569.33), kontrol (1488.50) ve %50 (1443.20) dozlarında aynı istatistiksel grupta belirlenmiş; %75 dozunda (1143.11) bir miktar azalma görülmüş, en düşük değere ise %100 dozunda (821.00) ulaşılmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, düşük ve orta dozlardaki (%25-%50) şerbetçi otu ekstraktının özellikle toplam çimlenme indeksi ve gövde uzunluğu üzerinde olumlu bir etki oluşturduğu, buna karşın kontrol grubunun kök-gövde kuru ağırlığı, biyokütle ve fide canlılık indeksi bakımından daha yüksek değerler verdiği görülmektedir. En yüksek doz (%100) ise kök uzunluğu ve toplam çimlenme indeksi bakımından belirgin bir sınırlayıcı etki göstermiştir. Bu bulgular, şerbetçi otu ekstraktının düşük-orta dozlarda karabuğday tohumlarının çimlenme ve erken gelişim sürecinin bazı bileşenlerini teşvik ederken, yüksek dozlarda özellikle biyokütle birikimi ve kök gelişimi bakımından- sınırlayıcı bir etki gösterebileceğine işaret etmektedir.

Mevcut sonuçlar, Stefanello ve ark. (2024) tarafından *Melia azedarach* yaprak özütü kullanılarak karabuğday üzerinde yürütülen allelopati çalışmasıyla karşılaştırıldığında benzer doz-bağımlı bir örüntü ortaya koymaktadır. Söz konusu çalışmada da %25 dozunun karabuğday tohumlarının çimlenmesi ve erken gelişimi üzerinde belirgin bir etki oluşturduğu bildirilmiştir. Mevcut çalışmada şerbetçi otu ekstraktının en olumlu etkiyi toplam çimlenme indeksi bakımından %25-%50 dozlarında göstermesi, farklı ekstrakt kaynaklarının aynı test bitkisi (karabuğday) üzerinde benzer düşük-doz teşvik edici örüntüler oluşturabildiğini, buna karşın en yüksek dozların (%75-%100) genel olarak sınırlayıcı bir role büründüğünü desteklemektedir.

Şerbetçi otu özütünün gözlenen bu doza bağlı etkisi, özütte bulunan biyolojik aktif bileşenlerle ilişkilendirilebilir. *H. lupulus* kozalaklarında yüksek oranda bulunan alfa-asitler (humulon, kohumulon), beta-asitler (lupulon) ve ksantohumol gibi prenillenmiş flavonoidlerin, bitkisel hücre büyümesi ve bölünmesi üzerinde çift yönlü etkiler gösterebildiği bilinmektedir (Korpelainen ve Pietiläinen, 2021).

Düşük ve orta konsantrasyonlarda bu bileşikler hücre zarı geçirgenliğini ve su alımını teşvik ederek çimlenme ve gövde uzamasını hızlandırabilirken, yüksek konsantrasyonlarda fenolik bileşiklerin oksidatif stres mekanizmalarını tetikleyerek kök gelişimini ve biyokütle birikimini sınırlandırabildiği bildirilmektedir (Zhang ve ark., 2011). Ayrıca karabuğdayın kendisinin de dokularında biriktirdiği fenolik bileşiklerin (Marusig ve ark., 2026), dışarıdan uygulanan şerbetçi otu kaynaklı fenolik bileşiklerle birlikte kümülatif bir stres etkisi oluşturarak yüksek dozlarda gözlenen sınırlayıcı etkiye katkıda bulunmuş olabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde Acar ve ark. (2019), *Bituminaria bituminosa* yaprak ekstraktlarının buğdayın çimlenme ve fide gelişimi üzerinde ekstrakt kaynağına ve uygulama düzeyine göre değişen etkiler oluşturduğunu bildirmiştir. Bu bulgular, bitki özütlerinin allelopatik etkisinin hem türe hem de doza bağlı olarak değişebildiğini destekler niteliktedir.

4. SONUÇ

Çalışmada, farklı dozlarda şerbetçi otu ekstraktı içeren çözeltilerle sulanan karabuğday örnekleri arasında -çimlenme oranı hariç- istatistiksel açıdan önemli değişimler olduğu belirlenmiştir. Düşük ve orta dozlardaki (%25-%50) şerbetçi otu ekstraktı, toplam çimlenme indeksi ve gövde uzunluğu bakımından diğer uygulamalara göre daha olumlu sonuçlar vermiştir; buna karşın kontrol grubu kök-gövde kuru ağırlığı, biyokütle ve fide canlılık indeksi bakımından daha yüksek değerler ortaya koymuş, en yüksek doz (%100) ise kök gelişimi ve toplam çimlenme indeksi bakımından belirgin bir sınırlayıcı etki göstermiştir. Bu bulgular, şerbetçi otu ekstraktının düşük-orta dozlarda karabuğday tohumlarının çimlenme ve erken gelişim sürecini teşvik edici bir biyostimülan potansiyeline sahip olduğunu, ancak yüksek dozlarda erken fide gelişiminin bazı bileşenleri -özellikle kök gelişimi ve biyokütle birikimi- üzerinde sınırlayıcı etki gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca mevcut bulguların, aynı test bitkisi (karabuğday) üzerinde farklı bir ekstrakt kaynağıyla (*Melia azedarach*) yürütülen önceki çalışmadan (Stefanello ve ark., 2024) elde edilen düşük doz teşvik edici örüntüyle genel hatlarıyla örtüşmesi, allelopatik etkinin hem ekstrakt kaynağına hem de test bitkisinin duyarlılığına bağlı olarak şekillendiğini ve her bir bitki-ekstrakt kombinasyonunun ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğini desteklemektedir.

KAYNAKÇA

Acar, Z., Leblebici, S., Gülümser, E., Can, M., Ayan, İ. (2019). The effect of leaf extracts in different growth periods of *Bituminaria bituminosa* (L.) C.H. Stirt. on some germination and seedling development parameters of wheat. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 22(Ek Sayı 1): 10-15. https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.546067.

Association of Official Seed Analysts (AOSA). (1983). Seed Vigor Testing Handbook. Contribution No. 32 to the Handbook on Seed Testing.

Atmaca, S., Şimşek, Ş., Kayaaslan, Z., Pekbey, G. (2021). Bazı bitki ekstraktlarının *Botrytis cinerea* Persoon ve *Sclerotinia sclerotiorum* (Libert) de Bary üzerindeki etkinliğinin belirlenmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 8(1): 1-8.

Böhm, W. (1979). Methods of Studying Root Systems. Springer-Verlag, Berlin, 200 pp.

Işık, G., Çalışeki, M. (2017). Ecophysiological Effects of Porsuk River's Water and Boron Mine Wastewater on *Cucumis sativus* L. Seeds. Acta Physica Polonica A, 132(3): 746-748.

Kadıoğlu, İ., Yanar, Y. (2004). Allelopathic effects of plant extracts against seed germination of some weeds. Asian Journal of Plant Sciences, 3(4): 472-475. https://doi.org/10.3923/ajps.2004.472.475.

Karakurt, H., Aslantaş, R., Eşitken, A. (2010). Tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerinde etkili olan çevresel faktörler ve bazı ön uygulamalar. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 24(2).

Kayaçetin, F., Efeoğlu, B., Alizadeh, B. (2018). Effect of NaCl and PEG-induced osmotic stress on germination and seedling growth properties in wild mustard (*Sinapis arvensis* L.). Anadolu Journal of Aegean Agricultural Research Institute, 28(1): 62-68.

Korpelainen, H., Pietiläinen, M. (2021). Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and present use, and future potential. Economic Botany, 75: 302-322. https://doi.org/10.1007/s12231-021-09528-1.

Marian, M., Voşgan, Z., Roşca-Mare, O., Mihalescu, L. (2017). Allelopathy relationship between plants and their use in organic farming. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 200: 012039. https://doi.org/10.1088/1757-899X/200/1/012039.

Marusig, D., Virili, A., Delle Vedove, G., Marraccini, E. (2026). The allelopathic potential of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) on common crops and weeds: insights from an in vitro and a pot experiment. Plant and Soil. https://doi.org/10.1007/s11104-026-08371-4.

Stefanello, R., Menna Barreto, R.A., Cervo, F.W., Da Silva, A.L. (2024). Contribution to the allelopathic study of *Melia azedarach* L. on the germination and initial growth of *Fagopyrum esculentum* Moench and *Cyperus iria* L. seeds. Gaia Scientia, 17(3): 108-117. https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2023v17n3.66577.

Yılar, M., Bayar, Y., Onaran, A. (2020). Bazı bitki patojeni funguslara karşı *Humulus lupulus* L. bitki ekstraktının antifungal aktivitesi. Bahçe, 49(Özel Sayı 1): 113-118.

Zhang, X.-H., Zhang, E.-H., Lang, D.-Y. (2011). Autotoxic compounds from rhizosphere soil of *Humulus lupulus* L.: Identification and biological activity. Agronomy Journal, 103(3): 695-701. https://doi.org/10.2134/agronj2010.0425.

FARKLI DOZLARDAKİ ŞERBETÇİ OTU EKSTRAKTLARININ MÜRDÜMÜK (*Lathyrus sativus* L.) TOHUMLARINDA ÇİMLENME VE ERKEN FİDE GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. Sema LEBLEBİCİ
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
ORCID: 0000-0002-3762-6408

Prof. Dr. Erdem GÜLÜMSER
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü
ORCID: 0000-0001-6291-3831

ÖZET

Bitkilerde sentezlenen ikincil metabolitler, çevrelerinde bulunan diğer bitkileri doğrudan veya dolaylı, olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Allelopati olarak tanımlanan bu etki, ikincil metabolit içeren bitki kısımlarının ortama bırakılmasıyla kendisinden sonra gelen türün çimlenme ve gelişim sürecini değiştirmektedir. Şerbetçi otu (*Humulus lupulus* L.), özellikle kozalaklarında bulunan reçineler, fenolik bileşikler ve flavonoidler bakımından zengin bir türdür. Çalışmanın test bitkisi olan mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) ise Fabaceae familyasına ait, kurağa ve marjinal toprak koşullarına dayanıklı, yüksek protein içeriğine sahip tek yıllık bir baklagil türüdür. Bu çalışmada, farklı konsantrasyonlarda (%0, %25, %50, %75 ve %100) hazırlanan şerbetçi otu ekstraktlarının mürdümük tohumlarının çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Bilecik ilinden temin edilen şerbetçi otu materyalinden 500 g tartılarak 3 litre saf su içerisinde 7 saat süreyle bekletilmiş ve %100'lük ekstrakt elde edilmiştir; bu ekstrakt seyreltilerek %25, %50 ve %75'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Saf su ile sulanan örnekler kontrol grubunu oluşturmuştur. Deneme, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi laboratuvarlarında Tesadüf Parselleri Deneme Desenine göre dört tekerrürlü olarak yürütülmüş; 25/23 °C sıcaklık, %60 nem ve 16/8 saat fotoperiyot koşullarında 21 gün sürdürülmüştür. Araştırma sonuçlarına göre, şerbetçi otu ekstraktı uygulamaları çimlenme ve fide gelişim özelliklerini istatistiksel olarak önemli düzeyde ($p<0.01$) etkilemiştir. Çimlenme oranı %84.00-97.00, kök uzunluğu 5.33-12.33 cm, gövde uzunluğu 4.67-11.00 cm, fide canlılık indeksi (FCİ) 82.13-231.84 ve toplam çimlenme indeksi (TGİ) 479.83-1194.83 arasında değişmiştir. Kök ve gövde kuru ağırlıkları ile kök ve gövde biyokütlesi bakımından en yüksek değerler kontrol grubunda, en düşük değerler ise %25 dozunda belirlenmiştir. Sonuç olarak, %75 dozundaki şerbetçi otu ekstraktı çimlenme oranı ve toplam çimlenme indeksi bakımından en başarılı sonucu verirken, kontrol grubu gövde uzunluğu, kuru ağırlık, biyokütle ve fide canlılık indeksi bakımından daha yüksek değerler ortaya koymuştur. Bu bulgular, şerbetçi otu ekstraktının uygun dozlarda mürdümük tohumlarının çimlenmesini teşvik edebileceğini, ancak erken fide gelişiminin bazı bileşenlerini sınırlandırabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Mürdümük, Şerbetçi Otu, Allelopati, Çimlenme, Fide Gelişimi

EFFECTS OF DIFFERENT DOSES OF HOP EXTRACTS ON GERMINATION AND EARLY SEEDLING GROWTH OF GRASS PEA (*Lathyrus sativus* L.)

ABSTRACT
Secondary metabolites synthesized in plants can affect surrounding plants directly or indirectly, positively or negatively. This effect, known as allelopathy, alters the germination and development of subsequent species through the release of plant parts containing secondary metabolites into the environment. Hop (*Humulus lupulus* L.) is particularly rich in resins, phenolic compounds, and flavonoids found in its cones. Grass pea (*Lathyrus sativus* L.), the test species of this study, is an annual legume of the Fabaceae family, tolerant to drought and marginal soil conditions, with a high protein content.In this study, the effects of hop extracts prepared at different concentrations (0%, 25%, 50%, 75%, and 100%) on the germination and early seedling growth of grass pea seeds were investigated. Hop plant material obtained from Bilecik province was weighed at 500 g and soaked in 3 liters of distilled water for 7 hours to obtain a 100% extract, which was then diluted to prepare 25%, 50%, and 75% solutions. Samples irrigated with distilled water constituted the control group. The experiment was conducted at Bilecik Şeyh Edebali University laboratories in a completely randomized design with four replications, and continued for 21 days at 25/23 °C, 60% humidity, and a 16/8-hour photoperiod. The results showed that hop extract applications had a statistically significant effect ($p<0.01$) on germination and seedling growth traits. Germination percentage ranged from 84.00 to 97.00%, root length from 5.33 to 12.33 cm, shoot length from 4.67 to 11.00 cm, seedling vigor index (SVI) from 82.13 to 231.84, and total germination index (TGI) from 479.83 to 1194.83. Root and shoot dry weights, as well as root and shoot biomass, were highest in the control group and lowest at the 25% dose. As a result, the 75% hop extract dose produced the most favorable germination percentage and total germination index, whereas the control group exhibited higher shoot length, dry weight, biomass, and seedling vigor index values. These findings suggest that hop extract, at appropriate doses, may promote grass pea seed germination while limiting certain components of early seedling growth.
Keywords: Grass Pea, Hop, Allelopathy, Germination, Seedling Growth

1. GİRİŞ
Allelopati, bir bitkinin çevresine saldığı biyolojik olarak aktif bileşikler aracılığıyla başka bitkilerin çimlenme ve gelişme süreçlerini olumlu veya olumsuz yönde etkilemesi olarak tanımlanmaktadır. Bitkilerden elde edilen farklı özütlerin tohum çimlenmesi, kök gelişimi ve fide büyümesi üzerinde önemli etkiler oluşturabildiği ve bu etkinin kullanılan bitki türüne ve özüt konsantrasyonuna göre değişebildiği bildirilmektedir (Kadıoğlu ve Yanar, 2004). Bu nedenle bitki özütlerinin allelopatik özelliklerinin belirlenmesi, türler arasındaki biyokimyasal etkileşimlerin ortaya konulması ve doğal kaynaklı biyolojik aktivite gösteren materyallerin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.
Şerbetçi otu (*Humulus lupulus* L.), özellikle kozalaklarında bulunan reçineler, fenolik bileşikler, flavonoidler ve diğer sekonder metabolitler bakımından zengin bir bitkidir. Bu bileşiklerin farklı biyolojik aktivitelere sahip olduğu ve *H. lupulus* özütlerinin biyolojik olarak aktif özellikler gösterdiği bildirilmiştir (Korpelainen ve Pietiläinen, 2021; Yılar ve ark., 2020). Farklı bitki ekstraktlarının biyolojik aktivitelerinin değerlendirildiği çalışmalarda, bitki özütlerinin mikroorganizmalar ve diğer biyolojik sistemler üzerinde önemli etkiler oluşturabildiği bildirilmiştir (Atmaca ve ark., 2021).

Şerbetçi otu özütünün allelopatik potansiyelini doğrudan değerlendiren bir çalışmada, *H. lupulus* özütünün mısır (*Zea mays* L.) ve fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) tohumlarının çimlenmesi ve fide gelişimi üzerinde etkili olduğu; farklı özüt konsantrasyonlarının her iki türün çimlenme ve fide gelişim dinamiklerini değiştirdiği bildirilmiştir (Marian ve ark., 2017). Ayrıca, şerbetçi otu rizosferinden elde edilen ekstraktlarda biyolojik aktif bileşiklerin belirlenmiş olması, *H. lupulus*'un bitkiler arası kimyasal etkileşimler bakımından da dikkate değer bir tür olduğunu göstermektedir (Zhang ve ark., 2011).

Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.), Fabaceae familyasının *Lathyrus* cinsine ait, tek yıllık otsu bir baklagil türüdür. Kurağa, taşkına ve marjinal toprak koşullarına yüksek toleransı ile bilinen bitki, düşük girdi gereksinimi ve azot fiksasyonu yeteneği sayesinde özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Baklagil türlerinin çimlenme ve erken fide gelişimleri, çevrede bulunan veya diğer bitkiler tarafından salgılanan biyolojik aktif bileşiklerden etkilenebilmektedir. Nitekim Leblebici ve ark. (2024), yem şalgamı (*Brassica rapa* L.) ekstraktlarının mürdümük tohumlarının çimlenme ve fide gelişimi üzerindeki allelopatik etkisini inceledikleri çalışmalarında, düşük dozların (%25) mürdümük gelişimini olumlu, daha yüksek dozların ise olumsuz yönde etkilediğini; dolayısıyla farklı bitki özütlerinin mürdümük üzerinde belirgin doza bağlı allelopatik etkiler oluşturabildiğini ortaya koymuşlardır. Bitki özütlerinin çimlenme ve fide gelişimi üzerindeki etkisinin kullanılan bitki türüne, özüt konsantrasyonuna ve test bitkisinin duyarlılığına bağlı olarak değişebildiği bildirilmektedir (Acar ve ark., 2019).

Bu bağlamda, şerbetçi otu özütünün mürdümüğün çimlenme ve erken fide gelişimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, hem *H. lupulus*'un potansiyel allelopatik özelliklerinin hem de mürdümüğün farklı bitki özütlerine karşı gösterdiği doz-yanıt davranışının ortaya konulması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, şerbetçi otu ekstraktının mürdümük tohumlarının çimlenme parametreleri ve erken fide gelişim özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikler (allelopatik etkiler) incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Allelopatik çalışmada kullanılan şerbetçi otu (*Humulus lupulus* L.) materyali, Bilecik ilinden temin edilmiştir. Bitki materyali hasat edildikten sonra laboratuvara getirilmiş ve ekstrakt hazırlanması amacıyla kullanılmıştır. Şerbetçi otu materyalinden 500 g tartılarak 3 litre saf su içerisinde 7 saat süreyle bekletilmiş ve elde edilen süzüntü %100'lük ekstrakt çözeltisi olarak kabul edilmiştir. Diğer deney gruplarında bu ekstrakt seyreltilerek %25, %50 ve %75'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Ekstraktlar, deney gerçekleşene kadar buzdolabında +4 °C sıcaklıkta saklanmıştır. Saf su ile sulanan örnekler kontrol (%0) grubunu oluşturmuştur. Çimlenme çalışmasında test bitkisi olarak mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) tohumları kullanılmıştır.

Deneme, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama alanında bulunan laboratuvarda, Tesadüf Parselleri Deneme Desenine göre dört tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çimlenme denemelerinde mürdümük tohumları, petri kapları içinde ve iki kat kurutma kâğıdı üzerinde çimlendirilmiştir. Petri kapları içerisindeki tohumlar, şerbetçi otundan elde edilen ekstraktlar ile gün aşırı olacak şekilde sulanmış ve radikulanın kurutma kâğıdına değdiği an çimlenmenin başlangıcı olarak kabul edilmiştir. Deney, 25/23 °C sıcaklık, %60 bağıl nem ve 16/8 saat fotoperiyotta (16 saat aydınlık/8 saat karanlık) 21 gün boyunca devam etmiştir (Karakurt ve ark., 2010). Çimlenme başladıktan sonra her gün çimlenen tohum sayıları kaydedilmiştir. Deney sonunda örneklere ait % çimlenme (ÇO), kök ve gövde uzunluğu, kök ve gövde yaş-kuru ağırlığı ölçülmüş; fide canlılık indeksi (FCİ), toplam çimlenme indeksi (TGİ), kök biyokütlesi (KB) ve gövde biyokütlesi (GB) hesaplanmıştır.

ÇO: ((Çimlenen tohum sayısı/Toplam tohum sayısı) × 100) (Kayaçetin ve ark., 2018).

FCİ: ((Kök uzunluğu + Gövde uzunluğu) × Çimlenme oranı) (Böhm, 1979).

TGİ: (Günlük çimlenen tohum sayısının, çimlenmeden itibaren geçen gün sayısına oranlanarak toplanması esasına dayanan kümülatif çimlenme indeksi) (Association of Official Seed Analysts [AOSA], 1983).
KB: ((Kuru kök ağırlığı × petri kabının alanı)/10^{-8}) (Işık ve Çalışeki, 2017).
GB: ((Kuru gövde ağırlığı × petri kabının alanı)/10^{-8}) (Işık ve Çalışeki, 2017).
Deneme sonunda elde edilen veriler, Tesadüf Parselleri Deneme Desenine uygun olarak SPSS 21.0 istatistik paket programında varyans analizine tabi tutulmuş, farklılıkların belirlenmesinde Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Mürdümük tohumlarının çimlenme oranı, kök-gövde uzunluğu, kök-gövde yaş-kuru ağırlığı, kök-gövde biyokütlesi, fide canlılık indeksi ve toplam çimlenme indeksi değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Kök ve gövde yaş ağırlığı (KY, GY) hariç incelenen tüm özellikler bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak çok önemli ($p<0,01$) farklılıklar belirlenmiştir.
Çimlenme oranı (ÇO) en düşük kontrol grubunda (%84,00) belirlenirken, doz artışıyla birlikte %75 dozunda en yüksek değere (%97,00) ulaşmış, %100 dozunda ise hafif bir azalmayla %95,00 olarak kaydedilmiştir. Bu durum, düşük ve orta dozlardaki (%25-%75) şerbetçi otu ekstraktının çimlenmeyi teşvik edici, en yüksek dozun (%100) ise bu teşvik edici etkiyi kısmen sınırlandırdığını göstermektedir.
Kök uzunluğu (KU) bakımından en yüksek değer %75 dozunda (12,33 cm), en düşük değer ise %25 dozunda (5,33 cm) elde edilmiştir; kontrol grubu (9,25 cm) ile %100 dozu (9,33 cm) istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Gövde uzunluğu (GU) bakımından ise en yüksek değere kontrol grubunda (11,00 cm) ulaşılmış, tüm ekstrakt dozları kontrole göre daha düşük gövde uzunluğu vermiştir; en düşük değer %25 dozunda (4,67 cm) belirlenmiştir.
Kök ve gövde kuru ağırlıkları (KK, GK) kontrol grubunda en yüksek (sırasıyla 1,96 g ve 0,81 g), %25 dozunda en düşük (sırasıyla 0,73 g ve 0,18 g) değerleri vermiş, doz arttıkça bu değerlerde kademeli bir artış eğilimi gözlenmiştir. Benzer şekilde kök ve gövde biyokütlesi (KB, GB) en yüksek değerlerine kontrol grubunda (sırasıyla 50,91 ve 20,96) ulaşmış, ekstrakt uygulamaları biyokütle değerlerini önemli ölçüde azaltmıştır; en düşük değerler %25 dozunda (KB: 18,97; GB: 4,78) belirlenmiştir. Fide canlılık indeksi (FCİ) en yüksek kontrol grubunda (231,84), en düşük ise %25 dozunda (82,13) kaydedilmiştir; doz arttıkça FCİ değerlerinde kademeli bir artış gözlenmiş, ancak kontrol grubunun gerisinde kalınmıştır. Toplam çimlenme indeksi (TGİ) bakımından ise en yüksek değere %75 dozunda (1194,83) ulaşılmış, bu değeri %100 dozu (885,33) ve kontrol grubu (777,00) izlemiştir; en düşük TGİ değeri %25 dozunda (479,83) belirlenmiştir.
Genel olarak değerlendirildiğinde, %75 dozundaki şerbetçi otu ekstraktının özellikle çimlenme oranı ve toplam çimlenme indeksi üzerinde olumlu bir etki oluşturduğu, buna karşın kontrol grubunun gövde uzunluğu, kök-gövde kuru ağırlığı, biyokütle ve fide canlılık indeksi bakımından daha yüksek değerler verdiği görülmektedir. Bu bulgular, şerbetçi otu ekstraktının mürdümük tohumlarının çimlenme sürecini teşvik ederken, erken fide gelişiminin bazı bileşenlerini -özellikle biyokütle birikimini- dozdan bağımsız olarak sınırlandırabileceğine işaret etmektedir.
Mevcut sonuçlar, Leblebici ve ark. (2024) tarafından yem şalgamı (*Brassica rapa* L.) özütü kullanılarak mürdümük üzerinde yürütülen allelopati çalışmasıyla karşılaştırıldığında dikkat çekici farklılıklar ortaya koymaktadır. Söz konusu çalışmada yem şalgamı ekstraktının mürdümük tohumlarında çimlenme oranını %72,00-96,00 aralığında değiştirdiği, en olumlu etkinin %25 dozunda görüldüğü ve bu dozun ötesinde ekstraktın inhibitör bir role büründüğü bildirilmiştir.

Mevcut çalışmada ise şerbetçi otu ekstraktının en olumlu etkiyi çimlenme oranı ve toplam çimlenme indeksi bakımından %75 dozunda göstermesi, farklı ekstrakt kaynaklarının aynı test bitkisi (mürdümük) üzerinde belirgin şekilde farklı doz-yanıt profilleri oluşturabildiğini, dolayısıyla allelopatik etkinin ekstrakt kaynağındaki sekonder metabolit profiline bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Şerbetçi otu özütünün gözlenen bu doza bağlı etkisi, özütte bulunan biyolojik aktif bileşenlerle ilişkilendirilebilir. *H. lupulus* kozalaklarında yüksek oranda bulunan alfa-asitler (humulon, kohumulon), beta-asitler (lupulon) ve ksantohumol gibi prenillenmiş flavonoidlerin, bitkisel hücre büyümesi ve bölünmesi üzerinde çift yönlü etkiler gösterebildiği bilinmektedir (Korpelainen ve Pietiläinen, 2021). Düşük ve orta konsantrasyonlarda bu bileşikler hücre zarı geçirgenliğini ve su alımını teşvik ederek çimlenmeyi hızlandırabilirken, yüksek konsantrasyonlarda fenolik bileşiklerin oksidatif stres mekanizmalarını tetikleyerek biyokütle birikimini sınırlandırabildiği bildirilmektedir (Zhang ve ark., 2011). Benzer şekilde Acar ve ark. (2019), *Bituminaria bituminosa* yaprak ekstraktlarının buğdayın çimlenme ve fide gelişimi üzerinde ekstrakt kaynağına ve uygulama düzeyine göre değişen etkiler oluşturduğunu bildirmiştir. Bu bulgular, bitki özütlerinin allelopatik etkisinin hem türe hem de doza bağlı olarak değişebildiğini destekler niteliktedir.

Tablo 1. Şerbetçi otu özütünün mürdümük tohumlarının çimlenme ve fide gelişim özellikleri üzerine etkisi

Dozlar	**%0**	**%25**	**%50**	**%75**	**%100**	***Ortalama***
ÇO**	84,00d	90,00c	94,00b	97,00a	95,00b	*92,00*
KU**	9,25b	5,33c	6,58c	12,33a	9,33b	*8,57*
GU**	11,00a	4,67d	6,83b	5,50c	6,42b	*6,88*
KY	8,04	4,79	6,67	9,33	9,61	*7,69*
GY	4,71	1,55	2,61	3,24	3,48	*3,12*
KK**	1,96a	0,73d	0,91cd	1,09c	1,58b	*1,25*
GK**	0,81a	0,18e	0,23d	0,27c	0,34b	*0,37*
KB**	50,91a	18,97d	23,76cd	28,42c	41,13b	*32,64*
GB**	20,96a	4,78e	6,03d	7,15c	8,80b	*9,54*
FCİ**	231,84a	82,13e	107,54d	132,50c	182,12b	*147,23*
TGİ**	777,00bc	479,83d	618,83cd	1194,83a	885,33b	*971,17*

**: $p<0.01$. Aynı satırda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur. ÇO: Çimlenme oranı (%); KU: Kök uzunluğu (cm); GU: Gövde uzunluğu (cm); KY: Kök yaş ağırlığı (g); GY: Gövde yaş ağırlığı (g); KK: Kök kuru ağırlığı (g); GK: Gövde kuru ağırlığı (g); KB: Kök biyomas; GB: Gövde biyomas; FCİ: Fide canlılık indeksi; TGİ: Toplam çimlenme indeksi.

4. SONUÇ

Çalışmada, farklı dozlarda şerbetçi otu ekstraktı içeren çözeltilerle sulanan mürdümük örnekleri arasında istatistiksel açıdan önemli değişimler olduğu belirlenmiştir. %75 dozundaki şerbetçi otu ekstraktı, çimlenme oranı ve toplam çimlenme indeksi bakımından diğer uygulamalara göre daha olumlu sonuçlar vermiştir; buna karşın kontrol grubu gövde uzunluğu, kök-gövde kuru ağırlığı, biyokütle ve fide canlılık indeksi bakımından daha yüksek değerler ortaya koymuştur. Bu bulgular, şerbetçi otu ekstraktının uygun dozda (%75) mürdümük tohumlarının çimlenmesini teşvik edici bir biyostimülan potansiyeline sahip olduğunu, ancak erken fide gelişiminin bazı bileşenleri üzerinde sınırlayıcı etki gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca mevcut bulguların, aynı test bitkisi (mürdümük) üzerinde farklı ekstrakt kaynağıyla (yem şalgamı) yürütülen önceki çalışmadan (Leblebici ve ark., 2024) belirgin şekilde farklılaşması, allelopatik etkinin ekstrakt kaynağına özgü olduğunu ve her bir bitki-ekstrakt kombinasyonunun ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

Acar, Z., Leblebici, S., Gülümser, E., Can, M., Ayan, İ. (2019). The effect of leaf extracts in different growth periods of *Bituminaria bituminosa* (L.) C.H. Stirt. on some germination and seedling development parameters of wheat. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 22(Ek Sayı 1): 10-15. https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.546067.

Association of Official Seed Analysts (AOSA). (1983). Seed Vigor Testing Handbook. Contribution No. 32 to the Handbook on Seed Testing.

Atmaca, S., Şimşek, Ş., Kayaaslan, Z., Pekbey, G. (2021). Bazı bitki ekstraktlarının *Botrytis cinerea* Persoon ve *Sclerotinia sclerotiorum* (Libert) de Bary üzerindeki etkinliğinin belirlenmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 8(1): 1-8.

Böhm, W. (1979). Methods of Studying Root Systems. Springer-Verlag, Berlin, 200 pp.

Ghiyasi, M., Özdemir, F.A., Amirnia, R., Tajbakhsh, M., Rahimi, A. (2016). Kolza (*Brassica napus* L.) tohumlarında çimlenme ve anormal çim oranı üzerine, *Chenopodium album* L.'un allelopatik etkisi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 225-228.

Işık, G., Çalışeki, M. (2017). Ecophysiological Effects of Porsuk River's Water and Boron Mine Wastewater on Cucumis Sativus L. Seeds. Acta Physica Polonica A, 132(3): 746-748.

Kadıoğlu, İ., Yanar, Y. (2004). Allelopathic effects of plant extracts against seed germination of some weeds. Asian Journal of Plant Sciences, 3(4): 472-475. https://doi.org/10.3923/ajps.2004.472.475.

Karakurt, H., Aslantaş, R., Eşitken, A. (2010). Tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerinde etkili olan çevresel faktörler ve bazı ön uygulamalar. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 24(2).

Kayaçetin, F., Efeoğlu, B., Alizadeh, B. (2018). Effect of NaCl and PEG-induced osmotic stress on germination and seedling growth properties in wild mustard (*Sinapis arvensis* L.). Anadolu Journal of Aegean Agricultural Research Institute, 28(1): 62-68.

Korpelainen, H., Pietiläinen, M. (2021). Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and present use, and future potential. Economic Botany, 75: 302-322. https://doi.org/10.1007/s12231-021-09528-1.

Leblebici, S., Başaran, U., Gülümser, E. (2024). Yem şalgamının mürdümük tohumlarının çimlenme ve fide gelişimi üzerinde allelopatik etkisi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14(4): 1761-1767. https://doi.org/10.21597/jist.1492586.

Marian, M., Voşgan, Z., Roşca-Mare, O., Mihalescu, L. (2017). Allelopathy relationship between plants and their use in organic farming. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 200: 012039. https://doi.org/10.1088/1757-899X/200/1/012039.

Yıldız, E. (2019). Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitki Ekstraktlarının Allelopatik Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu Üniversitesi, Ordu.

Yılar, M., Bayar, Y., Onaran, A. (2020). Bazı bitki patojeni funguslara karşı *Humulus lupulus* L. bitki ekstraktının antifungal aktivitesi. Bahçe, 49(Özel Sayı 1): 113-118.

Zeren, H. (2015). Bazı tıbbi bitki ekstraklarının ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) tohumlarının çimlenme ve gelişmeleri üzerine allelopatik etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Gaziantep.

Zhang, X.-H., Zhang, E.-H., Lang, D.-Y. (2011). Autotoxic compounds from rhizosphere soil of *Humulus lupulus* L.: Identification and biological activity. Agronomy Journal, 103(3): 695-701. https://doi.org/10.2134/agronj2010.0425.

İNSAN POSTMORTEM BEYİN DOKUSUNDA MİKRO- VE NANOPLASTİK BİRİKİMİ

Tuğba Betül TEMİREL
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0003-3648-6735

Prof. Dr. Serap YALÇIN AZARKAN
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Farmakoloji Anabilim Dalı
ORCID: 0000-0002-9584-266X

ÖZET

Mikroplastikler (MP) ve nanoplastikler (NP), çevrede yaygın olarak bulunan ve insan maruziyetinin giderek daha fazla araştırıldığı plastik partikülleridir. Son yıllarda bu partiküllerin gastrointestinal sistem, akciğer ve dolaşım sistemi gibi dokuların yanı sıra merkezi sinir sistemine (MSS) ulaşabileceğine ilişkin deneysel kanıtlar artmıştır. Bununla birlikte, insan beynindeki mikro- ve nanoplastik varlığına ilişkin doğrudan kanıtlar yakın zamana kadar oldukça sınırlı kalmıştır. Bu derlemede, mikro- ve nanoplastiklerin merkezi sinir sistemine ulaşma yolları, insan postmortem beyin dokularında saptanmalarına ilişkin güncel bulgular, deneysel modellerde ortaya konan nörotoksik etkiler ve olası mekanizmalar değerlendirilmiştir.

Güncel insan çalışmaları, mikro- ve nanoplastiklerin postmortem insan beyin dokularında saptanabildiğini ve bazı örneklerde önemli düzeylerde birikim gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Özellikle frontal korteks, olfaktör bulbus ve dorsolateral prefrontal korteks gibi farklı beyin bölgelerinden elde edilen postmortem örneklerde plastik partiküllerin varlığı gösterilmiştir. Nihart ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada insan postmortem frontal korteks dokularında plastik partiküller saptanmış, beyin dokusundaki yükün zaman içerisinde arttığı ve demans tanısı bulunan bireylerde daha yüksek düzeylere ulaşabildiği bildirilmiştir.

Deneysel çalışmalar ise mikro- ve nanoplastiklerin kan-beyin bariyerini etkileyebildiğini, oksidatif stres, nöroinflamasyon, mitokondriyal disfonksiyon, nöronal hasar ve sinaptik bozukluklara yol açabildiğini göstermektedir. Ancak, mevcut bulgular, insan beyninin mikro- ve nanoplastik maruziyetinin önemli bir hedef organı olabileceğini düşündürmekte ve bu alanda standardize edilmiş insan çalışmalarına duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: mikroplastik, nanoplastik, postmortem beyin, merkezi sinir sistemi, nörotoksisite, kan-beyin bariyeri, nöroinflamasyon, demans

MICRO- AND NANOPLASTIC ACCUMULATION IN HUMAN POSTMORTEM BRAIN TISSUE

ABSTRACT

Microplastics (MPs) and nanoplastics (NPs) are plastic particles widely found in the environment, and human exposure to them is an area of increasing research. In recent years, experimental evidence has mounted suggesting that these particles can reach the central nervous system (CNS) in addition to tissues such as the gastrointestinal tract, lungs, and circulatory system. However, direct evidence regarding the presence of micro- and nanoplastics in the human brain has remained quite limited until recently.

This review evaluates the pathways by which micro- and nanoplastics reach the central nervous system, current findings regarding their detection in human postmortem brain tissues, neurotoxic effects demonstrated in experimental models, and potential underlying mechanisms. Recent human studies reveal that micro- and nanoplastics can be detected in postmortem human brain tissues and, in some samples, accumulate at significant levels. Specifically, the presence of plastic particles has been demonstrated in postmortem samples obtained from various brain regions, such as the frontal cortex, olfactory bulb, and dorsolateral prefrontal cortex. A study by Nihart et al. (2025) detected plastic particles in human postmortem frontal cortex tissues and reported that the plastic burden in brain tissue increases over time and can reach higher levels in individuals diagnosed with dementia. Meanwhile, experimental studies indicate that micro- and nanoplastics can affect the blood-brain barrier and lead to oxidative stress, neuroinflammation, mitochondrial dysfunction, neuronal damage, and synaptic impairments. Nevertheless, current findings suggest that the human brain may be a significant target organ for micro- and nanoplastic exposure, highlighting the need for standardized human studies in this field. **Keywords:** microplastic, nanoplastic, postmortem brain, central nervous system, neurotoxicity, blood-brain barrier, neuroinflammation, dementia

GİRİŞ

Plastik üretimindeki hızlı artış, çevrede giderek daha fazla miktarda mikroplastik ve nanoplastik oluşmasına neden olmuştur. Mikroplastikler genel olarak 5 mm'den küçük plastik partiküller olarak tanımlanırken nanoplastikler çoğunlukla 1–1000 nm aralığındaki plastik partikülleri ifade etmektedir. Bu partiküllerin boyutlarının küçülmesi, biyolojik bariyerleri aşabilme ve farklı organlara taşınabilme potansiyellerini artırmaktadır (Liu et al., 2024).

İnsanların mikro- ve nanoplastiklere maruziyeti başlıca oral, inhalasyon ve dermal yollarla gerçekleşmektedir. Dolaşıma geçen partiküller farklı organlara taşınabilmekte ve deneysel çalışmalar özellikle küçük boyutlu partiküllerin çeşitli biyolojik bariyerleri aşabildiğini göstermektedir.

Merkezi sinir sistemi, anatomik olarak kan-beyin bariyeri (BBB), kan-beyin-omurilik sıvısı bariyeri ve diğer koruyucu mekanizmalar tarafından büyük ölçüde korunmaktadır. Buna rağmen, deneysel çalışmalar mikro- ve nanoplastiklerin bu bariyerleri etkileyebileceğini veya bazı koşullarda aşabileceğini göstermektedir (Shan et al., 2022; Liu et al., 2024).

Bu noktada literatürde önemli bir ayrım yapılması gerekmektedir: İnsanlarda beyin dokusundaki mikro- ve nanoplastiklere ilişkin doğrudan kanıtların önemli bölümü canlı bireylerden alınmış beyin dokusuna değil, postmortem/otopsi materyaline dayanmaktadır. Dolayısıyla mevcut kanıtlar "insan beyninde yaşam sırasında mikroplastik birikimi kesin olarak gösterilmiştir" şeklinde değil, "insan postmortem beyin dokularında mikro- ve nanoplastikler saptanmıştır" şeklinde ifade edilmelidir.

GELİŞME

2. Mikro- Ve Nanoplastiklerin Merkezi Sinir Sistemine Ulaşma Yolları

Mikro- ve nanoplastiklerin MSS'ye ulaşmasında birden fazla mekanizmanın rol oynayabileceği düşünülmektedir. Bunların başında sistemik dolaşım yoluyla kan-beyin bariyerinin aşılması gelmektedir.

Shan ve ark. (2022), 50 nm boyutundaki polistiren nanoplastiklerin fare beyninde birikebildiğini ve BBB geçirgenliğini artırabildiğini göstermiştir. İn vitro deneylerde ise oksidatif stres, NF-κB aktivasyonu, TNF-α artışı ve sıkı bağlantı proteinlerinde bozulma gözlenmiştir.

Jin ve ark. (2022) tarafından farelerde gerçekleştirilen uzun süreli maruziyet çalışmasında da polistiren mikroplastiklerin beyin dokusunda biriktiği, BBB bütünlüğünün bozulduğu, hipokampal inflamasyon ve dendritik diken yoğunluğunda azalma ile birlikte bilişsel ve bellek fonksiyonlarında bozulma meydana geldiği bildirilmiştir.
Bunun yanında olfaktör yolun da özellikle küçük boyutlu partiküller açısından önemli olabileceği ileri sürülmektedir. Olfaktör bulbusun doğrudan dış çevreyle bağlantılı olması nedeniyle, inhalasyon yoluyla alınan küçük partiküllerin burun–beyin yolu üzerinden merkezi sinir sistemine ulaşabileceği düşünülmektedir.

3. İnsan Postmortem Beyin Dokusunda Mikro- Ve Nanoplastiklerin Saptanması

İnsanlarda mikro- ve nanoplastiklerin beyin dokusundaki varlığına ilişkin en önemli gelişme, son yıllarda gerçekleştirilen postmortem çalışmalar olmuştur.
Nihart ve ark. (2025), farklı yıllarda elde edilen insan postmortem karaciğer, böbrek ve frontal korteks örneklerini incelemiş ve plastik partiküllerin varlığını pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (Py-GC/MS), ATR-FTIR ve elektron mikroskopisi/EDS gibi tamamlayıcı yöntemlerle değerlendirmiştir. Beyin örneklerinde çoğunlukla polietilen (PE) olmak üzere çeşitli plastikler saptanmış ve partiküllerin önemli bölümünün nanoskopik, parçalı yapıda olduğu bildirilmiştir.
Çalışmada farklı zaman noktalarındaki örneklerin karşılaştırılması, beyin dokusundaki plastik yükünün zaman içerisinde arttığını düşündürmüştür. 2016 ve 2024 örnekleri arasında beyin ve karaciğer plastik konsantrasyonlarında anlamlı bir artış bildirilmiş ($P = .01$), ayrıca demans tanısı bulunan bireylerde daha yüksek beyin plastik yükleri gözlenmiştir.
Daha eski dönemlere ait örneklerin değerlendirildiği analizlerde frontal korteks dokusunda toplam plastik miktarı için medyan 1.254 µg/g düzeyi bildirilmiş, demans tanısı bulunan 12 bireyde ise medyan değer 26.076 µg/g olarak raporlanmıştır. Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < .0001$). Bununla birlikte araştırmacılar bu ilişkinin nedensel olarak yorumlanamayacağını açıkça belirtmiştir.
Bu sonuçlar oldukça dikkat çekici olmakla birlikte, demans grubundaki yüksek plastik yükünün demansa neden olduğunu veya demansın plastik birikimini artırdığını göstermemektedir. Olası ilişkinin yönünü ortaya koyabilmek için longitudinal ve klinik olarak karakterize edilmiş insan çalışmalarına ihtiyaç vardır.

3.1. Diğer Postmortem Beyin Çalışmaları

Amato-Lourenço ve ark. (2024), 15 postmortem olfaktör bulbus örneğini mikro-Fourier dönüşümlü kızılötesi (µFTIR) spektroskopisi ile incelemiş ve 8 bireyin örneklerinde mikroplastik saptamıştır. Toplam 16 sentetik polimer partikül/lif tanımlanmış, en sık saptanan polimer polipropilen (%43,8) olmuştur. Bu bulgu, özellikle olfaktör sistemin mikro- ve nanoplastiklerin merkezi sinir sistemine ulaşmasında potansiyel bir giriş yolu olabileceği hipotezini destekleyen insan verilerinden biri olarak değerlendirilebilir.
Dzierżyński ve ark. (2025) ise postmortem çoklu organ örneklerini ileri görüntüleme ve spektroskopik yöntemlerle incelemiştir. Çalışmada beyin dahil olmak üzere farklı organlarda plastik partiküller gösterilmiş, beyin beyaz cevherine ait incelenen örnekte 24,4 MP/g düzeyinde plastik yükü bildirilmiştir. Bununla birlikte beyin örneğinin tek bireye ait olması ($n = 1$), bu çalışmanın grup düzeyinde nicel karşılaştırmalarda kullanılmasını önemli ölçüde sınırlandırmaktadır.
Bu nedenle söz konusu çalışma, insan beyninde plastiklerin bulunabileceğine ilişkin destekleyici postmortem kanıt olarak değerlendirilmeli, ancak meta-analitik bir konsantrasyon tahminine dahil edilmemelidir.

Bu ve ark. (2026), merkezi sinir sistemi hastalığı bulunmayan bireylerden elde edilen 12 postmortem dorsolateral prefrontal korteks örneğinde Py-GC/MS ile mikro- ve nanoplastikleri nicel olarak değerlendirmiştir. İnsan beyin örneklerinde toplam mikro- ve nanoplastik konsantrasyonu 32,81 ± 14,24 µg/g (ortalama ± standart sapma) olarak bildirilmiş; polietilen ve polivinil klorür beyin dokusunda öne çıkan polimerler arasında yer almıştır.
Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, insan postmortem beyin dokusunda plastik partiküllerin bulunmasına ilişkin kanıtların artık tek bir çalışmayla sınırlı olmadığı görülmektedir.

4. İnsan Beyin Omurilik Sıvısında Mikro- Ve Nanoplastikler

Postmortem beyin dokusu çalışmalarından ayrı olarak, mikro- ve nanoplastiklerin insan merkezi sinir sistemine ulaşabileceğine ilişkin önemli bir diğer kanıt grubu beyin omurilik sıvısı (BOS/CSF) çalışmalarından gelmektedir.
Xie ve ark. (2024), 28 insan CSF örneğini incelemiş ve polistiren, polietilen, polipropilen ve PVC dahil olmak üzere çeşitli plastik türlerinin insan MSS'sine ulaşabildiğini bildirmiştir. Ayrıca PP ve PE düzeyleri ile CSF albümin indeksi arasında pozitif korelasyon saptanmıştır.
Bu çalışma postmortem beyin dokusu çalışması değildir ve bu nedenle postmortem beyin kanıtlarıyla aynı tablo altında değerlendirilmemelidir. Bununla birlikte, insanlarda mikro- ve nanoplastiklerin merkezi sinir sistemiyle ilişkili biyolojik kompartımanlarda bulunabileceğini göstermesi bakımından tamamlayıcı öneme sahiptir.

5. Mikro- Ve Nanoplastiklerin Beyindeki Olası Nörotoksik Mekanizmaları

İnsan postmortem çalışmalarının temel olarak “varlık ve birikim” sorusuna yanıt verdiği, toksikolojik mekanizmaların ise büyük ölçüde deneysel modellerden elde edildiği unutulmamalıdır.

5.1. Oksidatif Stres

Mikro- ve nanoplastik maruziyetinin reaktif oksijen türlerinin üretimini artırabileceği ve antioksidan savunma sistemlerini bozabileceği bildirilmiştir. Bu durum lipid peroksidasyonu, protein hasarı ve DNA hasarı ile sonuçlanabilmektedir.
Özellikle küçük boyutlu nanoplastiklerin hücre içine daha kolay alınabilmesi nedeniyle oksidatif stres açısından daha yüksek biyolojik aktivite gösterebileceği düşünülmektedir.

5.2. Nöroinflamasyon Ve Mikroglia Aktivasyonu

Mikroglia, MSS'nin temel immün hücreleridir ve çevresel stresörlere yanıt olarak aktive olabilir. Shan ve ark. (2022), polistiren nanoplastik maruziyeti sonrasında fare beyninde mikroglia aktivasyonu ve inflamatuvar yanıt gözlemiştir.
Park ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen cerebral organoid ve fare çalışmasında ise nanoplastik maruziyetinin inflamatuvar yanıt, DNA hasarı ve apoptotik süreçlerle ilişkili olduğu gösterilmiştir. Ayrıca kynurenine (KYN) ve 3-hydroxykynurenine (3-HK) düzeylerindeki değişiklikler, kynurenine yolunun potansiyel bir nörotoksik mekanizma olabileceğini düşündürmüştür.

6. Kan-Beyin Bariyeri Ve Nöronal Hasar

BBB'nin bozulması, mikro- ve nanoplastiklerin MSS'ye girişini kolaylaştırabilecek çift yönlü bir mekanizma oluşturabilir. Bir taraftan partiküller bariyer bütünlüğünü bozabilirken, diğer taraftan oluşan bariyer hasarı daha fazla partikülün beyin dokusuna ulaşmasına izin verebilir.

Jin ve ark. (2022) kronik polistiren mikroplastik maruziyetinde BBB bozulması, hipokampal inflamasyon ve bilişsel bozukluklar bildirmiştir. Shan ve ark. (2022) ise nanoplastiklerin BBB geçirgenliğini artırabileceğini ve sıkı bağlantı proteinlerini etkileyebileceğini göstermiştir.
Dolayısıyla BBB hasarı yalnızca mikro- ve nanoplastiklerin olası bir sonucu değil, aynı zamanda beyin dokusundaki plastik yükünü artırabilecek bir kolaylaştırıcı mekanizma olabilir.

7. Kynurenine Yolu Ve Yeni Nörotoksisite Mekanizmaları

Son dönem çalışmalarda dikkat çeken mekanizmalardan biri kynurenine metabolizmasıdır.
Park ve ark. (2025), polistiren mikro/nanoplastik maruziyetinin cerebral organoidlerde ve fare beyninde kynurenine metabolizması ile ilişkili değişiklikler oluşturabileceğini göstermiştir. Özellikle 3-HK gibi nöroaktif metabolitlerdeki değişikliklerin oksidatif stres ve nöronal hasarla ilişkili olabileceği bildirilmiştir.
Bu mekanizma, mikro- ve nanoplastiklerin yalnızca fiziksel olarak beyin dokusunda biriken partiküller olmadığını, aynı zamanda hücresel metabolik yolları değiştirebilen biyolojik olarak aktif stresörler olabileceğini düşündürmektedir. Ancak bu mekanizmanın insanlarda klinik sonuçlarla ilişkisi henüz gösterilmemiştir.

8. Mikro- Ve Nanoplastikler İle Nörodejeneratif Hastalıklar

Mikro- ve nanoplastiklerin Alzheimer hastalığı, Parkinson hastalığı ve diğer nörodejeneratif hastalıklarla ilişkisi son yıllarda giderek daha fazla araştırılmaktadır.
Nihart ve ark. (2025), demans tanısı bulunan bireylerin postmortem frontal korteklerinde daha yüksek plastik konsantrasyonları bildirmiştir. Bununla birlikte bu ilişkinin nedensel olmadığı özellikle vurgulanmalıdır.
Parkinson hastalığı açısından ise mikro- ve nanoplastiklerin α-sinüklein agregasyonu, oksidatif stres, mitokondriyal disfonksiyon ve nöroinflamasyon üzerinden potansiyel etkileri tartışılmaktadır (Lin et al., 2026).
Mevcut veriler, mikro- ve nanoplastiklerin nörodejeneratif hastalıkların nedeni olduğunu göstermekten ziyade, bu hastalıklarla ilişkili olabilecek potansiyel çevresel faktörler arasında değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

9. Beyin-Bağırsak Ekseni

Mikro- ve nanoplastiklerin nörolojik etkileri yalnızca doğrudan beyin maruziyeti üzerinden açıklanamayabilir. Bağırsak mikrobiyotasındaki değişiklikler, immün yanıt, metabolitler ve nöroendokrin sinyaller aracılığıyla beyin fonksiyonlarını etkileyebilir.
Teng ve ark. (2022), polistiren nanoplastiklerin zebrafish modelinde beyin-bağırsak-mikrobiyota eksenini bozabileceğini göstermiştir. Daha güncel derlemelerde de mikro- ve nanoplastiklerin bağırsak mikrobiyotasını değiştirerek immün, nörolojik ve endokrin mekanizmalar üzerinden beyin fonksiyonlarını etkileyebileceği ileri sürülmektedir.
Bu nedenle mikro- ve nanoplastik nörotoksisitesinin yalnızca “partikül → beyin” modeliyle değil, sistemik etkileri de içeren çoklu mekanizmalar çerçevesinde değerlendirilmesi daha uygun görünmektedir.

10. İnsan Postmortem Çalışmalarının Karşılaştırılması

Çalışma	İnsan materyali	Beyin bölgesi	Temel bulgu	Nicel değerlendirme
Amato-Lourenço et al. (2024)	Postmortem	Olfaktör bulbus	8/15 bireyde mikroplastik; polipropilen en sık polimer	8/15 pozitif; 16 partikül/lif; PP %43,8
Nihart et al. (2025)	Postmortem	Frontal korteks	Plastik partiküller; çoğunlukla PE, nanoskopik parçacıklar	Grup düzeyinde nicel veri
Dzierżyński et al. (2025)	Postmortem	Beyaz cevher	Plastik partiküller	n = 1; 24,4 MP/g
Bu et al. (2026)	Postmortem	Dorsolateral prefrontal korteks	Toplam MNP yükü; PE ve PVC baskın polimerler arasında	n = 12; 32,81 ± 14,24 µg/g

11. Meta-Analiz Yapılabilir Mi?

İnsan postmortem beyin çalışmalarının sayısının artması, nicel sentez yapılabilmesi açısından önemli bir gelişmedir. Ancak mevcut çalışmalar arasında örneklem büyüklüğü, beyin bölgesi, partikül tanımlama yöntemi, ölçüm birimleri ve sonuçların raporlanma biçimi bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır.

Nihart ve ark. (2025) frontal korteks örneklerinde medyan değerleri ve güven aralıklarını raporlarken, Dzierżyński ve ark. (2025) tek bir beyin örneği üzerinden sonuç bildirmiştir. Bu nedenle mevcut çalışmaların tamamını tek bir "ortalama beyin mikroplastik konsantrasyonu" altında birleştirmek metodolojik olarak uygun görünmemektedir.

Özellikle Dzierżyński ve ark. (2025) çalışmasının n = 1 olması ve farklı beyin bölgelerinin incelenmesi nedeniyle basit bir ortalama alma yaklaşımı bilimsel olarak doğru olmayacaktır.

Bununla birlikte ilerleyen dönemde çalışma sayısının artmasıyla;

1. mikro- ve nanoplastik saptanma prevalansı,
2. belirli beyin bölgelerindeki plastik konsantrasyonları,
3. demans ve kontrol grupları arasındaki farklar,
4. plastik türleri ve partikül boyutlarının dağılımı

üzerinden daha homojen meta-analizler gerçekleştirilebilir.

Dolayısıyla mevcut literatür, sistematik derleme için oldukça uygun olmakla birlikte, tüm insan beyin konsantrasyonlarını tek bir birleşik etki tahmininde toplamak için henüz yeterince homojen değildir.

12. Tartışma

Son yıllardaki çalışmalar, mikro- ve nanoplastiklerin yalnızca çevresel bir kirletici olmadığını, insan organizmasının farklı dokularında ve özellikle merkezi sinir sistemiyle ilişkili biyolojik kompartımanlarda bulunabilen partiküller olduğunu göstermektedir.

İnsan postmortem çalışmalarında farklı beyin bölgelerinde plastik partiküllerin saptanması bu açıdan önemli bir dönüm noktasıdır. Nihart ve ark. (2025) tarafından bildirilen bulgular özellikle dikkat çekicidir; beyin dokusundaki plastik yükünün zaman içerisinde artması ve demans grubunda daha yüksek düzeylerde bulunması, konunun nörolojik hastalıklar açısından araştırılmasını gerekli kılmaktadır.

Ancak burada önemli bir bilimsel sınır bulunmaktadır. Postmortem birikim ile klinik hastalık arasında gözlenen ilişki, tek başına nedensellik anlamına gelmemektedir. Bireylerin yaşam boyu plastik maruziyetlerinin belirlenememesi, beslenme ve çevresel maruziyet farklılıkları, yaş, eşlik eden hastalıklar, ilaç kullanımı ve ölüm öncesi klinik durum gibi çok sayıda değişken sonuçları etkileyebilir.

Buna karşın deneysel çalışmaların ortaya koyduğu BBB hasarı, oksidatif stres, mikroglia aktivasyonu, inflamasyon, mitokondriyal disfonksiyon ve nöronal hasar gibi mekanizmalar, insan postmortem bulgularının biyolojik olarak anlamlı olabileceğini düşündürmektedir.

Bu nedenle mevcut literatürün en güçlü mesajı "mikroplastikler demansa neden olur" değildir. Daha doğru ifade, "mikro- ve nanoplastikler insan postmortem beyin dokusunda saptanabilmekte ve deneysel modellerde nörotoksisiteyle ilişkilendirilen çok sayıda biyolojik mekanizmayı tetikleyebilmektedir" şeklindedir.

13. Çalışmaların Sınırlılıkları

Mevcut insan çalışmalarının önemli sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle örneklem büyüklükleri halen küçüktür. Ayrıca çalışmalar farklı beyin bölgelerini incelemekte ve farklı analitik yöntemler kullanmaktadır.

Mikroplastik analizinde kullanılan örnek hazırlama ve tespit yöntemleri partikül boyutu açısından da farklılık gösterebilmektedir. Özellikle nanoplastiklerin güvenilir biçimde tespit edilmesi, mevcut analitik teknolojilerin en önemli metodolojik sorunlarından biridir.

Ayrıca plastik kontaminasyonunun laboratuvar ortamında kolaylıkla gerçekleşebilmesi nedeniyle numune toplama, saklama, hazırlama ve analiz aşamalarında sıkı kalite kontrol protokollerine ihtiyaç vardır.

Bu nedenle gelecekte yapılacak insan çalışmalarında yalnızca "plastik bulundu/bulunmadı" yaklaşımından uzaklaşılarak partikül boyutu, polimer tipi, morfoloji, konsantrasyon ve anatomik dağılımın standartlaştırılmış yöntemlerle birlikte raporlanması gerekmektedir.

14. Gelecekteki Araştırmalar

Gelecekteki araştırmaların öncelikle daha büyük insan kohortlarına yönelmesi gerekmektedir. Özellikle yaş, cinsiyet, mesleki ve çevresel maruziyet, beslenme alışkanlıkları ve nörolojik hastalıkların ayrıntılı olarak değerlendirildiği çalışmalar önem taşımaktadır.

Bunun yanında farklı beyin bölgelerinin eş zamanlı incelenmesi, mikro- ve nanoplastiklerin bölgesel dağılımının ortaya konmasına katkı sağlayacaktır.

Özellikle canlı insanlarda doğrudan beyin dokusu örneklemenin etik ve teknik olarak mümkün olmaması nedeniyle, CSF, kan ve diğer biyolojik örneklerin postmortem beyin analizleriyle birlikte değerlendirilmesi gelecekte önemli bir araştırma stratejisi olabilir.

Ayrıca deneysel modellerde belirlenen mekanizmaların insan dokularında doğrulanması gerekmektedir. Bu kapsamda nöroinflamasyon, oksidatif stres, α-sinüklein ve amiloid metabolizması, kynurenine yolu, mitokondriyal fonksiyon ve sinaptik bütünlük gibi biyolojik sonlanımlar araştırılmalıdır.

SONUÇ

Mikro- ve nanoplastikler, çevresel maruziyetin ötesinde insan sağlığı açısından giderek daha fazla önem kazanan partiküllerdir. Güncel insan kanıtları, mikro- ve nanoplastiklerin postmortem insan beyin dokularında farklı bölgelerde saptanabildiğini ve bazı durumlarda önemli düzeylerde birikim gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Deneysel çalışmalar ise bu partiküllerin BBB bütünlüğünü bozabileceğini, mikroglia aktivasyonu ve nöroinflamasyonu artırabileceğini, oksidatif stres ve mitokondriyal hasara neden olabileceğini ve nöronal fonksiyonları etkileyebileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte, insanlarda mikro- ve nanoplastik birikimi ile nörodejeneratif hastalıklar arasındaki nedensel ilişki henüz kanıtlanmış değildir. Özellikle demans hastalarında bildirilen daha yüksek plastik yükü, önemli bir araştırma hipotezi oluşturmakla birlikte tek başına nedensellik göstermemektedir.

Sonuç olarak, mikro- ve nanoplastiklerin insan beynine ulaşabildiği ve postmortem beyin dokusunda saptanabildiği yönündeki kanıtlar giderek güçlenmektedir; ancak bu bulgunun klinik sonuçlarını ve uzun dönem nörolojik etkilerini belirlemek için standardize edilmiş, daha geniş örneklemli ve klinik olarak karakterize edilmiş insan çalışmalarına ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

1. Amato-Lourenço, L. F., Dantas, K. C., Ribeiro Júnior, G., Paes, V. R., Ando, R. A., Freitas, R. O., Costa, O. M. M. M., Rabelo, R. S., Bispo, K. C. S., Carvalho-Oliveira, R., & Mauad, T. (2024). Microplastics in the olfactory bulb of the human brain. JAMA Network Open, 7(9), e2440018. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.40018

2. Araújo, A. M., Mota, C., Ramos, H., Faria, M. A., Carvalho, M., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2025). The neurotoxic threat of micro- and nanoplastics: Evidence from in vitro and in vivo models. *Archives of Toxicology, 99*, 3505–3525. https://doi.org/10.1007/s00204-025-04091-3

3. Bu, S., Xu, Y., Fu, Y., Guo, Y., Wu, D., Zhang, Y., & Xie, J. (2026). Qualitative and quantitative analysis of microplastics and nanoplastics in healthy human central nervous system and its blood-brain barrier transmission efficiency-A pilot study. Environmental Pollution, 388, 127392. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.127392

4. Chen, Y., Nan, Y., Xu, L., Dai, A., Martinez Orteg, R. M., Ma, M., Zeng, Y., & Li, J. (2025). Polystyrene nanoplastics exposure induces cognitive impairment in mice via induction of oxidative stress and ERK/MAPK-mediated neuronal cuproptosis. *Particle and Fibre Toxicology, 22*, 13. https://doi.org/10.1186/s12989-025-00633-w

5. Dzierżyński, E., Blicharz-Grabias, E., Komaniecka, I., Panek, R., Forma, A., Gawlik, P. J., Puźniak, D., Flieger, W., Choma, A., Suśniak, K., Teresiński, G., Baj, J., Kupisz, K., & Flieger, J. (2025). Post-mortem evidence of microplastic bioaccumulation in human organs: Insights from advanced imaging and spectroscopic analysis. *Archives of Toxicology, 99*, 4051–4066. https://doi.org/10.1007/s00204-025-04092-2

6. Jin, H., Yang, C., Jiang, C., Li, L., Pan, M., Li, D., Han, X., & Ding, J. (2022). Evaluation of neurotoxicity in BALB/c mice following chronic exposure to polystyrene microplastics. *Environmental Health Perspectives, 130*(10), 107002. https://doi.org/10.1289/EHP10255

7. Liu, S., He, Y., Yin, J., Zhu, Q., Liao, C., & Jiang, G. (2024). Neurotoxicities induced by micro/nanoplastics: A review focusing on the risks of neurological diseases. *Journal of Hazardous Materials, 469*, 134054. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134054

8. Lin, L., Li, J., Zhu, S., Zhang, Z., Li, Z., Xu, P., & Guo, W. (2026). Micro-nanoplastics and Parkinson's disease: Evidence and perspectives. *npj Parkinson's Disease, 12*, 56. https://doi.org/10.1038/s41531-026-01272-4

9. Nihart, A. J., Garcia, M. A., El Hayek, E., Liu, R., Olewine, M., Kingston, J. D., Castillo, E. F., Gullapalli, R. R., Howard, T., Bleske, B., Scott, J., Gonzalez-Estrella, J., Gross, J. M., Spilde, M., Adolphi, N. L., Gallego, D. F., Jarrell, H. S., Dvorscak, G., Zuluaga-Ruiz, M. E., … Campen, M. J. (2025). Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. *Nature Medicine, 31*, 1114–1119. https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1

10. Park, S. B., Jo, J. H., Kim, S. S., Jung, W. H., Bae, M. A., Koh, B., & Kim, K. Y. (2025). Microplastics accumulation induces kynurenine-derived neurotoxicity in cerebral organoids and mouse brain. *Biomolecules & Therapeutics, 33*(3), 447–457. https://doi.org/10.4062/biomolther.2024.185

11. Prüst, M., Meijer, J., & Westerink, R. H. S. (2020). The plastic brain: Neurotoxicity of micro- and nanoplastics. *Particle and Fibre Toxicology, 17*, 24. https://doi.org/10.1186/s12989-020-00358-y

12. Shan, S., Zhang, Y., Zhao, H., Zeng, T., & Zhao, X. (2022). Polystyrene nanoplastics penetrate across the blood-brain barrier and induce activation of microglia in the brain of mice. *Chemosphere, 298*, 134261. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134261

13. Teng, M., Zhao, X., Wang, C., Wang, C., White, J. C., Zhao, W., Zhou, L., Duan, M., & Wu, F. (2022). Polystyrene nanoplastics toxicity to zebrafish: Dysregulation of the brain-intestine-microbiota axis. *ACS Nano, 16*, 8190–8204. https://doi.org/10.1021/acsnano.2c01872

14. Xie, J., Ji, J., Sun, Y., Ma, Y., Wu, D., & Zhang, Z. (2024). Blood-brain barrier damage accelerates the accumulation of micro- and nanoplastics in the human central nervous system. *Journal of Hazardous Materials, 480*, 136028. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136028

MEME KANSERİNDE SİSPLATİN KAYNAKLI HÜCRESEL YAŞLANMANIN IN SILICO ARAŞTIRILMASI

Tuğba Betül TEMİREL
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0003-3648-6735

Prof. Dr. Serap YALÇIN AZARKAN
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Farmakoloji Anabilim Dalı
ORCID: 0000-0002-9584-266X

ÖZET

Amaç

Bu çalışmada, bütünleşik bir in silico yaklaşım kullanılarak sisplatin, hücresel senesens ve meme kanseri arasındaki moleküler ilişkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem

Meme kanseri ve hücresel senesens ile ilişkili genler GeneCards'tan, sisplatinin öngörülen insan hedefleri ise SwissTargetPrediction'dan elde edilmiştir. Üç veri kümesinin kesişimi alınmıştır. Ortak genler Cytoscape ortamında sisplatin-gen ağı şeklinde gösterilmiş ve fonksiyonel zenginleştirme analizi için STRING'e aktarılmıştır. STRING protein etkileşim ağı Cytoscape içinde cytoHubba ve MCODE eklentileriyle merkezî proteinler ve yoğun bağlantılı kümeler açısından incelenmiştir. Gene Ontology biyolojik süreç ve moleküler işlev terimlerinin yanı sıra KEGG, Reactome ve WikiPathways yolakları, yanlış keşif oranına göre düzeltilmiş değerler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Bulgular

Kesişimde 69 gen belirlenmiştir. Cytoscape ilaç-gen ağı bir sisplatin düğümü, 69 gen düğümü ve 69 ilaç-gen bağlantısından oluşmuştur. Ortak genler arasında en yüksek SwissTargetPrediction olasılıkları CA1, CA9, CA2, CA12 ve AKR1B1 için gözlenmiştir. MCC sıralamasında HSP90AA1 ve SRC ilk iki sırada yer almış; MCODE benzeri değerlendirmede 45 proteinlik ana küme ile CA1, CA12, CA2 ve CA9'dan oluşan daha küçük bir küme belirlenmiştir. Gene Ontology analizinde peptidil-amino asit modifikasyonu (29 gen; FDR=$1{,}24\times10^{-16}$), protein fosforilasyonu (22 gen; FDR=$2{,}58\times10^{-11}$), katalitik aktivite (59 gen; FDR=$2{,}11\times10^{-19}$) ve protein kinaz aktivitesi (22 gen; FDR=$1{,}26\times10^{-13}$) açısından zenginleşme saptanmıştır. KEGG analizi kanser yolakları, ksenobiyotik metabolizması ve VEGF sinyal yolunu öne çıkarmıştır. Reactome Sinyal İletimi 33 geni (FDR=$5{,}01\times10^{-9}$), WikiPathways VEGFA-VEGFR2 sinyal yolu ise 18 geni (FDR=$7{,}63\times10^{-12}$) kapsamıştır.

Sonuç

Ortak gen kümesinin protein modifikasyonu, kinaz aracılı sinyal iletimi, ksenobiyotik metabolizması ve kanserle ilişkili yolaklar açısından zenginleştiği belirlenmiştir. Bulgular deneysel doğrulama için adaylar sunmakla birlikte, sisplatinin doğrudan bağlanmasını, nedensel düzenlemeyi veya terapötik etkinliği göstermemektedir.

Anahtar Kelimeler: sisplatin, meme kanseri, hücresel senesens, biyoinformatik, protein-protein etkileşimi

IN SILICO INVESTIGATION OF CISPLATIN-INDUCED CELLULAR SENESCENCE IN BREAST CANCER

ABSTRACT

Objective

This study aimed to identify molecular relationships among cisplatin, cellular senescence and breast cancer using an integrated in silico approach.

Materials and Methods

Breast cancer- and cellular senescence-associated genes were obtained from GeneCards, and predicted human targets of cisplatin were obtained from SwissTargetPrediction. The three datasets were intersected. Common genes were represented as a cisplatin-gene network in Cytoscape and submitted to STRING for functional enrichment. The STRING protein interaction network was examined in Cytoscape using cytoHubba and MCODE to identify central proteins and densely connected clusters. Gene Ontology biological process and molecular function terms, together with KEGG, Reactome and WikiPathways pathways, were evaluated using false discovery rate-adjusted values.

Results

The intersection contained 69 genes. The Cytoscape drug-gene network comprised one cisplatin node, 69 gene nodes and 69 drug-gene edges. The highest SwissTargetPrediction probabilities among the common genes were observed for CA1, CA9, CA2, CA12 and AKR1B1. HSP90AA1 and SRC ranked first and second by MCC, while an MCODE-like assessment identified a main 45-protein cluster and a smaller cluster containing CA1, CA12, CA2 and CA9. Gene Ontology analysis showed enrichment for peptidyl-amino acid modification (29 genes; FDR=1.24×10^{-16}), protein phosphorylation (22 genes; FDR=2.58×10^{-11}), catalytic activity (59 genes; FDR=2.11×10^{-19}) and protein kinase activity (22 genes; FDR=1.26×10^{-13}). KEGG analysis highlighted pathways in cancer, xenobiotic metabolism and VEGF signaling. Reactome Signal Transduction involved 33 genes (FDR=5.01×10^{-9}), while WikiPathways VEGFA-VEGFR2 signaling involved 18 genes (FDR=7.63×10^{-12}).

Conclusion

The common gene set was enriched for protein modification, kinase-mediated signaling, xenobiotic metabolism and cancer-related pathways. The findings provide candidates for experimental validation but do not demonstrate direct cisplatin binding, causal regulation or therapeutic efficacy.

Keywords: cisplatin, breast cancer, cellular senescence, bioinformatics, protein-protein interaction

GİRİŞ

Meme kanseri, moleküler alt tipleri, tedaviye yanıt farklılıkları ve zaman içinde gelişebilen ilaç direnci nedeniyle çok katmanlı bir hastalık grubudur. Sistemik tedavide kullanılan sitotoksik ajanlar tümör hücrelerinde DNA hasarı oluşturarak hücre ölümünü hedefler. Bununla birlikte tedaviye maruz kalan her hücre apoptozla ortadan kalkmaz. Bazı hücreler canlılığını sürdürürken kalıcı hücre döngüsü durması, morfolojik değişiklikler, metabolik yeniden yapılanma ve salgısal fenotip ile tanımlanan hücresel senesens durumuna geçebilir [1,2]. Bu nedenle kemoterapi yanıtının yalnızca hücre ölümü üzerinden değerlendirilmesi, tedavi sonrasında kalan hücrelerin tümör biyolojisine olası katkılarını açıklamak için yetersiz kalabilir.

Hücresel senesens başlangıçta hasarlı hücrelerin çoğalmasını sınırlandıran bir tümör baskılayıcı mekanizma olarak işlev görebilir. Buna karşılık senesan hücrelerin dokuda kalması ve senesensle ilişkili salgısal fenotip bileşenlerini üretmesi, inflamasyon, stromal yeniden yapılanma, anjiyogenez ve komşu hücrelerin davranışında değişikliklerle ilişkilendirilmektedir [1,2]. Kemoterapi sonrasında oluşan senesan hücrelerin bazı modellerde olumsuz tedavi etkileri ve hastalık nüksüyle bağlantı göstermesi, tedavi kaynaklı senesensin bağlama göre çift yönlü sonuçlar doğurabileceğini düşündürmektedir [2]. Bu biyolojik ikilik, senesensin tek bir belirteç ya da tek bir sinyal yolu üzerinden değil, birbirine bağlı moleküler ağlar düzeyinde incelenmesini gerekli kılar.

Sisplatin, DNA üzerinde başlıca zincir içi çapraz bağlar oluşturarak replikasyon ve transkripsiyon stresini artıran platin temelli bir kemoterapötiktir. Hasarın şiddeti, hücrenin DNA onarım kapasitesi ve stres yanıtının niteliği hücrenin apoptoza, geçici duraklamaya veya kalıcı senesense yönelmesini etkileyebilir. Bu süreçte MAPK sinyali, protein fosforilasyonu, kromatin düzenlenmesi, protein homeostazı, inflamatuvar aracıların üretimi ve redoks dengesi gibi çok sayıda mekanizma birlikte rol oynar. Dolayısıyla sisplatin, meme kanseri ve hücresel senesens ile ilişkilendirilmiş genlerin ortak bir çerçevede değerlendirilmesi, deneysel çalışmalar için öncelikli adayların belirlenmesine katkı sağlayabilir.

Bu çalışmanın amacı, meme kanseri ve hücresel senesensle ilişkilendirilmiş genler ile sisplatinin tahmini moleküler hedeflerini bütünleştirerek ortak genleri belirlemek; bu genleri ağ ortamında göstermek ve zenginleştikleri biyolojik süreçler ile sinyal yollarını incelemektir. Çalışma, deneysel doğrulama için aday molekülleri ve biyolojik mekanizmaları önceliklendirmeyi amaçlamaktadır.

GELİŞME

Veri Kaynakları Ve Analiz Yaklaşımı

Çalışmada üç bağımsız moleküler bilgi alanı kullanılmıştır. Meme kanseri ve hücresel senesensle ilişkilendirilmiş insan genleri GeneCards üzerinden derlenmiş, sisplatine ait olası insan protein hedefleri ise SwissTargetPrediction ile elde edilmiştir [3,4]. GeneCards gen-hastalık ve gen-fenotip ilişkilerini çok sayıda kaynaktan bütünleştiren bir bilgi platformudur. SwissTargetPrediction, küçük molekülün iki ve üç boyutlu benzerliğini bilinen ligandlarla karşılaştırarak olası hedefleri tahmin eder. Bu nedenle oluşturulan listeler deneysel olarak doğrulanmış ilişkiler ile hesaplamalı tahminleri birlikte içerebilir; ortak kümede yer almak tek başına doğrudan bağlanma veya nedensellik kanıtı değildir.

Üç gen listesinin küme kesişimi alınmış ve tüm alanlarda ortak bulunan 69 gen sonraki analizlere dahil edilmiştir. Bu yaklaşım geniş aday havuzunu daraltarak sisplatin maruziyeti, senesens biyolojisi ve meme kanseri bağlamlarının kesişiminde yer alan moleküllere odaklanmıştır. Ortak genlerin kodladığı proteinler STRING veri tabanında sorgulanmış, bilinen ve öngörülen protein-protein ilişkilerinden bir ağ oluşturulmuştur [5]. Ağdaki düğümler proteinleri, kenarlar ise deneysel veri, küratörlü veri tabanları, birlikte ekspresyon, genomik komşuluk veya metin madenciliği gibi kanıt kanallarından türetilen işlevsel ilişkileri temsil etmektedir.

Ortak genler, Cytoscape ortamında sisplatin ile genler arasındaki tahmini hedef ilişkilerini gösterecek şekilde ağ yapısına dönüştürülmüştür. Bu ağda sisplatin tek ilaç düğümü, ortak genlerin her biri ayrı gen düğümü olarak tanımlanmış; SwissTargetPrediction olasılık değerleri kenar ağırlığı olarak kullanılmıştır. Ayrıca 69 ortak gen STRING veri tabanına yüklenerek protein ilişkileri görselleştirilmiş ve aynı gen kümesi üzerinden işlevsel zenginleştirme çıktıları alınmıştır [5].

STRING'den elde edilen protein-protein etkileşim ağı Cytoscape'a aktarıldı [6]. Ağ topolojisi cytoHubba eklentisi kullanılarak Degree, Betweenness, Closeness, Maximal Clique Centrality (MCC) ve Maximum Neighborhood Component (MNC) ölçütleriyle değerlendirildi [7]. MCC sıralaması hub-gen adaylarını önceliklendirmek için kullanıldı. Yoğun bağlantılı protein alt grupları ise MCODE yaklaşımıyla incelendi [8]. Merkezilik ve küme sonuçları, biyolojik önem veya nedenselliğin doğrudan kanıtı olarak değil, deneysel doğrulamada önceliklendirilecek adayların belirlenmesi amacıyla yorumlandı.
Biyolojik işlevleri yorumlamak amacıyla Gene Ontology biyolojik süreç ve moleküler işlev analizleri yapılmış; KEGG, Reactome ve WikiPathways veri tabanları kullanılarak yolak zenginleştirmesi değerlendirilmiştir [9-12]. Çoklu karşılaştırmalardan kaynaklanan yanlış pozitif bulguları azaltmak için düzeltilmiş olasılık değerleri, diğer bir ifadeyle yanlış keşif oranı değerleri dikkate alınmıştır. Daha düşük FDR değeri, ilgili terimin gen listesinde rastlantısal olarak görülme olasılığının daha düşük olduğuna işaret eder. Bununla birlikte zenginleşme analizi yön, etki büyüklüğü veya hücresel aktivasyon durumu hakkında tek başına bilgi vermez.

Ortak Genler Ve Ağ Gösterimi

GeneCards veri kümeleri ve SwissTargetPrediction hedef listesinin kesişiminde 69 ortak gen belirlenmiştir. Cytoscape için hazırlanan ilaç-gen ağı bir sisplatin düğümü ile 69 gen düğümünden oluşmuş, böylece toplam 70 düğüm ve 69 ilaç-gen ilişkisi elde edilmiştir. Bu ağdaki kenarlar deneysel olarak gösterilmiş fiziksel bağları değil, SwissTargetPrediction tarafından hesaplanan olası hedef ilişkilerini temsil etmektedir. Dolayısıyla ağ, aday hedeflerin düzenli biçimde gösterilmesini sağlar; sisplatinin bu proteinlere doğrudan bağlandığını kanıtlamaz.
Ortak genler içinde en yüksek SwissTargetPrediction olasılığı CA1 için 0,0679 olarak belirlenmiştir. Bunu CA9, CA2 ve CA12 için 0,0453; AKR1B1 için 0,0421 değerleri izlemiştir. Karbonik anhidraz ailesinin birden fazla üyesinin ortak listede bulunması, hücresel pH düzenlenmesi ve metabolik uyum mekanizmalarının araştırılması için bir aday alan oluşturmaktadır. Bununla birlikte bu olasılıklar düşüktür ve hesaplamalı tahmin niteliğindedir. Bu nedenle CA1, CA9, CA2, CA12 ve AKR1B1 ancak biyokimyasal bağlanma ve hücresel işlev deneylerinden sonra doğrulanmış sisplatin hedefleri olarak değerlendirilebilir.
Altmış dokuz ortak gen STRING analizine dahil edilmiştir. Bağlantısız girdiler çıkarıldıktan sonra değerlendirilen ağ 64 protein, 228 ilişki ve birbirinden ayrılmış 4 bağlantılı bileşenden oluşmuştur. STRING görseli, proteinlerin önemli bir bölümünün sinyal iletimi, protein düzenlenmesi ve metabolik süreçler çevresinde ilişkili bir yapı oluşturduğunu; bazı proteinlerin ise ana ağdan ayrı veya sınırlı bağlantılı kaldığını göstermektedir. Bu görünüm, ortak genlerin tümünün aynı biyolojik modülde yer almadığını ve farklı işlevsel alt grupların birlikte değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.
cytoHubba MCC ölçütüne göre ilk 10 sırada HSP90AA1, SRC, MAPK8, MAPK3, PTGS2, SIRT1, MCL1, MAP2K1, MAPK1 ve NOS3 yer almıştır. HSP90AA1 ve SRC en yüksek MCC sıralamasına sahip proteinler olarak öne çıkmıştır. Degree, Betweenness, Closeness ve MNC gibi farklı merkezilik ölçütleri birlikte değerlendirilmiş; birden fazla ölçütte üst sıralarda tekrarlayan proteinler daha güçlü hub-gen adayları olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte bu sıralama, proteinlerin sisplatin tarafından doğrudan hedeflendiğini veya senesensi tek başına başlattığını göstermemektedir.
MCODE değerlendirmesinde ağın büyük bölümünü kapsayan ve birbirleriyle yoğun ilişki gösteren 45 proteinlik bir ana küme belirlenmiştir. Ayrıca CA1, CA12, CA2 ve CA9 proteinlerinden oluşan daha küçük bir karbonik anhidraz kümesi saptanmıştır.

Ana küme MAPK ve kanser sinyali, hücresel stres yanıtı ve protein düzenlenmesiyle ilişkili adayları bir araya getirirken; küçük küme pH dengesi, hipoksi ve tümör mikroçevresine uyum mekanizmaları açısından dikkat çekmiştir. Bu kümeler, birlikte çalışabilecek protein gruplarını gösteren hesaplamalı aday modüllerdir.

Gene Ontology Ve Yolak Zenginleştirmesi

Gene Ontology biyolojik süreç analizinde peptidil-amino asit modifikasyonu 29 gen ile güçlü biçimde zenginleşmiştir (FDR=$1{,}24\times10^{-16}$). Bu terim, protein zincirindeki amino asit kalıntılarının sentez sonrasında fosfat, asetil veya başka kimyasal gruplarla değiştirilmesini kapsar. Bu düzenlemeler proteinlerin aktivitesini, hücre içindeki yerleşimini, etkileşim ortaklarını ve yıkım hızını değiştirebilir. Senesens gibi kalıcı bir hücresel programa geçiş, yalnızca yeni RNA ve protein üretimine değil, mevcut proteinlerin hızlı ve geri dönüşümlü biçimde düzenlenmesine de bağlıdır. Bu nedenle peptidil-amino asit modifikasyonunun zenginleşmesi, sisplatin kaynaklı stresin çok sayıda düzenleyici proteinin işlevsel durumunu eş zamanlı etkileyebileceği görüşüyle uyumludur.

Protein fosforilasyonu 22 genle zenginleşmiş ve FDR değeri $2{,}58\times10^{-11}$ olarak bulunmuştur. Fosforilasyon, kinazların hedef proteinlere fosfat grubu eklediği temel bir sinyal iletimi mekanizmasıdır. MAPK1, MAPK3, MAPK8, MAP2K1 ve SRC gibi ağda öne çıkan kinazlar, DNA hasarı ve büyüme sinyallerini hücre döngüsü, sağkalım ve inflamatuvar yanıt programlarına aktarabilir. Moleküler işlev kategorisinde katalitik aktivite 59 genle (FDR=$2{,}11\times10^{-19}$), protein kinaz aktivitesi ise 22 genle (FDR=$1{,}26\times10^{-13}$) zenginleşmiştir. Bu sonuçlar, ortak gen listesinin pasif yapısal proteinlerden çok hücresel yanıtın yönünü değiştirebilen enzimler ve sinyal düzenleyicileri bakımından yoğun olduğunu göstermektedir.

Yolak analizlerinde kanserle ilişkili KEGG yolları, ksenobiyotik metabolizması, VEGF sinyali ve genel sinyal iletimi başlıkları öne çıkmıştır. Reactome Signal Transduction terimi FDR=$5{,}01\times10^{-9}$, WikiPathways VEGFA-VEGFR2 sinyali ise FDR=$7{,}63\times10^{-12}$ ile en güçlü bulgular arasında yer almıştır. VEGF ekseni, tümör dokusunda damar oluşumu ve mikroçevre etkileşimleriyle bağlantılıdır. SRC ve NOS3 gibi adayların bu eksenle kesişmesi, tedavi kaynaklı hücresel stresin yalnızca hücre içi çoğalma kontrolünü değil, mikroçevreye iletilen sinyalleri de etkileyebileceği yönünde bir hipotez oluşturmaktadır. Ksenobiyotik metabolizmasıyla ilişkili zenginleşme ise sisplatinin hücresel işlenmesi, oksidatif stres ve detoksifikasyon kapasitesi arasındaki olası ilişkiye dikkat çekmektedir.

Bütünleşik Biyolojik Değerlendirme

Zenginleştirme sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, ortak gen kümesinin proteinlerin sentez sonrası düzenlenmesi, kinaz aracılı sinyal iletimi, ksenobiyotik metabolizması ve tümör mikroçevresiyle ilişkili süreçlerde yoğunlaştığı görülmektedir. MAPK1, MAPK3, MAPK8, MAP2K1 ve SRC protein fosforilasyonu ve sinyal iletimi terimlerinde; HSP90AA1 stres altında protein dengesinde; PTGS2 inflamatuvar yanıt ve VEGFA-VEGFR2 yolunda; CYP ailesi üyeleri ise ksenobiyotik metabolizmasında yer almaktadır. Ağ analizinde HSP90AA1 ve SRC'nin MCC sıralamasında öne çıkması; MAPK3, MAPK1, PTGS2 ve SIRT1 gibi proteinlerin de üst sıralarda tekrarlanması, stres yanıtı, kinaz sinyali ve inflamasyon eksenlerinin ortak bir ağ çekirdeğinde buluşabileceğini düşündürmektedir. Bu birliktelik, sisplatinle ilişkili senesens yanıtının tek bir molekülden çok birbiriyle bağlantılı işlevsel süreçler üzerinden araştırılması gerektiğini düşündürmektedir.

Bulgular deneysel tasarım açısından iki düzeyde kullanılabilir. İlk düzeyde, sisplatin uygulanmış meme kanseri hücrelerinde doz ve zaman serileri oluşturularak SA-β-galaktozidaz aktivitesi, p16 ve p21 düzeyleri, DNA hasarı işaretleri ve hücre döngüsü profili birlikte ölçülmelidir. Senesens tek bir belirteçle tanımlanamadığından hücre döngüsü durması, canlılık ve salgısal fenotip göstergelerinin birlikte değerlendirilmesi gerekir [1]. İkinci düzeyde, tahmin olasılığı yüksek CA1, CA9, CA2, CA12 ve AKR1B1 ile zenginleşen yolaklarda yer alan MCC ve diğer merkezilik ölçütlerinde öne çıkan HSP90AA1, SRC, MAPK8, MAPK3, PTGS2 ve SIRT1 gibi hub-gen adayları qPCR ve Western blot ile incelenebilir; siRNA/CRISPR baskılama veya uygun inhibitörlerle yapılacak işlevsel müdahaleler aracılığıyla senesens göstergeleri üzerindeki etkileri test edilebilir. MCODE ile belirlenen protein kümeleri ise tek bir aday yerine aynı işlevsel modülde bulunan proteinlerin birlikte değerlendirilmesine yardımcı olabilir.

Çalışmanın temel sınırlılığı, sonuçların veri tabanları ve hesaplamalı ilişkilere dayanmasıdır. GeneCards ilişki puanları kaynakların yayın yoğunluğundan etkilenebilir; SwissTargetPrediction hedefleri yapısal benzerliğe dayalı olasılıklardır; STRING kenarları ise fiziksel bağlanmanın yanında işlevsel ilişkiyi de kapsar. cytoHubba merkezilik skorları ve MCODE kümeleri ağın yapısal özelliklerine bağlıdır; yüksek skor biyolojik zorunluluk, doğrudan ilaç hedefi veya nedensellik anlamına gelmez. Ayrıca zenginleşme sonuçları genlerin hücrede yukarı ya da aşağı düzenlendiğini göstermez. Kullanılan meme kanseri alt tipi, sisplatin dozu, maruziyet süresi ve hücresel bağlam belirtilmeden bulgular klinik yanıta genellenemez. Bu nedenle çalışma, mekanizma kanıtı sunmaktan çok deneysel doğrulama için tutarlı bir aday ve yolak önceliklendirmesi sağlamaktadır.

SONUÇ

Bu bütünleşik in silico analizde meme kanseri, hücresel senesens ve sisplatinin tahmini hedefleri 69 ortak gende kesişmiştir. Ortak genlerden oluşturulan Cytoscape ilaç-gen ağı bir sisplatin düğümü, 69 gen düğümü ve 69 tahmini hedef ilişkisi içermiştir. SwissTargetPrediction sonuçlarında CA1, CA9, CA2, CA12 ve AKR1B1 en yüksek olasılığa sahip ortak adaylar arasında yer almıştır. Protein etkileşim ağında MCC ölçütüne göre HSP90AA1 ve SRC en üst sıradaki hub-gen adayları olmuş; MCODE değerlendirmesi 45 proteinlik ana küme ile dört karbonik anhidrazdan oluşan küçük kümeyi ortaya koymuştur. Gene Ontology analizleri peptidil-amino asit modifikasyonu, protein fosforilasyonu, katalitik aktivite ve protein kinaz aktivitesinde güçlü zenginleşme göstermiştir. KEGG, Reactome ve WikiPathways sonuçları ksenobiyotik metabolizması, kanser yolları, genel sinyal iletimi ve VEGFA-VEGFR2 sinyalini desteklemiştir.

Sonuçlar, sisplatinle ilişkili senesens yanıtının protein modifikasyonu, kinaz sinyali, metabolik yanıt ve tümör mikroçevresiyle bağlantılı çok bileşenli bir yapı içinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bununla birlikte veri tabanı kesişimleri ve hedef tahminleri doğrudan bağlanma, gen ifadesindeki yön değişikliği, nedensellik veya klinik yarar kanıtı değildir. Hub-genler ve ağ kümeleri deneysel çalışmalar için bir önceliklendirme listesi sunmaktadır; ancak doğrudan mekanizma kanıtı değildir. Bulguların meme kanseri hücre modellerinde sisplatin doz ve zaman serileriyle doğrulanması; senesens, apoptoz ve yeniden çoğalma kapasitesiyle ilişkilerinin işlevsel deneylerle incelenmesi gereklidir.

KAYNAKÇA

1. Gorgoulis V, Adams PD, Alimonti A, et al. Cellular senescence: defining a path forward. Cell. 2019;179(4):813-827. doi:10.1016/j.cell.2019.10.005.

2. Demaria M, O'Leary MN, Chang J, et al. Cellular senescence promotes adverse effects of chemotherapy and cancer relapse. Cancer Discovery. 2017;7(2):165-176. doi:10.1158/2159-8290.CD-16-0241.

3. Stelzer G, Rosen N, Plaschkes I, et al. The GeneCards suite: from gene data mining to disease genome sequence analyses. Current Protocols in Bioinformatics. 2016;54:1.30.1-1.30.33. doi:10.1002/cpbi.5.

4. Daina A, Michielin O, Zoete V. SwissTargetPrediction: updated data and new features for efficient prediction of protein targets of small molecules. Nucleic Acids Research. 2019;47(W1):W357-W364. doi:10.1093/nar/gkz382.

5. Szklarczyk D, Kirsch R, Koutrouli M, et al. The STRING database in 2025: protein networks with directionality of regulation. Nucleic Acids Research. 2025;53(D1):D730-D737. doi:10.1093/nar/gkae1113.

6. Shannon P, Markiel A, Ozier O, et al. Cytoscape: a software environment for integrated models of biomolecular interaction networks. Genome Research. 2003;13(11):2498-2504. doi:10.1101/gr.1239303.

7. Chin CH, Chen SH, Wu HH, Ho CW, Ko MT, Lin CY. cytoHubba: identifying hub objects and sub-networks from complex interactome. BMC Systems Biology. 2014;8(Suppl 4):S11. doi:10.1186/1752-0509-8-S4-S11.

8. Bader GD, Hogue CWV. An automated method for finding molecular complexes in large protein interaction networks. BMC Bioinformatics. 2003;4:2. doi:10.1186/1471-2105-4-2.

9. Gene Ontology Consortium. The Gene Ontology knowledgebase in 2023. Genetics. 2023;224(1):iyad031. doi:10.1093/genetics/iyad031.

10. Kanehisa M, Furumichi M, Sato Y, Ishiguro-Watanabe M, Tanabe M. KEGG: integrating viruses and cellular organisms. Nucleic Acids Research. 2021;49(D1):D545-D551. doi:10.1093/nar/gkaa970.

11. Gillespie M, Jassal B, Stephan R, et al. The Reactome pathway knowledgebase 2022. Nucleic Acids Research. 2022;50(D1):D687-D692. doi:10.1093/nar/gkab1028.

12. Martens M, Ammar A, Riutta A, et al. WikiPathways: connecting communities. Nucleic Acids Research. 2021;49(D1):D613-D621. doi:10.1093/nar/gkaa1024.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

SAFRANBOLU (KARABÜK) KENTSEL YEŞİL ALANLARINDAKİ ZEHİRLİ SÜS BİTKİLERİNİN VE FİTOTOKSİKOLOJİK RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Arife Nur CİHAN
Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0009-0005-1367-1529

Dr. Öğr. Üyesi Nagihan SEKİ
Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0002-4367-6153

ÖZET
Kentsel açık ve yeşil alanlar, kent ekolojisinin iyileştirilmesinde ve toplumun rekreasyonel ihtiyaçlarının karşılanmasında temel unsurlardır. Ancak peyzaj tasarımlarında bitkiler çoğunlukla estetik, çit veya gölge yapma gibi morfolojik ve fonksiyonel özellikleri dikkate alınarak seçilmekte; ihtiva ettikleri sekonder metabolitlerin canlı sağlığı üzerindeki toksikolojik etkileri çoğunlukla göz ardı edilmektedir. UNESCO Dünya Mirası Listesi'nde yer alan ve her yıl yoğun ziyaretçi akınına uğrayan Safranbolu (Karabük) kentsel açık alanlarında kullanılan toksik bitkiler, özellikle meraklı çocuklar ve evcil hayvanlar için önemli bir fitotoksikolojik risk kaynağıdır. Bu çalışmanın amacını; Safranbolu ilçesindeki kentsel park, bahçe ve kamusal yeşil alanlarda kullanılan süs bitkilerinin envanterinin çıkarılması, toksik özellik gösteren taksonların tespiti, zararlı vejetatif/generatif aksamlarının ve etken maddelerinin belirlenmesi oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında farklı vejetasyon periyotlarında Safranbolu'nun önde gelen açık yeşil alanlarında arazi çalışmaları yürütülmüş, toplanan örnekler herbaryum materyali haline getirilerek teşhis edilmiştir. Taksonların toksikolojik risk sınıfları, organ bazlı toksin dağılımları ve etken maddeleri güncel literatür verileri ışığında taranmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda Safranbolu kentsel yeşil alanlarında 16 familyaya ait 21 taksonun, insan ve hayvan sağlığı için risk oluşturan sekonder metabolitlere (alkaloidler, kardiyak ve siyanojenik glikozitler, saponinler, lektinler, oksalatlar ve kumarinler) sahip olduğu belirlenmiştir. Zehirli organların sırasıyla tohum, meyve ve yapraklarda yoğunlaştığı; Taxus baccata L. (taksisin), Robinia pseudoacacia L.(lektin), Pyracantha angustifolia (Franch.) C.K.Schneid. ve Prunus laurocerasus L. (siyanojenik glikozitler), Hedera helix L. (saponin) ve Buxus sempervirens L. (steroidal alkaloitler) gibi popüler türlerin yüksek toksisite riski barındırdığı görülmüştür. Sonuç olarak; çocuk oyun alanları ile yoğun rekreasyonel kullanıma açık kamusal parklarda, gösterişli morfolojik özelliklere (çekici meyve ve çiçek) sahip toksik süs bitkilerinin tercih edilmemesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra, alanda mevcut olan riskli taksonlar bilgilendirici uyarı levhalarıyla etiketlenmeli ve kentsel peyzaj tasarımında toksisite riski taşımayan tıbbi-aromatik türlerin kullanımı teşvik edilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel yeşil alanlar, Zehirli süs bitkileri, Fitotoksinler, Safranbolu, Peyzaj güvenliği.

EVALUATION OF POISONOUS ORNAMENTAL PLANTS AND PHYTOTOXICOLOGICAL RISKS IN URBAN GREEN SPACES OF SAFRANBOLU (KARABUK)

ABSTRACT

Urban open and green spaces play an indispensable role in maintaining environmental quality and meeting the recreational, social, and psychological demands of urban populations. Nevertheless, during the planting design process, taxa are predominantly chosen for their visual attractiveness, hedging suitability, or shading capacity, while their intrinsic toxicity and hazardous secondary metabolites are generally overlooked. In Safranbolu (Karabuk), an iconic UNESCO World Heritage town subject to intense domestic and international tourist traffic, the unintentional exposure to poisonous ornamental plants represents a critical public health and veterinary concern, particularly for vulnerable children and domestic animals. This study aimed to identify the ornamental flora utilized across public parks and gardens in Safranbolu, determine the poisonous taxa, and analyze their hazardous organs and toxic phytochemical constituents. Within the scope of the study, fieldwork was conducted in Safranbolu's prominent open green spaces during various vegetation periods, and the collected samples were processed into herbarium specimens and identified. Toxicological profiles, poisonous plant parts, and chemical groups (alkaloids, cardiac and cyanogenic glycosides, saponins, lectins, oxalates, coumarins) were comprehensively categorized through specialized pharmacological and landscape literature. The findings revealed that 21 taxa from 16 families present in Safranbolu's urban green areas possess secondary metabolites including alkaloids, cardiac and cyanogenic glycosides, saponins, lectins, oxalates, and coumarins that constitute a health hazard for both humans and animals. The findings indicated that toxicity is primarily localized in the seeds, fruits, and leaves, respectively, with prominent species including Taxus baccata L. (taxine), Robinia pseudoacacia L. (lectin), Pyracantha angustifolia (Franch.) C.K.Schneid., and Prunus laurocerasus L. (cyanogenic glycosides), Hedera helix L. (saponin), and Buxus sempervirens L. (steroidal alkaloids) posing a significant toxicity hazard. Consequently, ornamental taxa exhibiting high toxicity alongside prominent morphological features (conspicuous fruits and flowers) must be excluded from playgrounds and high-traffic recreational parks. In addition, existing high-risk species should be clearly designated with educational warning labels, and the integration of non-toxic medicinal and aromatic species should be promoted in urban landscape design.

Keywords: Urban green areas, Poisonous ornamental plants, Phytotoxins, Safranbolu, Landscape safety.

NONSENDROMİK DUDAK DAMAK YARIKLI TÜRK HASTALARDA MSX1 GENİ G267C POLİMORFİZMİNİN ARAŞTIRILMASI

Pınar İrem ATA
Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Moleküler Biyoloji ve Genetik A.B.D
ORCID: 0009-0003-8511-7282

Prof. Dr. Erhan ÖZDİLER
Kıbrıs Sağlık ve Toplum Bilimleri Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi
ORCID: 0000-0002-6574-5885

Prof. Dr. Ayşe Tuba ALTUĞ DEMİRALP
Ankara Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti A.B.D.
ORCID: 0000-0002-8351-2460

Doktor Öğretim Üyesi Orhan ÖZDİLER
Kıbrıs Sağlık ve Toplum Bilimleri Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi
ORCID: 0009-0006-6291-3069

Prof. Dr. Hakkı TAŞTAN
Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Moleküler Biyoloji ve Genetik A.B.D,
ORCID: 0000-0001-9540-2931

ÖZET

Amaç

Nonsendromik yarık dudak ve/veya damak (NSYDD), genetik ve çevresel faktörlerin etkileşimiyle ortaya çıkan en yaygın kraniyofasiyal anomalilerdendir. Muscle Segment Homeobox 1 (MSX1) geni, embriyonik yüz gelişimi sırasında mezenşimal-epitelyal etkileşimleri düzenleyen kritik bir transkripsiyon faktörüdür. Bu çalışmanın amacı, Türk popülasyonunda NSYDD tanısı almış bireylerde MSX1 geni ekzon 2 bölgesinde yer alan G267C (rs12532) polimorfizminin frekans dağılımlarını belirlemek ve varyasyonun etiyolojideki rolünü incelemektir.

Yöntem

Çalışmaya 70 NSYDD hastası ve 89 sağlıklı kontrol dahil edilmiştir. Periferik kandan izole edilen genomik DNA'lardan MSX1 geninin ekzon 2 bölgesi polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ile çoğaltılmış, polimorfizm analizi DdeI restriksiyon endonükleaz enzimi kullanılarak Restriksiyon Parça Uzunluk Polimorfizmi (RFLP) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel değerlendirmelerde Hardy-Weinberg Dengesi (HWD) ve Ki-kare (χ^2) testi POPGENE yazılımı ile yapılmıştır.

Bulgular

MSX1 G267C lokusunda heterozigot (GT) genotip sıklığı hasta grubunda %5.72 (n=4) oranında saptanmış, kontrol grubunda varyant genotipe rastlanmamıştır (%100 GG). Mutant T alleli frekansı vaka grubunda %2.86 olarak hesaplanmıştır. Kontrol grubu HWD sergilerken (p=1.0000), hasta grubunda gözlenen genotip frekanslarında HWD'den istatistiksel olarak ileri düzeyde anlamlı bir sapma tespit edilmiştir (χ^2=6.8529; p=0.0088).

Sonuç
Hasta grubunda saptanan güçlü HWD sapması ve mutant T allelinin vakalardaki kümelenmesi, MSX1 G267C varyasyonunun Türk popülasyonunda NSYDD gelişimi için önemli bir moleküler risk faktörü olabileceğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, varyantın patogenezdeki etkisinin "haploinsufficiency" (haployetersizlik) modeli ile uyumlu olduğunu desteklemekte ve popülasyona özgü moleküler tanı verilerinin klinik önemini vurgulamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Nonsendromik Yarık Dudak Damak, MSX1 Geni, G267C Polimorfizmi, RFLP, Türk Popülasyonu.

INVESTIGATION OF THE MSX1 GENE G267C POLYMORPHISM IN TURKISH PATIENTS WITH NONSYNDROMIC CLEFT LIP AND PALATE

ABSTRACT

Aim
Nonsyndromic cleft lip and/or palate (NSCL/P) is one of the most common craniofacial anomalies, resulting from the interaction of genetic and environmental factors. The Muscle Segment Homeobox 1 (MSX1) gene is a critical transcription factor regulating mesenchymal-epithelial interactions during embryonic facial development. This study aimed to determine the frequency distribution of the G267C (rs12532) polymorphism in exon 2 of the MSX1 gene in Turkish individuals diagnosed with NSCL/P and to investigate its role in disease etiology.

Method
The study included 70 patients with NSCL/P and 89 healthy controls. Exon 2 of the MSX1 gene was amplified by polymerase chain reaction (PCR) from genomic DNA isolated from peripheral blood, and polymorphism analysis was performed by Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP) using the DdeI restriction endonuclease. Hardy-Weinberg Equilibrium (HWE) and Chi-square (χ^2) tests were performed using POPGENE software.

Results
The heterozygous (GT) genotype frequency at the MSX1 G267C locus was 5.72% (n=4) in patients, whereas no variant genotype was observed in controls (100% GG). The mutant T allele frequency was 2.86% in the patient group. While the control group was in Hardy-Weinberg Equilibrium (p=1.0000), a statistically highly significant HWE deviation was detected in the patient group (χ^2=6.8529; p=0.0088).

Conclusion
The strong HWE deviation and clustering of the mutant T allele in the patient group suggest that the MSX1 G267C variation may be an important molecular risk factor for NSCL/P in the Turkish population. These findings support a pathogenic effect consistent with the haploinsufficiency model and underscore the clinical value of population-specific molecular data.
Keywords: Nonsyndromic Cleft Lip and Palate, MSX1 Gene, G267C Polymorphism, RFLP, Turkish Population.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BİTKİSEL YAĞ TÜKETİMİNDE MARGARİN TÜKETİM TERCİHİNİN SOSYOEKONOMİK BELİRLEYİCİLERİ: BINARY LOGİT MODEL YAKLAŞIMI

Doç. Dr. Rüveyda YÜZBAŞIOĞLU
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü
ORCID: 0000-0002-6520-0543

ÖZET

Bitkisel yağlar, insan beslenmesinde temel gıda ürünleri arasında yer almakta olup tüketim tercihleri sosyoekonomik koşullar, yaşam tarzı ve sağlık bilincindeki değişimlere bağlı olarak farklılaşmaktadır. Margarin tüketim tercihinde etkili olan faktörlerin belirlenmesi, tüketici davranışlarının anlaşılması ve tüketici odaklı pazarlama stratejilerinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Tokat ili merkez ilçede yaşayan tüketicilerin margarin tüketim tercihlerini etkileyen sosyoekonomik faktörleri Binary Logit Model kullanarak belirlemektir.

Araştırmanın materyalini Tokat ili merkez ilçede yaşayan 380 tüketiciden yüz yüze anket yöntemiyle elde edilen birincil veriler oluşturmaktadır. Katılımcıların ortalama yaşı 35.85 yıl olup, %62.89'u erkek ve %37.11'i kadındır. Araştırmaya katılan tüketicilerin %72.63'ünün margarin tükettiği belirlenmiştir. Analizde bağımlı değişken olarak margarin tüketim tercihi (1=tüketen, 0=tüketmeyen) kullanılmış; bağımsız değişkenler olarak cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim düzeyi, meslek, hane halkı büyüklüğü, gelir ve kolesterol hastalığı modele dâhil edilmiştir. Model sonuçlarının yorumlanmasında katsayıların yanı sıra ortalama marjinal etkilerden de yararlanılmıştır.

Binary Logit Model sonuçlarına göre model genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur (χ^2=27.74; $p<0.001$; McFadden Pseudo R^2=0.062). Yaş ve kolesterol hastalığı değişkenleri %1 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunurken, gelir ve cinsiyet değişkenlerinin %10 önem düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Yaşın margarin tüketim olasılığı üzerinde negatif, kolesterol hastalığının ise pozitif yönde etkili olduğu tespit edilmiştir. Ortalama marjinal etkilere göre yaşta meydana gelen bir yıllık artış, diğer değişkenler sabitken, margarin tüketme olasılığını yaklaşık 0.85 yüzde puan azaltırken, kolesterol hastalığı bulunan bireylerin margarin tüketme olasılığının bulunmayan bireylere göre yaklaşık 12.22 yüzde puan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Gelir ve cinsiyete ilişkin bulgular ise daha sınırlı istatistiksel kanıt olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, margarin tüketim tercihinin ekonomik, demografik ve sağlıkla ilişkili bireysel özelliklerle birlikte değerlendirilmesi gerektiği ortaya konulmuştur. Araştırmadan elde edilen bulguların, bitkisel yağ sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin pazar segmentasyonu çalışmalarına ve tüketici özelliklerini dikkate alan pazarlama stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bitkisel yağ, Margarin tüketim tercihi, Tüketici davranışı, Binary Logit Model, Sosyoekonomik faktörler.

SOCIOECONOMIC DETERMINANTS OF MARGARINE CONSUMPTION PREFERENCE IN VEGETABLE OIL CONSUMPTION: A BINARY LOGIT MODEL APPROACH

Abstract

Vegetable oils are among the staple foods in human nutrition, and consumption preferences vary depending on changes in socioeconomic conditions, lifestyle, and health awareness. Identifying the factors affecting margarine consumption preference is important for understanding consumer behavior and developing consumer-oriented marketing strategies. This study aims to determine the socioeconomic factors affecting the margarine consumption preferences of consumers living in the central district of Tokat Province using a Binary Logit Model.

The primary material of the study consists of data obtained through face-to-face surveys conducted with 380 consumers living in the central district of Tokat Province. The mean age of the participants was 35.85 years, with 62.89% being male and 37.11% female. It was determined that 72.63% of the consumers participating in the study consumed margarine. Margarine consumption preference (1=consumer, 0=non-consumer) was used as the dependent variable, while gender, age, marital status, education level, occupation, household size, income, and cholesterol condition were included in the model as independent variables. In addition to the estimated coefficients, average marginal effects were used to interpret the model results.

According to the Binary Logit Model results, the model was statistically significant overall (χ^2=27.74; $p<0.001$; McFadden Pseudo R^2=0.062). Age and cholesterol condition were statistically significant at the 1% level, while income and gender were significant at the 10% level. Age had a negative effect on the probability of margarine consumption, whereas cholesterol condition had a positive effect. According to the average marginal effects, a one-year increase in age, holding other variables constant, decreased the probability of margarine consumption by approximately 0.85 percentage points, while individuals with a cholesterol condition had an approximately 12.22 percentage-point higher probability of consuming margarine than those without a cholesterol condition. The findings for income and gender were considered to provide more limited statistical evidence.

In conclusion, the findings indicate that margarine consumption preference should be evaluated by considering economic, demographic, and health-related individual characteristics together. The findings of the study are expected to contribute to market segmentation efforts by firms operating in the vegetable oil sector and to the development of marketing strategies that take consumer characteristics into account.

Keywords: Vegetable oil, Margarine consumption preference, Consumer behavior, Binary Logit Model, Socioeconomic factors.

GİRİŞ

Gıda tüketim tercihleri, bireylerin yalnızca temel beslenme gereksinimlerinin karşılanmasına yönelik kararlar olmayıp gelir, eğitim, yaş, hane yapısı ve çalışma durumu gibi sosyoekonomik özelliklerin yanı sıra fiyat, tat, alışkanlık ve sağlık algısı gibi faktörlerin birlikte etkilediği çok boyutlu bir karar sürecidir. Bu yapı, günlük beslenmede önemli bir yere sahip olan bitkisel yağlar ve diğer yenilebilir yağların tercihinde de belirgin biçimde görülmektedir. Nitekim farklı ülkelerde gerçekleştirilen araştırmalar, yenilebilir yağ tüketiminin ve tercih edilen yağ türünün tüketicilerin sosyoekonomik özelliklerine göre farklılaşabildiğini ortaya koymaktadır (Govindaraj ve Suryaprakash, 2013; Górska-Warsewicz ve ark., 2019; Ullah ve ark., 2023; Rajkumar ve ark., 2026).

Govindaraj ve Suryaprakash (2013), eğitim ve gelir düzeyi ile hanede sağlık sorunu bulunmasının düşük doymuş yağ içeren yağların tercihinde önemli belirleyiciler olduğunu; daha büyük hanelerin ve sosyoekonomik açıdan daha dezavantajlı grupların ise düşük fiyatlı palm yağına yöneldiğini belirlemiştir.

Yenilebilir yağlar içerisinde margarin de hane halklarının tüketim ve harcama yapısı içerisinde yer alan ürünlerden biridir. Górska-Warsewicz ve ark. (2019), Polonya'da 36,886 haneyi kapsayan veriler üzerinden tereyağı, bitkisel yağlar, zeytinyağı, margarin ve diğer yağların tüketim yapısını incelemiş ve sosyo-demografik ve ekonomik özelliklerin yağ tüketimindeki farklılaşmanın değerlendirilmesinde önemli olduğunu göstermiştir. Araştırmada bitkisel yağlar, margarin ve tereyağının tüketim yapısı içerisinde önemli bir yere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, margarin tüketiminin diğer yağ türlerinden tamamen bağımsız bir tercih olarak değil, tüketicilerin alternatif yağlar arasındaki seçimlerinin ve genel yağ tüketim yapısının bir parçası olarak ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Türkiye'de de yenilebilir yağ ve yağ ürünlerinin tüketimi hanelerin sosyoekonomik özellikleriyle ilişkili bir yapı göstermektedir. Aytop ve ark. (2025), Türkiye'de 12,023 bireye ait verilerden yararlanarak hanelerin yenilebilir yağ ve yağ ürünlerine yönelik harcamalarını incelemiş ve hanelerde margarin tüketim oranını %32.9 olarak belirlemiştir. Aynı araştırmada yenilebilir yağ ve yağ ürünlerinin tüketim ve harcama yapısının sosyo-demografik özelliklere göre farklılaştığı ortaya konulmuştur. Bu durum, margarin tüketiminin de gelir ve eğitim başta olmak üzere tüketicilerin sosyoekonomik özellikleriyle birlikte değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Tüketicilerin yağ tercihleri yalnızca ekonomik ve demografik özelliklerle açıklanmamakta; sağlık kaygıları, tat ve tüketim alışkanlıkları da tercih sürecinde etkili olabilmektedir. Ullah ve ark. (2023), Pakistan'da tüketicilerin bitkisel yağ ve geleneksel hidrojenize yağ tercihlerini incelemiş ve değişen tüketim tercihlerinde sağlık kaygısı, tat, farkındalık ve sosyoekonomik faktörlerin birlikte rol oynadığını ortaya koymuştur. Benzer biçimde Govindaraj ve Suryaprakash (2013), sağlık sorunu geçmişi bulunan hanelerin düşük doymuş yağ içeren yağları tercih etme eğilimlerinin farklılaştığını belirlemiştir. Dolayısıyla yenilebilir yağ tercihlerinin incelenmesinde sağlık durumunu yansıtan değişkenlerin sosyoekonomik değişkenlerle birlikte ele alınması, tüketici kararlarının daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayabilmektedir.

Tüketici tercihlerinin yerel düzeyde incelenmesi de önem taşımaktadır. Ertürk ve Erdal (2026) tarafından Tokat ili kentsel alanda gerçekleştirilen araştırmada tüketicilerin %85.6'sının ayçiçek yağı, %62.0'sinin ise zeytinyağı kullandığı; ayçiçek yağı tercihinde fiyat uygunluğu (%68.1), alışkanlık (%51.3) ve tadın (%38.4) öne çıktığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, aynı coğrafi alanda dahi yağ tercihinin ekonomik faktörler ile tüketim alışkanlıklarının birlikte etkisi altında şekillenebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte söz konusu araştırma farklı bitkisel yağ türlerine yönelik tüketici tercihlerini ele alırken, margarin tüketme veya tüketmeme kararının sosyoekonomik değişkenler çerçevesinde doğrudan modellenmesi farklı bir araştırma sorusu ortaya koymaktadır.

Güncel çalışmalar, yenilebilir yağ tüketicilerinin homojen bir yapıya sahip olmadığını ve tüketim davranışlarının sosyoekonomik profillere göre farklılaşabileceğini de göstermektedir. Rajkumar ve ark. (2026), Kalyana Karnataka bölgesinde kırsal ve kentsel tüketicileri karşılaştırmış; eğitim, gelir, meslek ve aile yapısı gibi sosyoekonomik özelliklerin yenilebilir yağ tüketim davranışının değerlendirilmesinde önemli olduğunu belirtmiştir. Bu çerçevede, belirli bir ürünün tüketilip tüketilmemesine ilişkin kararın bireysel ve hane halkı özellikleri üzerinden modellenmesi, tüketici davranışındaki farklılıkların ortaya konulmasına olanak sağlamaktadır.

Bu araştırmanın amacı, Tokat ili merkez ilçede yaşayan tüketicilerin margarin tüketim tercihlerini etkileyen sosyoekonomik faktörleri belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda margarin tüketim tercihi, tüketmeyenler için 0 ve tüketenler için 1 olarak tanımlanmış ve Binary Logit Model kullanılarak cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim düzeyi, meslek, hane halkı büyüklüğü, gelir ve kolesterol durumunun margarin tüketim tercihi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırmanın, margarin tüketimini genel bitkisel yağ tercihinden ayrıştırarak ikili bir tüketim kararı şeklinde ele alması ve bu kararı sosyoekonomik özellikler ile sağlık durumuna ilişkin bir değişken çerçevesinde değerlendirmesi bakımından mevcut literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Araştırmanın ana materyalini, Tokat ili merkez ilçede yaşayan bireylerden yüz yüze anket yöntemiyle elde edilen birincil veriler oluşturmuştur. Araştırmanın ikincil materyalini ise konu ile ilgili daha önce yapılmış bilimsel çalışmalar, tezler, inceleme ve derleme çalışmaları ile ilgili raporlar oluşturmuştur.

Verilerin Toplanmasında İzlenen Yöntem

Araştırmada ana kitleyi temsil edecek örnek hacminin belirlenmesinde oransal örnekleme yaklaşımından yararlanılmıştır (Newbold, 1995; Bektaş ve ark., 2010; Ağır ve ark., 2018). Örnek hacminin belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$n = [N \times p \times (1-p)] / [(N-1) \times \sigma^2_{px} + p \times (1-p)]$$

Eşitlikte; n örnek hacmini, N ana kitle büyüklüğünü, p incelenen özelliğin ana kitle içerisindeki tahmini oranını ve σ^2_{px} oranın varyansını ifade etmektedir.

Ana kitleyi oluşturan bireylerin incelenen özellikler bakımından dağılımı başlangıçta bilinmediğinden, örnek hacmini maksimum düzeye çıkaracak şekilde p=0.50 ve q=(1−p)=0.50 olarak alınmıştır. Örnek hacminin hesaplanmasında %95 güven düzeyi ve %5 hata payı esas alınmış ve araştırma için örnek hacmi 380 birey olarak belirlenmiştir. Araştırma kapsamına alınan bireyler tesadüfi olarak seçilmiş ve veriler yüz yüze anket yöntemiyle toplanmıştır.

Anket formunda tüketicilerin demografik ve sosyoekonomik özelliklerinin yanı sıra margarin tüketim tercihlerinin belirlenmesine yönelik sorulara yer verilmiştir. Elde edilen 380 kullanılabilir anket değerlendirmeye alınmış ve analizler bu gözlemler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Verilerin Analizinde İzlenen Yöntem

Araştırma kapsamında elde edilen veriler Microsoft Excel programı aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmış ve analize hazır hale getirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde öncelikle tanımlayıcı istatistiklerden yararlanılmış; tüketicilerin demografik ve sosyoekonomik özellikleri ile margarin tüketim durumlarının ortaya konulmasında frekans, yüzde, ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerler kullanılmıştır.

Tüketicilerin margarin tüketim tercihlerini etkileyen faktörlerin belirlenmesinde Binary Logit Model kullanılmıştır. Binary Logit Modelin tercih edilmesinin temel nedeni, araştırmanın bağımlı değişkeninin iki kategorili bir yapıya sahip olmasıdır. Modelde bağımlı değişken margarin tüketim tercihi olarak belirlenmiş; margarin tüketmeyen bireyler 0, margarin tüketen bireyler ise 1 olarak kodlanmıştır.

Binary Logit Modelde bir bireyin margarin tüketme olasılığı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$P_i = 1 / [1 + exp(-Z_i)]$$

Burada P_i, i'nci bireyin margarin tüketme olasılığını ifade etmektedir. Modelin doğrusal bileşeni ise aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$Z_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \ldots + \beta_k X_{ki}$$

Eşitlikte β_0 sabit terimi, $\beta_1 \ldots \beta_k$ tahmin edilen parametreleri, $X_1 \ldots X_k$ ise margarin tüketim tercihini açıklamak amacıyla modele dâhil edilen bağımsız değişkenleri göstermektedir.
Araştırmada tahmin edilen model genel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:
Margarin Tüketim Tercihi = f (Cinsiyet, Yaş, Medeni Durum, Eğitim, Meslek, Hane Halkı Büyüklüğü, Gelir, Kolesterol)
Modelde kullanılan değişkenlerin tanımları ve kodlamaları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Binary Logit Modelde Kullanılan Değişkenler ve Tanımları

Değişken	**Tanımlama/Kodlama**
Margarin tüketim tercihi	0=Tüketmeyen, 1=Tüketen
Cinsiyet	0=Kadın, 1=Erkek
Yaş	Yıl
Medeni durum	0=Bekâr, 1=Evli
Eğitim	0=Lise altı, 1=Lise ve üzeri
Meslek	0=Çalışmıyor, 1=Çalışıyor
Hane halkı büyüklüğü	Kişi
Gelir	TL
Kolesterol	0=Yok, 1=Var*

Binary Logit Modelde tahmin edilen katsayıların işaretleri, bağımsız değişkenlerin margarin tüketim tercihi üzerindeki etkilerinin yönünü göstermektedir. Bununla birlikte, model katsayılarının doğrudan olasılıktaki değişim olarak yorumlanamaması nedeniyle, değişkenlerin margarin tüketme olasılığı üzerindeki etkilerinin daha açık biçimde ortaya konulabilmesi amacıyla ortalama marjinal etkiler (Average Marginal Effects) hesaplanmıştır. Sürekli değişkenler açısından marjinal etkiler, ilgili bağımsız değişkende meydana gelen bir birimlik değişimin margarin tüketme olasılığında meydana getirdiği değişimi göstermektedir. Kukla değişkenlerde ise marjinal etki, değişkenin 0 kategorisinden 1 kategorisine geçmesinin tahmin edilen olasılık üzerindeki etkisini ifade etmektedir.
Modelin genel istatistiksel anlamlılığının değerlendirilmesinde olabilirlik oranı (Likelihood Ratio) Ki-kare testinden, modelin açıklama düzeyinin değerlendirilmesinde McFadden Pseudo R^2 değerinden yararlanılmıştır. Ayrıca gözlenen ve model tarafından tahmin edilen olasılıklar arasındaki uyumun değerlendirilmesinde Hosmer–Lemeshow testi kullanılmıştır. Tahmin edilen katsayıların istatistiksel anlamlılıkları %1, %5 ve %10 önem düzeylerinde incelenmiştir. Verilerin düzenlenmesi ve tanımlayıcı istatistiklerin elde edilmesinde Microsoft Excel, istatistiksel analizlerde ise SPSS 17.0 ve NLOGIT 6 paket programlarından yararlanılmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Tüketicilerin Sosyoekonomik Özellikleri ve Margarin Tüketim Tercihleri

Araştırma kapsamında Tokat ili merkez ilçede yaşayan toplam 380 tüketici ile görüşülmüştür. Tüketicilerin bazı sosyoekonomik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Katılımcıların yaşları 18 ile 70 yıl arasında değişmekte olup, ortalama yaş 35.85±9.72 yıl olarak belirlenmiştir. Ortalama hane halkı büyüklüğü ise 3.49±1.29 kişidir. Tüketicilerin %62.89'u erkek, %37.11'i kadın; %80.26'sı evli, %19.74'ü bekârdır. Eğitim düzeyi bakımından tüketicilerin %61.84'ü lise altı, %38.16'sı lise ve üzeri eğitim grubunda yer alırken, katılımcıların %71.84'ünün çalıştığı, %28.16'sının ise çalışmadığı belirlenmiştir.

Tüketicilerin bu sosyoekonomik özellikleri, yenilebilir yağ tüketim tercihlerinin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Nitekim yağ tüketimine ilişkin araştırmalarda yaş, eğitim, gelir, hane yapısı ve çalışma durumu gibi sosyoekonomik özelliklerin tüketim davranışındaki farklılıkları açıklamak amacıyla sıklıkla ele alındığı görülmektedir. Górska-Warsewicz ve ark. (2019), tereyağı, margarin, bitkisel yağ ve zeytinyağı tüketim örüntülerinin farklılaşmasında özellikle eğitim düzeyi, gelir, kentleşme derecesi ve hanenin sosyoekonomik yapısının öne çıktığını belirlemiştir. Benzer şekilde Rajkumar ve ark. (2026), yenilebilir yağ tüketicilerinin sosyoekonomik yapısını inceledikleri araştırmada eğitim, gelir, meslek ve aile yapısının tüketim davranışlarının değerlendirilmesinde önemli özellikler olduğunu bildirmiştir. Bu çerçevede, araştırmada ele alınan sosyoekonomik değişkenler yalnızca örneklemin genel yapısını tanımlamakla kalmayıp, izleyen aşamada margarin tüketim tercihinin belirleyicilerini incelemek amacıyla oluşturulan Binary Logit Modelin açıklayıcı değişkenlerinin de temelini oluşturmaktadır.

Tablo 2. Tüketicilerin Bazı Sosyoekonomik Özellikleri

Özellik	**n**	**% / Ortalama±SS**
Görüşülen tüketici sayısı	380	100.00
Yaş (yıl)	380	35.85±9.72
Yaş (Min.–Maks.)	380	18–70
Hane halkı büyüklüğü (kişi)	380	3.49±1.29
Kadın	141	37.11
Erkek	239	62.89
Bekâr	75	19.74
Evli	305	80.26
Lise altı	235	61.84
Lise ve üzeri	145	38.16
Çalışmıyor	107	28.16
Çalışıyor	273	71.84

Tüketicilerin margarin tüketim tercihleri incelendiğinde, 380 tüketicinin %72.63'ünün margarin tükettiği, %27.37'sinin ise margarin tüketmediği belirlenmiştir (Tablo 3). Buna göre araştırma kapsamındaki tüketicilerin yaklaşık dörtte üçünün margarin tüketimini tercih ettiği görülmektedir.

Tablo 3. Tüketicilerin Margarin Tüketim Durumları

Margarin tüketim durumu	**n**	**%**
Tüketmeyen	104	27.37
Tüketen	276	72.63
Toplam	380	100.00

Margarin tüketen ve tüketmeyen bireylerin bazı özellikleri karşılaştırıldığında, margarin tüketen bireylerin ortalama yaşının 34.95 yıl, tüketmeyen bireylerin ortalama yaşının ise 38.24 yıl olduğu görülmektedir. Tanımlayıcı düzeyde gözlenen bu farklılıkların, diğer sosyoekonomik değişkenler kontrol edildiğinde margarin tüketim tercihi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla Binary Logit Model tahmin edilmiştir.

Margarin Tüketim Tercihini Etkileyen Faktörler

Tüketicilerin margarin tüketim tercihlerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi amacıyla Binary Logit Model kullanılmıştır. Modelde bağımlı değişken margarin tüketim tercihi olup, margarin tüketenler 1, tüketmeyenler 0 olarak kodlanmıştır. Açıklayıcı değişkenler olarak cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim düzeyi, meslek, hane halkı büyüklüğü, gelir ve kolesterol durumu modele dâhil edilmiştir. Model sonuçlarının yorumlanmasında katsayılarla birlikte ortalama marjinal etkilerden yararlanılmıştır.

Modelin olabilirlik oranı testi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (χ^2=27.745; sd=8; p<0.001). Bu sonuç, açıklayıcı değişkenlerin birlikte ele alındığında yalnızca sabit terimli modele kıyasla modelin açıklama performansını istatistiksel olarak anlamlı biçimde iyileştirdiğini göstermektedir. McFadden Pseudo R^2 değeri 0.062 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte Hosmer–Lemeshow testinin anlamlı bulunması (χ^2=18.228; p=0.020), gözlenen ve model tarafından tahmin edilen olasılıklar arasındaki uyum açısından dikkatli olunması gerektiğine işaret etmektedir. Dolayısıyla modelin genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı olmakla birlikte kalibrasyon bakımından bir sınırlılık taşıdığı dikkate alınarak yorumlanması gerekmektedir.

Model sonuçlarına göre yaş ve kolesterol değişkenleri %1 önem düzeyinde; cinsiyet ve gelir değişkenleri ise %10 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Medeni durum, eğitim düzeyi, meslek ve hane halkı büyüklüğü açısından ise bu örneklemde margarin tüketim tercihi ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir.

Yaş değişkeninin katsayısı negatif ve %1 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Ortalama marjinal etkiye göre tüketicinin yaşındaki bir yıllık artış, diğer değişkenler sabitken, margarin tüketme olasılığını yaklaşık 0.85 yüzde puan azaltmaktadır. Bu sonuç, araştırma örnekleminde daha genç tüketicilerin margarin tüketme olasılığının görece daha yüksek olduğunu göstermektedir. Tüketicilerin yaş özelliklerinin yenilebilir yağ tüketim tercihleriyle ilişkili olabileceği daha önce yapılan çalışmalarda da ortaya konulmuştur (Górska-Warsewicz et al., 2019; Rajkumar et al., 2026). Bununla birlikte, yaşın tüketim tercihleri üzerindeki etkisinin ürün ve tüketici gruplarına göre farklılaşabileceği dikkate alınarak, mevcut araştırmada belirlenen negatif ilişki margarin tüketimi özelinde değerlendirilmelidir.

Gelir değişkeninin katsayısı negatif olup %10 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Buna göre gelir arttıkça margarin tüketme olasılığının azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Yenilebilir yağ tüketimine ilişkin literatürde gelir düzeyinin tüketicilerin tercih ettikleri yağ türleri ve harcama yapısı üzerinde etkili olabildiği bildirilmektedir. Türkiye'de Aytop ve ark. (2025), yenilebilir yağ ve yağ ürünlerine yönelik tüketim ve harcamaların sosyoekonomik özelliklere göre farklılaştığını ortaya koyarken; Govindaraj ve Suryaprakash (2013) ile Ullah ve ark. (2023) gelir düzeyinin yağ tercihlerindeki farklılaşmayla ilişkili olduğunu göstermiştir.

Bununla birlikte, mevcut araştırmada gelir değişkeninin yalnızca %10 önem düzeyinde anlamlı olması nedeniyle belirlenen negatif ilişki sınırlı istatistiksel kanıt olarak değerlendirilmelidir.

Kolesterol değişkeni pozitif katsayıya sahip olup %1 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Ortalama marjinal etki 0.1222 olarak hesaplanmıştır. Buna göre kolesterol değişkeninde 0 kategorisinden 1 kategorisine geçiş, diğer değişkenler sabitken, margarin tüketme olasılığında yaklaşık 12.22 yüzde puanlık bir farklılıkla ilişkilidir. Yağ tercihine ilişkin araştırmalar, sağlıkla ilişkili faktörlerin tüketicilerin yağ seçimini etkileyebildiğini göstermektedir. Govindaraj ve Suryaprakash (2013), hanedeki sağlık sorunları ile yenilebilir yağ seçimi arasında ilişki belirlerken, Ullah ve ark. (2023) sağlık kaygılarının tüketicilerin pişirme yağı tercihlerinde rol oynadığını bildirmiştir. Bu açıdan mevcut bulgu, sağlıkla ilişkili özelliklerin yağ tüketim kararlarıyla bağlantılı olabileceğini gösteren literatürle birlikte değerlendirilebilir. Bununla birlikte, bu ilişki nedensel veya klinik bir etki olarak yorumlanmamalıdır.

Cinsiyet değişkeninin katsayısı pozitif olup %10 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Değişkenin 0=kadın ve 1=erkek olarak kodlanması dikkate alındığında, diğer değişkenler sabitken erkek tüketicilerin margarin tüketme olasılığının kadın tüketicilere göre yaklaşık 10.34 yüzde puan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Cinsiyete göre yağ tüketimindeki farklılıklar literatürde de ortaya konulmuştur. Barrea et al. (2024), kadınların erkeklere kıyasla margarin ile birlikte tereyağı ve krema tüketimlerinin daha düşük olduğunu belirlemiştir. Bununla birlikte, cinsiyet etkisinin yönünün ürün ve araştırma bağlamına göre farklılaşabildiği görülmektedir. Nitekim Prättälä et al. (2016), Finlandiya'da gerçekleştirdikleri uzun dönemli izlem araştırmasında kadınların erkeklere göre margarin kullanımından tereyağı kullanımına geçme olasılığının daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle mevcut araştırmada erkekler için belirlenen daha yüksek margarin tüketme olasılığı, genel yağ tüketimine ilişkin bir cinsiyet farklılığı olarak değil, araştırma örneklemindeki margarin tüketim tercihi özelinde değerlendirilmelidir. Ayrıca cinsiyet değişkeninin yalnızca %10 önem düzeyinde anlamlı olması nedeniyle bu bulgu sınırlı istatistiksel kanıt olarak değerlendirilmelidir.

Medeni durum, eğitim düzeyi, meslek ve hane halkı büyüklüğü değişkenlerinin katsayıları istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu sonuç, söz konusu sosyoekonomik özelliklerin tüketici davranışında genel olarak önemsiz olduğu anlamına gelmemektedir. Nitekim Górska-Warsewicz ve ark. (2019), yağ tüketim örüntülerinin eğitim, gelir, kentleşme ve hanenin sosyoekonomik yapısına göre farklılaşabildiğini; Govindaraj ve Suryaprakash (2013) ise eğitim ve hane özelliklerinin yenilebilir yağ tercihiyle ilişkili olabileceğini göstermiştir. Mevcut araştırmada ise diğer değişkenler kontrol edildiğinde bu faktörlerle margarin tüketme olasılığı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Bu farklılık, tüketici tercihlerinin ürün, bölge ve örneklem özelliklerine bağlı olarak değişebileceğini düşündürmektedir.

Genel olarak Binary Logit Model sonuçları, araştırma örnekleminde margarin tüketim tercihi ile en belirgin istatistiksel ilişkilerin yaş ve kolesterol durumu açısından ortaya çıktığını; gelir ve cinsiyet açısından ise daha sınırlı kanıt bulunduğunu göstermektedir. Bulgular, margarin tüketiminin yalnızca ekonomik özelliklerle açıklanamayacağını, demografik ve sağlıkla ilişkili bireysel özelliklerin de tüketim tercihiyle ilişkili olabileceğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, McFadden Pseudo R^2 değerinin düşük olması ve Hosmer–Lemeshow testinin anlamlı bulunması, margarin tüketim tercihinin modelde yer almayan fiyat, tat, alışkanlık, sağlık algısı ve ürün özelliklerine ilişkin değerlendirmeler gibi başka faktörlerle de ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle model sonuçlarının söz konusu uyum sınırlılıkları dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tablo 4. Margarin Tüketim Tercihine İlişkin Binary Logit Model ve Ortalama Marjinal Etki Sonuçları

Değişken	**B**	**Std. Hata**	**z**	**p**	**Marjinal Etki**
Sabit	2.7356***	0.6772	4.04	<0.001	–
Cinsiyet	0.5467*	0.3103	1.76	0.078	0.1034*
Yaş	-0.0461***	0.0146	-3.16	0.002	-0.0085***
Medeni durum	0.1361	0.3613	0.38	0.706	0.0255
Eğitim	-0.2659	0.2814	-0.94	0.345	-0.0497
Meslek	-0.2625	0.3546	-0.74	0.459	-0.0472
Hane halkı büyüklüğü	-0.0032	0.0990	-0.03	0.974	-0.0006
Gelir	-0.00017*	0.00009	-1.81	0.070	-0.000031*
Kolesterol	0.6708***	0.2530	2.65	0.008	0.1222***

*Not: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 önem düzeylerini göstermektedir. Kukla değişkenlerin marjinal etkileri, diğer değişkenler sabitken 0 kategorisinden 1 kategorisine geçişin tahmin edilen olasılıktaki değişimini ifade etmektedir.*

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada, Tokat ili merkez ilçede yaşayan tüketicilerin margarin tüketim tercihlerini etkileyen sosyoekonomik faktörler Binary Logit Model kullanılarak incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre tüketicilerin %72.63'ünün margarin tükettiği belirlenmiştir. Model sonuçları, margarin tüketim tercihi ile en belirgin istatistiksel ilişkilerin yaş ve kolesterol durumu açısından ortaya çıktığını göstermiştir. Yaş arttıkça margarin tüketme olasılığının azaldığı, kolesterol değişkeninin ise margarin tüketim tercihi ile pozitif yönde ilişkili olduğu belirlenmiştir. Cinsiyet ve gelir değişkenleri yalnızca %10 önem düzeyinde anlamlı bulunurken, medeni durum, eğitim düzeyi, meslek ve hane halkı büyüklüğü ile margarin tüketim tercihi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır.

Elde edilen bulgular, margarin tüketim tercihinin yalnızca ekonomik faktörlerle değil, demografik ve sağlıkla ilişkili bireysel özelliklerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu doğrultuda, bitkisel yağ sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin tüketici gruplarının demografik ve sosyoekonomik farklılıklarını dikkate alması, pazar segmentasyonu ve tüketici odaklı pazarlama stratejilerinin geliştirilmesi açısından yararlı olabilir. Bununla birlikte, modelin uyum göstergeleri dikkate alındığında elde edilen sonuçların temkinli yorumlanması gerekmektedir.

Gelecekte yapılacak araştırmalarda fiyat, tat, marka tercihi, tüketim alışkanlığı, sağlık algısı ve ürün içeriğine ilişkin bilgi düzeyi gibi davranışsal ve ürüne ilişkin değişkenlerin de modellere dâhil edilmesi, margarin tüketim tercihlerinin daha kapsamlı biçimde açıklanmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca tüketicilerin margarin, tereyağı ve farklı bitkisel yağ türleri arasındaki tercihlerini birlikte ele alan çalışmaların, gıda talebi ve tüketici davranışlarının daha ayrıntılı değerlendirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Ağır, M., Boran, C., Özden, F., & Artukoğlu, M. (2018). Zeytinyağında tüketici tercihleri üzerine bir araştırma: İzmir ili Dikili ilçesi örneği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 55*(4), 81–90.

Aytop, Y., Akbay, C., & Dağ, M. M. (2025). Determination of household expenditure for edible oils and fats in Türkiye. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 12*(4), 1175–1185. https://doi.org/10.30910/turkjans.1665207

Bektaş, Z., Miran, B., Uysal, Ö., & Günden, C. (2010). Dondurulmuş gıda ürünlerine yönelik tüketici tercihleri: İzmir ili örneği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 47*(3), 211–221.

Ertürk, A., & Erdal, G. (2026). Socioeconomic factors shaping consumer preferences for vegetable oil: The case of Tokat province. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University, 43*(2), 164–173. https://doi.org/10.55507/gopzfd.1886280

Górska-Warsewicz, H., Rejman, K., Laskowski, W., & Czeczotko, M. (2019). Butter, margarine, vegetable oils, and olive oil in the average Polish diet. *Nutrients, 11*(12), 2935. https://doi.org/10.3390/nu11122935

Govindaraj, G. N., & Suryaprakash, S. (2013). Determinants of edible oil choice by households in Tamil Nadu, India. *Ecology of Food and Nutrition, 52*(6), 497–514. https://doi.org/10.1080/03670244.2012.748458

Newbold, P. (1995). *Statistics for business and economics*. Prentice Hall International Editions.

Rajkumar, Jainuddin, S. M., Joshi, A. T., Wali, V. B., & Raj, S. (2026). Socio-economic profile of the edible oil consumers in Kalyana Karnataka, Karnataka, India. Journal of Scientific Research and Reports, 32(7), 25–31. https://doi.org/10.9734/jsrr/2026/v32i74285

Ullah, S., Ali, C. I., Ahmed, U. I., Nasir, S., & Masood, A. (2023). Health or taste: Understanding consumers preferences towards cooking mediums in Pakistan. *Sarhad Journal of Agriculture, 39*(3), 738–744. https://doi.org/10.17582/journal.sja/2023/39.3.738.744

Barrea, L., Verde, L., Suárez, R., Frias-Toral, E., Andrade Vásquez, C., Colao, A., Savastano, S., & Muscogiuri, G. (2024). Sex-differences in Mediterranean diet: A key piece to explain sex-related cardiovascular risk in obesity? A cross-sectional study. *Journal of Translational Medicine, 22*, 44. https://doi.org/10.1186/s12967-023-04814-z

Prättälä, R., Levälahti, E., Lallukka, T., Männistö, S., Paalanen, L., Raulio, S., Roos, E., Suominen, S., & Mäki-Opas, T. (2016). From margarine to butter: Predictors of changing bread spread in an 11-year population follow-up. *Public Health Nutrition, 19*(9), 1707–1717. https://doi.org/10.1017/S1368980015003390

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

FORGIVENESS, MERCY AND JUSTICE: A CHRISTIAN PERSPECTIVE

Dr. Peter TAVERSHIMA KUMAGA
Department Of Relıgıous Studıes, Natıonal Open Unıversıty Of Nıgerıa
ORCID: 0009-0005-3221-3582

Dr. Peter AYUBA MELLEMUT
Department Of Chrıstıan Relıgıous Studıes, Federal Unıversıty Of Educatıon

Abstract
Forgiveness, mercy, and justice are central concepts in Christian theology and ethics, yet their relationship remains complex in a world characterised by violence, inequality, conflict, revenge, and social fragmentation. While justice is frequently associated with accountability and the protection of rights, forgiveness is sometimes interpreted as the abandonment of justice, and mercy as an unjustifiable suspension of deserved consequences. Christian theology, however, presents these concepts not as mutually exclusive but as complementary dimensions of God's redemptive purpose. This paper examines forgiveness, mercy, and justice from a Christian perspective, drawing particularly on biblical teachings concerning God's character, the ministry and death of Jesus Christ, reconciliation, and Christian responsibility toward offenders and victims. The paper employs a theological and ethical method involving biblical interpretation, conceptual analysis, and engagement with relevant scholarly literature. It argues that Christian forgiveness does not require the denial of truth or the elimination of accountability; rather, it releases vengeance while creating possibilities for restoration. Mercy does not abolish justice but humanises its exercise, while justice without mercy can degenerate into retaliation. The paper further argues that the cross of Christ provides a central Christian paradigm in which divine justice, mercy, forgiveness, and reconciliation converge. In contexts of communal violence and social tension, particularly in Africa, this integrated Christian ethic can contribute to restorative justice, reconciliation, peacebuilding, and social healing. The paper concludes with recommendations for churches, Christian leaders, theological institutions, and wider society.
Keywords: Forgiveness, Mercy, Justice, Christianity, Reconciliation, Restorative Justice, Christian Ethics

Introduction

Human societies have always struggled with wrongdoing, injury, injustice, and the question of how people should respond when they have been offended or harmed. Individuals experience betrayal, family conflicts, abuse, discrimination, violence, and loss, while communities and nations experience ethnic conflict, religious violence, political oppression, terrorism, war, and other forms of collective suffering. These realities raise fundamental moral questions: What should be done when wrong has occurred? Should offenders simply be punished? Should victims forgive? Can mercy be extended without compromising justice? Is forgiveness possible without accountability? Can justice be pursued without producing revenge?

Christianity approaches these questions through a distinctive theological understanding of God, humanity, sin, redemption, and reconciliation. Scripture repeatedly portrays God as both righteous and merciful. The Psalmist declares that "the LORD is merciful and gracious, slow to anger, and plenteous in mercy" (Ps. 103:8, KJV), while the same biblical tradition affirms God's commitment to justice and righteousness (Ps. 89:14). The New Testament presents Jesus Christ as the fullest revelation of God's character, particularly through his teachings concerning forgiveness, his treatment of sinners, and his sacrificial death.

Forgiveness, mercy, and justice are therefore not peripheral concerns within Christianity. They constitute significant dimensions of Christian discipleship and social ethics. Jesus teaches his followers to forgive repeatedly (Matt. 18:21–22), to pray for those who persecute them (Matt. 5:44), and to seek reconciliation (Matt. 5:23–24). At the same time, Jesus does not treat evil as morally insignificant. His ministry confronted hypocrisy, exploitation, oppression, and religious abuse (Matt. 23:13–36; Mark 11:15–17).

The theological difficulty lies partly in the tendency to place forgiveness and justice on opposite sides of an ethical divide. Forgiveness may be perceived as leniency, whereas justice may be associated with punishment. Mercy may similarly be understood as the suspension of deserved consequences. Such interpretations can create a false opposition between the three concepts.

Daniel Philpott (2013, pp. 400–416) argues that forgiveness need not contradict justice when justice is understood in terms of the restoration of right relationships. Stephen J. Pope (2014, pp. 174–196) similarly maintains that forgiveness can contribute to reconciliation and restorative justice. Alan J. Torrance (2017, pp. 293–313) further argues that forgiveness belongs to the normative shape of Christian moral character. These perspectives suggest that forgiveness, mercy, and justice should be examined relationally rather than in isolation. (Wiley Online Library)

This paper therefore examines the relationship between forgiveness, mercy, and justice from a Christian perspective. It contends that a mature Christian ethic neither trivialises wrongdoing nor glorifies retaliation. Instead, it seeks truth, accountability, mercy, restoration, reconciliation, and ultimately the transformation of relationships.

Conceptual Clarification

➢ Forgiveness

Forgiveness can be understood as the deliberate relinquishment of resentment, vengeance, and the desire to retaliate against a person who has committed a wrong. In Christian theology, however, forgiveness is more than an emotional decision to "forget" an offence. It is grounded in God's own forgiveness and is therefore connected with grace, reconciliation, repentance, and transformed relationships.

Jesus places forgiveness at the centre of Christian discipleship. In the Lord's Prayer, believers are taught to pray, "Forgive us our debts, as we forgive our debtors" (Matt. 6:12). Immediately after the prayer, Jesus reinforces the importance of forgiving others (Matt. 6:14–15). The parable of the unforgiving servant in Matthew 18:23–35 similarly demonstrates that those who have received divine forgiveness are expected to extend forgiveness to others.

Christian forgiveness should not, however, be confused with pretending that wrongdoing did not happen. Forgiveness recognises that an offence has occurred but refuses to make vengeance the final response. This distinction is important because forgiveness without truth can become denial, while forgiveness without justice can unintentionally protect structures or individuals responsible for continuing harm.

Alan J. Torrance (2017, pp. 293–313) argues that Christian forgiveness should be regarded as integral to Christian character and not merely as an optional moral achievement. (Sage Journals)

➢ Mercy

Mercy refers to compassionate action toward persons who are suffering or who have failed and therefore might otherwise experience judgment or punishment. Biblically, mercy is deeply associated with the character of God. God's mercy is not weakness; rather, it expresses divine compassion toward vulnerable and sinful humanity.

Jesus' teaching makes mercy an essential Christian virtue: "Blessed are the merciful: for they shall obtain mercy" (Matt. 5:7). In Luke 6:36, Jesus declares, "Be ye therefore merciful, as your Father also is merciful." The parable of the Good Samaritan provides a practical expression of mercy through compassionate action toward a wounded stranger (Luke 10:25–37).

Mercy therefore moves beyond sympathy. It seeks the good of the person who suffers. In Christian ethics, mercy may involve compassion, assistance, rehabilitation, reconciliation, and the refusal to allow punishment to become an instrument of revenge.

- **Justice**

Justice involves giving persons their due, protecting human dignity, confronting wrongdoing, correcting injustice, and establishing relationships and social arrangements in which people can flourish. Scripture repeatedly associates justice with righteousness. Micah 6:8 provides a concise biblical formulation: "He hath shewed thee, O man, what is good; and what doth the LORD require of thee, but to do justly, and to love mercy, and to walk humbly with thy God?"

Christian justice therefore includes both individual and social dimensions. It concerns personal conduct but also the structures through which communities distribute rights, responsibilities, opportunities, punishment, and protection.

Justice should not be reduced to retaliation. Contemporary discussions of restorative justice have increasingly emphasised victims, offenders, relationships, truth, responsibility, and restoration. Pope (2014, pp. 174–196) argues that Christian forgiveness can support such restorative approaches because forgiveness and reconciliation are concerned with the restoration of damaged relationships. (OUP Academic)

The Biblical Foundations of Forgiveness, Mercy and Justice

- **God as the Source of Forgiveness, Mercy and Justice**

The Christian understanding of these concepts begins with God. Scripture does not present mercy as something invented by human beings. God himself is repeatedly described as merciful, gracious, righteous, and just.

Exodus 34:6–7 describes God as "merciful and gracious, longsuffering, and abundant in goodness and truth," while simultaneously affirming divine justice. Psalm 85:10 poetically declares, "Mercy and truth are met together; righteousness and peace have kissed each other."

This biblical imagery is significant because it challenges the assumption that justice and mercy are fundamentally incompatible. The biblical God is simultaneously righteous and compassionate. Divine mercy does not imply moral indifference, just as divine justice does not eliminate compassion.

- **Forgiveness in the Teaching of Jesus**

Jesus' teachings give forgiveness a central place in Christian discipleship. In Matthew 18:21–22, Peter asks how frequently he should forgive an offending brother. Jesus responds with the striking instruction to forgive "seventy times seven" (Matt. 18:22). The point is not a mathematical limit but the development of a forgiving disposition.

Jesus also demonstrates forgiveness in the context of suffering. On the cross he prays concerning his executioners: "Father, forgive them; for they know not what they do" (Luke 23:34). This establishes forgiveness not merely as an abstract doctrine but as a practice embodied in the life of Christ.

The Christian is therefore called to imitate Christ's disposition toward offenders. Ephesians 4:32 instructs believers to be "kind one to another, tenderhearted, forgiving one another, even as God for Christ's sake hath forgiven you."

➢ Mercy in the Ministry of Jesus

Jesus' ministry repeatedly demonstrates mercy toward the vulnerable, marginalised, sick, sinful, and socially excluded. His interaction with tax collectors, sinners, lepers, women, the poor, and other marginalised persons demonstrates that mercy is central to God's kingdom.
When challenged for associating with sinners, Jesus declares, "I will have mercy, and not sacrifice" (Matt. 9:13). This statement does not reject worship or moral responsibility; rather, it challenges religious practice that becomes detached from compassion.
Christian mercy therefore demands practical concern for human suffering. James 2:13 warns, "For he shall have judgment without mercy, that hath shewed no mercy; and mercy rejoiceth against judgment."

➢ Justice in the Biblical Witness

The Bible's concern for justice is equally strong. The prophets repeatedly condemn exploitation, corruption, oppression of the poor, dishonest economic practices, and abuse of power (Isa. 1:17; Amos 5:24; Mic. 6:8).
Isaiah calls God's people to "learn to do well; seek judgment, relieve the oppressed, judge the fatherless, plead for the widow" (Isa. 1:17). Amos 5:24 famously demands, "But let judgment run down as waters, and righteousness as a mighty stream."
Christian justice therefore cannot be reduced to private forgiveness. The church must also address social conditions that produce victimisation, exclusion, oppression, and violence.

➢ Forgiveness and Justice: Conflict or Complementary?

One of the central questions in Christian ethics is whether forgiveness compromises justice. If a person forgives an offender, does that mean the offender should escape accountability?
The answer requires a distinction between forgoing personal vengeance and abolishing legitimate accountability**.**
Romans 12:19 instructs Christians: "Dearly beloved, avenge not yourselves." This prohibition concerns personal vengeance. It does not mean that societies should abandon all mechanisms of justice. Indeed, Romans 13:1–4 describes civil authority as having responsibilities concerning wrongdoing.
Christian forgiveness therefore does not necessarily mean that every legal, social, or institutional consequence disappears. A victim may forgive an offender personally while still supporting appropriate legal accountability. Similarly, a Christian society can pursue justice while encouraging mercy, rehabilitation, and reconciliation.
Philpott (2013, pp. 400–416) argues that forgiveness can be understood as compatible with justice when justice is understood as restoration of right relationships. His analysis is particularly relevant because it challenges the assumption that justice must always be equated with retribution. (Wiley Online Library)
Pope (2014, pp. 174–196) likewise maintains that forgiveness can contribute to restorative justice, particularly where the aim is to address the wounds of victims, the responsibilities of offenders, and the restoration of damaged relationships. (OUP Academic)
This suggests a distinction between retributive justice and restorative justice. Retributive approaches primarily ask, "What punishment does the offender deserve?" Restorative approaches additionally ask, "Who has been harmed, what are their needs, what responsibilities does the offender have, and how can damaged relationships be repaired?"

Christian ethics should not simply eliminate punishment. Rather, it should insist that punishment itself be directed toward legitimate moral purposes and not toward revenge.

Mercy and Justice: The Necessity of Balance

Mercy and justice can appear contradictory when mercy is understood as the cancellation of all consequences and justice is understood exclusively as punishment. Such a conceptualisation creates unnecessary tension.

Biblical Christianity provides a more integrated framework. Micah 6:8 places justice and mercy together: "to do justly, and to love mercy." The Christian is not instructed to choose justice instead of mercy or mercy instead of justice.

Mercy should therefore influence the manner in which justice is exercised. It discourages cruelty, humiliation, excessive punishment, and vindictiveness. Justice, in turn, protects mercy from becoming sentimental permissiveness.

Jeffrie G. Murphy (2020, pp. 5–17) observes that the apparent conflict between justice, forgiveness, and mercy can be reduced when attention is given to the character of the person who exercises these virtues. (Cambridge University Press)

This is particularly significant for Christian ethics. The question is not merely, "What action should be taken?" but also, "What kind of person should the Christian become?" A Christian approach to justice seeks to cultivate a character capable of defending truth while maintaining compassion.

The Cross of Christ as the Convergence of Justice, Mercy and Forgiveness

The cross occupies a unique position in Christian theology because it brings together divine holiness, human sin, judgment, mercy, forgiveness, and reconciliation.

Paul writes that God presented Christ as a sacrifice of atonement "to declare his righteousness for the remission of sins that are past" (Rom. 3:25). The cross therefore does not trivialise sin. Sin is taken with profound seriousness. At the same time, God's redemptive action is directed toward forgiveness and reconciliation.

Second Corinthians 5:19 states that "God was in Christ, reconciling the world unto himself, not imputing their trespasses unto them." The language of reconciliation is crucial. God's purpose is not simply to punish wrongdoing but to restore relationship.

The cross consequently offers a theological paradigm for Christian engagement with conflict. It demonstrates that reconciliation does not require denial of evil. Instead, Christian reconciliation confronts the reality of sin while opening the possibility of restoration.

Miroslav Volf's broader theological work on exclusion and embrace is relevant here. In his account, reconciliation requires movement beyond exclusion toward an embrace that does not simply erase difference but creates the possibility of renewed relationship. The relationship between mercy and reconciliation has likewise been explored by John Mary Francis M. Nuqui (2014), who interprets mercy as an important foundation for forgiveness and reconciliation. (Archīum Ateneo)

Forgiveness, Mercy and Justice in Christian Community

The church is expected to embody these virtues. Christian communities should become spaces where wrongdoing is confronted truthfully, forgiveness is practised sincerely, victims are protected, and offenders are encouraged toward repentance and transformation.

Jesus' teaching in Matthew 18:15–17 provides an important framework. When a believer commits an offence, the matter should be confronted rather than concealed. The process moves from private confrontation toward wider communal involvement where necessary.

This passage challenges two extremes. First, Christians should not use forgiveness as an excuse for concealing serious wrongdoing. Second, they should not immediately transform every interpersonal conflict into public condemnation.

Healthy Christian discipline should combine truth and grace. Galatians 6:1 instructs spiritual persons to restore someone caught in wrongdoing "in the spirit of meekness." The goal is restoration rather than humiliation.

Consequently, Christian churches should develop practices that enable:

- ✓ truthful acknowledgement of wrongdoing;
- ✓ protection of victims;
- ✓ genuine repentance;
- ✓ appropriate accountability;
- ✓ forgiveness;
- ✓ reconciliation where possible; and
- ✓ restoration of healthy relationships.

Forgiveness cannot be imposed upon victims as a substitute for justice. Neither should reconciliation be demanded where it would expose a victim to continuing danger or abuse. Christian mercy must therefore include wisdom and appropriate boundaries.

Forgiveness, Mercy and Justice in African Contexts

The relationship between forgiveness, mercy, and justice has particular significance in Africa, where many societies have experienced colonial legacies, ethnic tensions, communal violence, political conflicts, religious tensions, displacement, and contemporary forms of insecurity.

In such contexts, unresolved grievances can become inherited memories. A conflict between individuals can become a conflict between families, communities, ethnic groups, or religious groups. Revenge can consequently become intergenerational.

Christian forgiveness can interrupt this cycle by challenging the logic of retaliation. Jesus' teaching, "Love your enemies, bless them that curse you" (Matt. 5:44), presents an ethic radically opposed to cycles of revenge.

However, African Christian approaches to reconciliation must not romanticise forgiveness. Victims need truth, recognition, security, justice, and restoration. A superficial demand that victims "just forgive" can become another form of injustice if it ignores their suffering.

The challenge is therefore to develop a form of Christian reconciliation that brings together truth, justice, mercy, forgiveness and restoration**.**

Philpott (2009, pp. 389–407) argues that reconciliation can be understood as a form of justice whose animating virtue is mercy and whose goal is peace. His framework is particularly relevant to societies emerging from war, authoritarianism, genocide, and other forms of political violence. (Wiley Online Library)

For African churches, this means that preaching forgiveness should be accompanied by peacebuilding, trauma-sensitive pastoral care, conflict transformation, advocacy for justice, and support for victims.

Forgiveness Does Not Mean Forgetting

A significant misunderstanding of Christian forgiveness is the idea that forgiveness requires complete forgetting of the offence.

Biblically, forgiveness does not necessarily erase memory. Rather, forgiveness transforms the moral meaning of memory. The victim may remember the offence without continuing to seek revenge.

This distinction is important in societies affected by communal violence. Historical memory can either become a resource for learning or a source of continuing hatred. Christian theology should therefore encourage communities to remember suffering truthfully without turning memory into an instrument of vengeance.

The biblical Joseph narrative provides a significant example. Joseph does not deny the wrong committed against him by his brothers. He recognises their wrongdoing but ultimately interprets the experience within God's larger providential purpose: "Ye thought evil against me; but God meant it unto good" (Gen. 50:20).

Christian forgiveness thus does not require the victim to declare that the wrong was acceptable. Instead, it involves refusing to permit the wrong to control the victim's future.

Forgiveness and Repentance

Another important theological question concerns the relationship between forgiveness and repentance.

Some Christian traditions emphasise forgiveness in response to repentance, while others emphasise the unilateral character of divine and Christian forgiveness. The New Testament contains evidence for both dimensions. Jesus calls sinners to repentance (Mark 1:15), while also extending grace toward those who have not yet demonstrated repentance.

The Christian ethic should therefore distinguish between personal forgiveness and restored trust.

A Christian may release personal hatred toward an offender while recognising that trust may need to be rebuilt gradually. Forgiveness does not automatically restore every relational privilege.

This distinction is especially important in cases involving serious abuse, betrayal, violence, or repeated wrongdoing. Forgiveness can coexist with appropriate boundaries.

Therefore:

- ❖ Forgiveness is not the same as trust.
- ❖ Mercy is not the same as the absence of consequences.
- ❖ Justice is not the same as revenge.
- ❖ Reconciliation is not always identical to immediate restoration of the previous relationship.

These distinctions allow Christian ethics to remain both compassionate and morally responsible.

The Christian Leader as an Agent of Forgiveness, Mercy and Justice

Christian leaders have a significant responsibility in modelling the relationship between these virtues. Pastors, priests, theologians, teachers, and Christian community leaders influence how congregations interpret wrongdoing and respond to conflict.

A Christian leader who emphasises justice without mercy can create a punitive community. A leader who emphasises forgiveness without accountability may unintentionally enable abuse. A leader who emphasises mercy without truth may create superficial peace rather than genuine reconciliation.

Christian leadership should therefore embody what may be described as truthful mercy.

Truthful mercy:

- ◆ acknowledges wrongdoing;
- ◆ listens to victims;
- ◆ protects the vulnerable;
- ◆ calls offenders to repentance;
- ◆ promotes appropriate accountability;

- rejects revenge;
- encourages forgiveness;
- supports restoration where possible; and
- seeks reconciliation without coercion.

Such leadership reflects the ministry of Christ, who combined grace with truth (John 1:14).

Challenges to a Christian Ethic of Forgiveness, Mercy and Justice

Despite its theological strength, the Christian ethic faces several challenges.

1. The Danger of Cheap Forgiveness

Forgiveness can become "cheap" when it is proclaimed without truth, repentance, accountability, or concern for victims. Christian churches must avoid using forgiveness as a mechanism for silencing legitimate complaints.

2. The Danger of Revenge Disguised as Justice

Justice can similarly be corrupted when it becomes motivated by hatred. A person may speak the language of justice while actually seeking personal revenge.

3. The Danger of Sentimental Mercy

Mercy can become sentimental when it refuses to recognise the consequences of wrongdoing. Genuine mercy seeks the good of both victim and offender.

4. The Difficulty of Forgiving Severe Harm

Certain forms of violence and betrayal may make forgiveness extremely difficult. Christian teaching should therefore avoid trivialising victims' pain. Forgiveness may be a process rather than a single emotional event.

5. The Challenge of Structural Injustice

Individual forgiveness cannot by itself eliminate unjust structures. Churches must therefore combine personal reconciliation with social action addressing poverty, discrimination, corruption, violence, and exclusion.

Toward an Integrated Christian Model

An integrated Christian model can be represented through five interconnected movements:

Truth → Justice → Mercy → Forgiveness → Reconciliation

Truth

Wrongdoing must first be acknowledged. Reconciliation built upon denial is fragile.

✧ Justice

Wrongdoing must be addressed appropriately. Victims deserve protection and recognition, while offenders must accept responsibility.

✧ Mercy

Justice should be exercised without cruelty or vindictiveness. Mercy recognises the humanity and possibility of transformation of the offender.

✧ Forgiveness

Victims and communities are encouraged, where possible, to relinquish vengeance and resentment.

✧ Reconciliation

Where safety, repentance, accountability, and mutual willingness permit, relationships can be restored.

This model does not suggest that every conflict will end in complete reconciliation. Rather, it provides a theological direction toward healing.

Pope (2014, pp. 174–196) similarly understands forgiveness as capable of contributing to restorative justice and reconciliation, while Philpott (2009, pp. 389–407) connects reconciliation with justice, mercy, and peace. (OUP Academic)

Implications for the Contemporary Church and Society

The Christian understanding of forgiveness, mercy, and justice has several contemporary implications.

First, churches should teach forgiveness alongside accountability. Believers should understand that forgiveness does not require the concealment of wrongdoing.

Second, Christian leaders should promote restorative approaches to conflict. Where appropriate, offenders should be encouraged to acknowledge harm, apologise, make restitution, and pursue transformed behaviour.

Third, theological institutions should incorporate peacebuilding, restorative justice, trauma awareness, and conflict transformation into Christian ethics and pastoral studies.

Fourth, churches should become spaces where victims can speak safely. The protection of vulnerable persons is itself an expression of Christian justice.

Fifth, Christian preaching should challenge cultures of revenge. In communities where violence generates cycles of retaliation, churches can model alternative patterns based on forgiveness and reconciliation.

Sixth, Christians should distinguish reconciliation from forced coexistence. Genuine reconciliation requires truth, justice, safety, responsibility, and willingness.

Recommendations

Based on the foregoing discussion, the paper makes the following recommendations:

1. Churches should teach an integrated theology

Christian education should present forgiveness, mercy, and justice as complementary dimensions of Christian ethics rather than mutually exclusive alternatives.

2. Victims should be protected

Churches must ensure that calls for forgiveness never become mechanisms for silencing victims or protecting offenders from legitimate accountability.

3. Restorative justice should be encouraged

Where appropriate, Christian communities should support processes that enable victims to express their experiences, offenders to acknowledge responsibility, and communities to pursue restoration.

4. Christian leaders should receive specialised training

Pastors and church leaders should be equipped in conflict resolution, trauma-sensitive pastoral care, mediation, restorative justice, and reconciliation.

5. Forgiveness should not be confused with trust

Church teaching should clarify that forgiving an offender does not automatically require the restoration of previous levels of trust.

6. Justice should be separated from revenge
Christian teaching should encourage legitimate accountability while rejecting hatred, humiliation, and retaliatory violence.

7. Mercy should become practical
Christian mercy should be demonstrated through assistance to victims, care for vulnerable persons, rehabilitation of offenders, and support for communities affected by conflict.

8. Churches should address structural injustice
The Christian commitment to justice should include opposition to corruption, discrimination, oppression, exploitation, and other conditions that generate human suffering.

9. African churches should develop contextual reconciliation ministries
In societies affected by communal and political violence, churches should establish ministries that combine biblical reconciliation with mediation, peacebuilding, trauma care, and community restoration.

10. Christian theology should continue interdisciplinary engagement
Theological reflection on forgiveness, mercy, and justice should engage philosophy, psychology, law, peace studies, sociology, political science, and restorative justice scholarship.

Conclusion
Forgiveness, mercy, and justice are sometimes presented as competing ethical principles. Christian theology, however, provides resources for understanding them as interconnected dimensions of God's redemptive purpose. Justice takes wrongdoing seriously; mercy responds compassionately to human weakness and suffering; forgiveness releases the demand for personal vengeance; and reconciliation seeks the restoration of damaged relationships.
The biblical witness refuses to reduce justice to retaliation or forgiveness to forgetfulness. The God of Scripture is simultaneously righteous and merciful. In Jesus Christ, the Christian faith encounters the fullest expression of divine grace, justice, forgiveness, and reconciliation.
The cross demonstrates that Christian forgiveness does not require the denial of sin. Rather, it confronts sin while opening the possibility of restored relationship. Consequently, Christians are called neither to abandon justice in the name of mercy nor to abandon mercy in the name of justice. They are called to practise justice with compassion, mercy with wisdom, and forgiveness with truth.
For contemporary African societies, this integrated Christian ethic has profound implications. Communities affected by violence and division require more than punishment; they require truth, accountability, healing, restoration, and reconciliation. Churches can contribute significantly by becoming communities in which victims are protected, offenders are confronted and transformed, revenge is resisted, and relationships are restored where possible.
Ultimately, the Christian vision is not a choice between forgiveness and justice. It is a transformed understanding of both. Justice seeks what is right; mercy refuses to dehumanise the wrongdoer; forgiveness breaks the cycle of vengeance; and reconciliation seeks a future in which the wounds of the past no longer determine the destiny of the community.

References

Barnes, L. P. (2011). Talking politics, talking forgiveness. *Scottish Journal of Theology, 64*(1), 64–79. Cambridge University Press. (Cambridge University Press)

Murphy, J. G. (2020). Punishment, forgiveness, and mercy. *Journal of Law and Religion, 35*(1), 5–17. https://doi.org/10.1017/jlr.2019.38 (Cambridge University Press)

Nuqui, J. M. F. M. (2014). Mercy as embrace: An understanding of forgiveness and reconciliation through Miroslav Volf's *Exclusion and Embrace*. *Loyola Papers, 5*(2), Article 3. (Archīum Ateneo)

Philpott, D. (2009). An ethic of political reconciliation. *Ethics & International Affairs, 23*(4), 389–407. https://doi.org/10.1111/j.1747-7093.2009.00230.x (Wiley Online Library)

---. (2013). The justice of forgiveness. *Journal of Religious Ethics, 41*(3), 400–416. https://doi.org/10.1111/jore.12021 (Wiley Online Library)

Pope, S. J. (2014). The role of forgiveness in reconciliation and restorative justice: A Christian theological perspective. In J. J. Llewellyn & D. Philpott (Eds.), *Restorative justice, reconciliation, and peacebuilding* (pp. 174–196). Oxford University Press. (OUP Academic)

The Holy Bible, King James Version. (n.d.). Cambridge University Press.

Torrance, A. J. (2017). Forgiveness and Christian character: Reconciliation, exemplarism and the shape of moral theology. *Studies in Christian Ethics, 30*(3), 293–313. https://doi.org/10.1177/0953946817701046 (Sage Journals)

Volf, M. (1996). *Exclusion and embrace: A theological exploration of identity, otherness, and reconciliation*. Abingdon Press.

ALIGNING UNIVERSITY ENGLISH WITH WORKPLACE NEEDS: EVIDENCE FROM GRADUATES ACROSS EMPLOYMENT SECTORS

Hadiyanto
The English Education Department of Universitas Jambi

Raden Muhammad Ali
The English Education Department of Universitas Jambi

Yulhenli Thabran
The English Education Department of Universitas Jambi

Abstract
Aligning university English courses with workplace language requirements is increasingly important for preparing graduates for diverse professional environments. This study examined graduates' perceptions of General English (GE), English for Specific Purposes (ESP), workplace English requirements, the alignment between university English courses and workplace needs, and the importance of workplace English skills across different employment sectors. The study used a quantitative survey design, administering a questionnaire to working university graduates in education, government institutions, enterprises, and freelance work. The questionnaire examined graduates' perceptions of university English courses, their actual English requirements at work, perceived curriculum–workplace alignment, and the importance of workplace English skills, including speaking, listening, reading, writing, and digital communication. Descriptive statistics and one-way analysis of variance were used to analyse the data. The findings indicated that the perceived importance of English required at the workplace was high, while the importance of workplace English skills was very high . In contrast, perceptions of General English, and alignment between university English courses and workplace needs were comparatively lower. Significant differences across employment sectors were found for General English, workplace English requirements, and the importance of workplace English skills, whereas no significant differences were found for ESP or curriculum workplace alignment. The findings highlight the need to strengthen the connection between university English curricula and authentic workplace communication, particularly by incorporating profession-specific and digitally mediated English communication into curriculum development. The study provides implications for English curriculum designers and higher education institutions seeking to enhance graduates' preparedness for diverse and changing workplaces.
Keywords: University graduates; English curriculum alignment; Workplace English; Digital English Communication; ESP

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ENHANCED PROBLEM-BASED LEARNING IN HIGHER EDUCATION: PEDAGOGICAL APPLICATIONS, CHALLENGES, AND FUTURE DIRECTIONS

Rahem Samiya
University, University of Hassiba Benbouali-Chlef, Faculty of Letters and Arts

Abstract
The rapid development of artificial intelligence (AI), particularly generative AI and large language models, is creating new possibilities for technology-enhanced learning in higher education. Within this evolving educational landscape, Problem-Based Learning (PBL) provides a learner-centred framework that emphasizes authentic problems, active inquiry, collaborative knowledge construction, self-directed learning, and critical thinking. This review investigates how emerging AI technologies can support and transform PBL practices in higher education, with particular attention to their pedagogical applications, educational benefits, limitations, and implications for future learning environments.
The review adopts a thematic approach to examine the emerging literature on AI-supported PBL and technology-enhanced learning. The analysis focuses on four complementary dimensions: (1) the use of AI across different stages of the PBL process, including problem exploration, information seeking, hypothesis development, solution generation, feedback, and reflection; (2) its contribution to learner engagement, autonomy, collaboration, critical thinking, and personalized learning; (3) challenges associated with AI integration, including overreliance on generated responses, academic integrity, inaccurate or biased information, privacy, digital inequalities, and assessment of authentic learning; and (4) the pedagogical conditions required for responsible and effective implementation.
The reviewed evidence indicates that AI can extend the capabilities of PBL by providing adaptive scaffolding, immediate feedback, alternative perspectives, conversational support, and assistance in exploring complex and interdisciplinary problems. It can also support educators in designing authentic problem scenarios and developing more formative and personalized learning activities. However, the educational value of these technologies depends strongly on how they are integrated into the pedagogical process. Unstructured or excessive use of AI may reduce cognitive effort and weaken independent reasoning, while carefully designed AI-supported activities can encourage inquiry, reflection, collaboration, and higher-order problem-solving.
The review therefore highlights a shift from technology-centred adoption toward pedagogically intentional AI integration. Effective AI-enhanced PBL requires meaningful problem design, active educator facilitation, AI literacy, authentic assessment, and clear ethical principles. The study concludes that the intersection of AI and PBL represents an important development in technology-enhanced learning, while emphasizing that technological innovation should remain aligned with the fundamental objectives of higher education: developing autonomous learners capable of critically analysing problems, constructing knowledge, and generating informed solutions.
Keywords: Problem-Based Learning; Artificial Intelligence; Generative AI; Higher Education; Technology-Enhanced Learning; Critical Thinking; Self-Directed Learning; Digital Pedagogy

ARRIBA PEER TUTORING PROGRAM AS A STRATEGY IN ENHANCING MATH PROBLEM-SOLVING SKILLS OF GRADE 12 ACCOUNTANCY, BUSINESS, AND MANAGEMENT (ABM) STUDENTS

Mark Anthony N. Polinar
Graduate School Student, Graduate School of Education, University of the Visayas
ORCID: 0000-0002-5690-9999

ABSTRACT
This experimental study, employing a pretest-posttest control group design, investigates the effectiveness of the Academic Reinforcement and Remediation Initiative through Buddy Assistance (ARRIBA), a peer tutoring program designed to enhance the math problem-solving skills of grade 12 Accountancy, Business, and Management (ABM) students at Mabolo National High School. Using a pretest-posttest control group design, 76 participants were randomly assigned to either the experimental group, which received the ARRIBA intervention, or the control group, which did not. Both groups underwent a researcher-made pre-test and post-test questionnaire aligned with the ABM curriculum guide. Findings showed that the experimental group outperformed the control group on the post-test, and further ANCOVA analysis confirmed a significant difference after controlling for pre-test scores. These results suggest that a peer-centered approach to learning effectively enhances ABM students' mathematical problem-solving skills, particularly in specialized subjects. Furthermore, the study recommends establishing a structured peer tutoring program across all strands in the senior high school department to significantly benefit learners by improving their academic performance.
Keywords: Accountancy, Business, and Management (ABM), Academic Reinforcement and Remediation Initiative through Buddy Assistance (ARRIBA), Math Problem Solving Skills, Peer Tutoring Program, Pre-test Post-test Control Group Design

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

HUMAN OVERSIGHT AND ACADEMIC INTEGRITY IN AI-ASSISTED MATHEMATICS ASSESSMENT: A POLICY ANALYSIS AND GOVERNANCE FRAMEWORK FOR NIGERIAN HIGHER EDUCATION

Dr Charles-Owaba, TEKENATE
Department Of Scıence Educatıon, Federal Unıversıty, Otuoke

Abstract
The growing use of generative artificial intelligence (AI) in higher education has created opportunities for personalised feedback and problem-solving support while raising concerns about authorship, unauthorised assistance, assessment validity, and the reliability of AI-generated mathematical reasoning. This study critically analysed existing policies concerning human oversight and academic integrity in AI-assisted mathematics assessment and developed a contextually appropriate governance framework for Nigerian higher education. A qualitative critical policy-analysis design was adopted. International and Nigerian policy instruments were analysed alongside publicly accessible academic-integrity, examination, misconduct, privacy, and student-appeal documents from seven purposively selected universities: three federal, two state and two private. Data were extracted using an AI-Assisted Mathematics Assessment Policy Analysis Checklist and analysed through directed qualitative content analysis and inductive thematic analysis. The findings revealed that international frameworks explicitly emphasised human agency, transparency, accountability, fairness and data protection. Conversely, the institutional documents largely addressed conventional plagiarism, cheating, unauthorised assistance and examination misconduct. No publicly accessible, university-wide policy specifically governing generative AI in mathematics assessment was located among the selected institutions as of September 2026. Although existing regulations provided a basic foundation for lecturer responsibility, moderation and student appeals, they did not adequately classify permissible AI uses, require disclosure, regulate automated grading or assign responsibility for verifying AI-generated mathematical content. A six-component governance framework was consequently developed, comprising AI-use classification, mandatory disclosure, human verification, assessment redesign, privacy and fairness safeguards, and accountability and periodic review. The study concluded that existing policies were partially applicable but insufficiently explicit and operational. Nigerian universities should adopt transparent, assessment-specific AI policies that preserve lecturer control, protect learner data and require students to demonstrate authentic mathematical reasoning.
Keywords: academic integrity, artificial intelligence, human oversight, mathematics assessment, policy analysis, Nigerian higher education

1. Introduction
The rapid diffusion of generative artificial intelligence (GenAI) into higher education has unsettled conventional assumptions about teaching, learning and assessment. Tools such as ChatGPT can generate explanations, solve problems, produce worked examples and offer immediate feedback in response to natural-language prompts. These capabilities create opportunities for personalised learning, rapid formative feedback and increased access to academic support. Nevertheless, the same capabilities make it increasingly difficult to determine whether an assessment submission represents a student's independent knowledge or the unacknowledged output of an artificial intelligence system.

The central issue is therefore not simply whether universities should permit or prohibit AI, but how its use can be governed without compromising the validity of assessment, students' intellectual development and institutional confidence in awarded qualifications.

The governance challenge is particularly important in mathematics education. Mathematics assessment is expected to provide evidence not only of a correct final answer but also of conceptual understanding, procedural fluency, logical reasoning and the ability to justify a selected solution strategy. GenAI tools can support these outcomes by generating practice questions, presenting alternative solution methods and providing explanations tailored to students' requests. Wardat et al. (2023), for example, found that ChatGPT offered useful mathematical information and instructional support in certain contexts. However, the study also demonstrated that its performance depended on the complexity of the problem and the quality of the prompt, while weaknesses were observed in geometrical understanding and the correction of misconceptions. These findings challenge the assumption that coherent and confidently presented AI-generated mathematics is necessarily accurate. When an AI system produces a plausible but mathematically defective solution, students who lack sufficient subject knowledge may be unable to identify the error.

The problem extends beyond technical accuracy. GenAI can complete tasks that were previously treated as evidence of students' mathematical competence, including solving equations, explaining procedures and producing apparently logical derivations. Consequently, a submitted solution may no longer reveal clearly whether a student formulated the reasoning, merely reproduced an AI-generated response or combined personal work with undisclosed technological assistance. Although calculators, computer algebra systems and other digital technologies have long influenced mathematics education, GenAI presents a qualitatively different challenge because it can imitate explanatory reasoning and conversationally defend its responses. This makes the boundary between legitimate learning support and unauthorised assistance less visible.

Academic integrity in this context cannot be protected merely by categorising all AI use as misconduct. Such an approach overlooks legitimate applications, including formative feedback, question generation, language support and guided exploration. It may also encourage concealed use rather than responsible engagement. Conversely, unrestricted use risks allowing students to outsource the very reasoning that an assessment is intended to measure. Cotton et al. (2024) argue that GenAI requires higher education institutions to reconsider both academic-integrity policies and assessment practices. The relevant question is therefore not simply whether AI was used, but whether its use was authorised, disclosed and consistent with the learning outcomes being assessed.

Reliance on AI-detection software provides no satisfactory resolution. Detection-centred governance assumes that AI-generated work can be identified reliably after submission, despite the continuing evolution of generative systems and the possibility of human editing. Evidence from a real-world study by Scarfe et al. (2024) illustrates the seriousness of this limitation. In that study, AI-generated examination responses were largely undetected by markers and achieved higher grades than genuine student submissions. This result suggests that conventional marking cannot consistently distinguish authentic student work from sophisticated AI output. However, replacing human judgement with automated detection would introduce further concerns regarding false accusations, procedural fairness and the evidential basis for disciplinary action. Governance founded primarily on surveillance may therefore weaken, rather than strengthen, institutional trust.

These concerns make human oversight essential. In AI-assisted mathematics assessment, human oversight means more than retaining a lecturer's signature on the final grade.

It requires qualified educators to determine when AI use is permissible, verify the mathematical accuracy of AI-generated material, examine evidence of students' reasoning, moderate automated feedback or scoring and intervene where an AI-supported decision is questionable. The lecturer must remain accountable for the validity and fairness of the assessment outcome. This position aligns with UNESCO's (2023) human-centred approach, which emphasises human agency, data protection, ethical validation and the development of coherent regulatory frameworks for GenAI in education. UNESCO (2024) similarly identifies a human-centred mindset, AI ethics, AI foundations, AI pedagogy and professional learning as essential dimensions of teachers' AI competence.

Nevertheless, human oversight should not be treated as an uncomplicated safeguard. Lecturers cannot exercise meaningful oversight if institutional policies do not specify the uses of AI that are permitted, restricted or prohibited. Nor can they reliably verify students' work without appropriate AI literacy, manageable workloads and assessment designs that reveal the development of mathematical reasoning. An institution may claim to retain human control while, in practice, leaving individual lecturers to interpret ambiguous regulations and resolve disputed cases without adequate guidance. Effective oversight therefore depends on a wider governance structure that distributes responsibilities among university management, quality-assurance units, ICT departments, academic departments, lecturers and students.

The policy challenge also involves transparency, accountability, fairness and privacy. Transparency requires students to understand when and how AI may be used and to disclose the nature and extent of any assistance received. Accountability requires clear responsibility for AI-supported assessment decisions and accessible procedures for reviewing contested outcomes. Fairness requires policies to recognise differences in access to paid AI tools, digital infrastructure and AI literacy, since apparently uniform rules may produce unequal consequences. Privacy is equally important because students and lecturers may enter assessment questions, personal information or unpublished academic materials into externally controlled systems. UNESCO (2023) warns that the speed of GenAI development has outpaced regulatory adaptation in many countries, leaving educational institutions insufficiently prepared to protect data and validate AI tools.

The Nigerian higher education context makes these governance questions especially significant. Universities are under pressure to embrace digital innovation while simultaneously protecting academic standards, examination credibility and public confidence in their qualifications. Yet international guidance cannot simply be transferred into Nigerian institutions without considering local regulatory arrangements, digital inequalities, staff capacity, infrastructure and institutional autonomy. A governance framework that assumes universal access to reliable technology, extensive staff development and mature institutional AI policies may have limited practical value in settings where these conditions are uneven. Accordingly, contextualisation should not mean lowering ethical standards; it should mean translating principles such as transparency, human agency and accountability into procedures that Nigerian universities can implement and monitor.

Despite expanding scholarship on GenAI and academic integrity, limited attention has been given to the intersection of human oversight, institutional policy and mathematics assessment in Nigerian higher education. Much of the existing discourse addresses AI in higher education generally, while mathematics-specific concerns such as the verification of solution processes, the distinction between computational assistance and substituted reasoning, and the validity of AI-supported grading remain insufficiently developed.

Furthermore, policy statements may acknowledge academic misconduct without clearly defining acceptable AI use, disclosure requirements, human review responsibilities, data-protection safeguards, or mechanisms for appeal. The critical gap is therefore not merely the absence of rules but the possible absence of an integrated governance structure connecting institutional policy to assessment practice.

Against this background, the study aims to analyse existing policies concerning human oversight and academic integrity in AI-assisted mathematics assessment and develop a contextually appropriate governance framework for Nigerian higher education.

Specifically, the study seeks to:

(a) examine existing institutional policies and guidelines governing the use of AI in mathematics assessment;

(b) assess the human-oversight mechanisms provided in existing policies for verifying AI-assisted assessment;

(c) determine policy gaps relating to transparency, accountability, fairness, data privacy and disclosure of AI use; and

(d) develop a governance framework for strengthening human oversight and academic integrity. Rather than treating AI as either an educational solution or an inherent threat, the study proceeds from the position that its educational legitimacy depends on how its use is disclosed, supervised, and aligned with demonstrable student learning.

2. Brief Review and Conceptual Foundation

2.1 AI-Assisted Mathematics Assessment and Academic Integrity

Artificial intelligence-assisted mathematics assessment encompasses the use of intelligent systems and generative AI tools to formulate questions, generate worked solutions, evaluate responses and provide feedback. These functions can make assessment more responsive by supplying immediate explanations and enabling students to practise at their own pace. However, efficiency should not be confused with educational validity. An assessment is valid only when the evidence produced supports defensible conclusions about the knowledge and competencies it was designed to measure. Where AI performs substantial parts of a task, a correct submission may demonstrate access to an effective tool rather than the student's mathematical understanding.

This distinction is particularly important because mathematical competence extends beyond obtaining a correct answer. It involves conceptual understanding, procedural fluency, logical reasoning and justification of the relationship between successive steps. GenAI may produce convincing worked solutions, but linguistic coherence does not guarantee mathematical accuracy. Wardat et al. (2023) found that ChatGPT could support mathematical learning through explanations and problem-solving assistance, yet its performance varied according to problem complexity, input quality and the mathematical topic involved. Its inability to correct some geometrical misconceptions illustrates a broader weakness: AI-generated reasoning may appear authoritative while containing conceptual or procedural errors. Accordingly, using AI output without expert verification could reinforce misconceptions rather than address them.

Automated feedback presents a similar tension. Its immediacy may help students identify errors and attempt alternative approaches, while reducing some routine demands on lecturers. Nevertheless, its educational value depends on whether it diagnoses the source of an error, relates feedback to the intended learning outcome and supports further reasoning. Kasneci et al. (2023) contend that large language models offer opportunities for personalised assistance but remain vulnerable to hallucinations, bias and inaccurate information.

In mathematics assessment, generic encouragement or a corrected answer is not equivalent to feedback that identifies why a student adopted an invalid procedure. Automated feedback should therefore supplement rather than displace disciplinary judgement.

GenAI also complicates authorship. When a student uses AI to generate a solution, refine an explanation or reconstruct mathematical reasoning, it becomes difficult to establish the student's intellectual contribution. This does not mean that every use of AI constitutes misconduct. The ethical status of the use depends on the assessment purpose, the lecturer's instructions and whether the assistance is disclosed. AI may legitimately support formative practice while being prohibited in an examination intended to establish independent competence. Cotton et al. (2024) consequently argue that academic integrity cannot be protected through prohibition alone; institutions must clarify acceptable uses and redesign assessment in ways that preserve meaningful evidence of learning.

Unauthorised assistance becomes especially problematic when students submit AI-generated reasoning as their own or use AI beyond the level permitted for a task. The challenge is intensified by the limited reliability of post-submission detection. Scarfe et al. (2024) demonstrated that almost all AI-generated examination submissions included in a real university assessment system escaped detection and, on average, received higher grades than genuine student submissions. This evidence weakens policies that depend primarily on lecturers recognising AI-generated content or on automated detection systems. It also reveals a threat to assessment validity: if universities cannot determine whether submitted work represents student competence, grades may cease to provide credible evidence of learning.

However, a return to exclusively invigilated, technology-free examinations would be an incomplete response. Such an approach may protect certain forms of independent performance but neglect students' capacity to use contemporary tools responsibly. A more defensible policy would differentiate between assessments that permit AI-supported problem-solving and secure tasks that independently verify foundational knowledge and reasoning. Academic integrity in the AI era should therefore be understood not as the absence of technology, but as the transparent, authorised and educationally appropriate use of technology.

2.2 Human Oversight and AI Governance

Human oversight refers to arrangements through which suitably qualified individuals monitor, interpret, verify and, where necessary, override AI-supported processes. In mathematics assessment, it requires lecturers to retain responsibility for the quality of assessment questions, accuracy of solutions and feedback, interpretation of students' responses and final grading decisions. UNESCO (2023) maintains that GenAI in education should preserve human agency and be subjected to ethical validation rather than adopted merely because it is technically available. Human oversight is therefore substantive only when the lecturer possesses the authority, competence and information required to intervene.

Transparency is the first requirement of meaningful oversight. Students should know whether AI contributed to question generation, feedback or scoring, while lecturers should specify when and to what extent students may use it. Transparency also requires disclosure by students of the tool used, the purpose of its use and the contribution of its output. Yet disclosure should not become a purely bureaucratic declaration. It must enable an informed judgement about whether AI assistance remained consistent with the learning outcomes.

Accountability establishes who bears responsibility when AI-generated questions are inaccurate, feedback is misleading or scoring is contested. Responsibility cannot be transferred to the technology because an AI system does not possess professional or institutional accountability.

UNESCO's (2021) Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence places responsibility with human actors and emphasises the need for oversight, auditability and appropriate remedies. Nigerian universities must therefore identify the lecturer, department or institutional unit responsible for authorising tools, reviewing outputs and resolving appeals.

Fairness requires attention to both algorithmic and social inequalities. AI systems may perform unevenly across languages, problem formats and user groups, while students may have unequal access to premium tools, reliable internet connectivity and AI literacy. A formally identical policy may consequently produce unequal educational opportunities. Privacy is similarly important because prompts may expose student information, assessment questions or unpublished institutional materials to external platforms. UNESCO (2023) identifies data protection as a central condition for responsible educational use, making institutional guidance on data entry, storage and third-party processing indispensable.

These principles are interdependent. Disclosure without clear rules does not ensure integrity; transparency without accountability may reveal a problem without providing a remedy; and human review without sufficient expertise may merely legitimise an unreliable automated outcome. Effective governance must therefore connect policy, assessment design, staff development, technical evaluation and appeal procedures.

2.3 Conceptual Foundation: Human-in-the-Loop Approach

This study is anchored in the Human-in-the-Loop (HITL) approach. HITL describes a decision structure in which an AI system performs supportive or preliminary functions while a competent human retains the authority to inspect its output, request further evidence, correct errors and make the final decision. The approach rejects both complete automation and nominal supervision. The European Union's AI Act requires human oversight for high-risk AI systems and stresses that responsible personnel should understand system limitations, detect anomalies, avoid over-reliance and override outputs where necessary (European Parliament & Council of the European Union, 2024).

Applied to mathematics assessment, the approach positions AI as an assistive resource rather than an autonomous assessor. AI may generate draft questions, suggest feedback or support preliminary scoring, but lecturers must verify mathematical accuracy, alignment with course objectives and fairness before any output affects a student. Where students use AI, lecturers should examine evidence of their reasoning through working steps, reflective explanations, oral defence or related secure tasks. Final grades and misconduct decisions must remain under accountable human control.

Nevertheless, HITL is not automatically effective. Human reviewers may defer uncritically to apparently sophisticated systems, lack the time to interrogate outputs or possess insufficient AI literacy. UNESCO's (2024) competency framework is therefore relevant because it connects responsible AI use with ethical understanding, pedagogical competence and continuing professional learning. In this study, HITL functions both as an analytical lens and a design principle: existing policies are assessed according to whether they enable meaningful human intervention, while the proposed governance framework places qualified lecturers at the centre of verification and final assessment decisions.

3. Methodology

3.1 Research Design

The study adopted a qualitative policy-analysis design to examine how existing policies addressed human oversight and academic integrity in AI-assisted mathematics assessment. The design was considered appropriate because the study focused on the content, coverage and limitations of formal governance instruments rather than the opinions of individual lecturers or students. Document analysis provided a systematic process for examining and interpreting policy materials to identify institutional priorities, underlying assumptions and policy omissions (Bowen, 2009). The policies were critically analysed to determine whether broad ethical principles were translated into clear and implementable assessment practices.

3.2 Policy Documents and Selection Criteria

The policy documents were purposively selected from international, Nigerian national and university-level sources. At the institutional level, six Nigerian universities comprising two federal, two state and two private universities were selected to provide variation in institutional ownership and administrative context. Where a university did not have a publicly available AI policy, its academic-integrity policy, examination regulations, student handbook and digital-learning guidelines were examined to determine whether existing provisions addressed AI-assisted assessment.

Table 1: Categories of policy documents analysed

Policy level	Documents examined	Purpose of analysis
International	UNESCO Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence; UNESCO Guidance for Generative AI in Education and Research; UNESCO AI Competency Framework for Teachers	To establish internationally recognised AI-governance principles
National	Nigeria's national AI strategy and policy documents; Nigeria Data Protection Act 2023; relevant higher education and assessment regulations	To identify national governance, privacy and regulatory expectations
Institutional	AI-use policies, academic-integrity policies, examination regulations, student handbooks and digital-learning guidelines from six selected universities	To determine how governance principles were translated into university assessment practices

Documents were included where they: (a) were issued by an identifiable and authoritative organisation; (b) were publicly accessible or officially obtained from the issuing institution; (c) were operational between 2021 and September 2026; and (d) contained provisions relating to AI, assessment, academic integrity, human oversight, data protection or institutional accountability. Opinion articles, unofficial online materials, undated documents, duplicate versions and policies unrelated to higher education assessment were excluded. The absence of an explicit institutional AI policy was retained as an analytical finding rather than being replaced with unofficial guidance.

3.3 Policy-Analysis Checklist

Data were extracted using a researcher-developed instrument titled the AI-Assisted Mathematics Assessment Policy Analysis Checklist. The checklist was informed by the Human-in-the-Loop approach and the governance principles outlined by UNESCO (2021, 2023). It covered permitted and prohibited AI uses, disclosure requirements, verification of mathematical reasoning, lecturer responsibility, automated grading and feedback, transparency, accountability, fairness, data privacy, student appeals, sanctions, capacity development and periodic policy review.

Each provision was classified as explicitly addressed, partially addressed, implicitly addressed or not addressed. A comments section was included to record relevant policy provisions and analytical observations. This classification made it possible to distinguish between policies that merely acknowledged a governance principle and those that provided clear procedures for its implementation.

3.4 Data-Collection Procedure

The relevant documents were retrieved from the official websites of the issuing organisations and selected universities. Where documents were not publicly accessible, they were obtained from authorised institutional offices. Each document was screened against the inclusion criteria and entered into a document register containing its title, issuing authority, year of publication, policy level, source and relevance to the study.

The eligible documents were converted into searchable formats where necessary and read repeatedly to achieve familiarity with their content. Relevant provisions were subsequently extracted and entered into a policy-analysis matrix. Document versions, dates of retrieval and web links were recorded to provide an auditable trail of the data-collection process.

3.5 Data Analysis

The documents were analysed using directed qualitative content analysis, complemented by inductive thematic analysis. Directed content analysis was appropriate because the Human-in-the-Loop approach and established AI-governance principles provided initial analytical categories while allowing additional themes to emerge from the documents (Hsieh & Shannon, 2005).

The analysis proceeded through document familiarisation, initial coding, category development, comparison across policy levels and interpretation of the emerging findings. The initial deductive categories comprised transparency, accountability, fairness, privacy, disclosure and human oversight. Inductive coding was used to identify additional provisions and context-specific issues that were not adequately represented by the predetermined categories. The findings were organised thematically and summarised through a comparative policy matrix. Frequencies were used only to indicate the number of documents addressing each governance dimension and did not replace the qualitative interpretation of policy content.

3.6 Trustworthiness

The trustworthiness of the analysis was established through a clearly defined coding guide, repeated examination of the documents and comparison of findings across international, national and institutional policy levels. The checklist was reviewed by experts in mathematics education, educational assessment and AI governance to establish its relevance and comprehensiveness.

A second coder independently analysed a sample of the documents. Differences in interpretation were discussed, and the coding framework was refined before the final analysis. An audit trail documenting search decisions, excluded documents, coding revisions and analytical notes was maintained to strengthen dependability and confirmability.

3.7 Ethical Considerations

The study relied primarily on publicly available policy documents and did not involve direct human participants. Nevertheless, all documents were accurately represented, appropriately cited and used only for scholarly purposes. Permission was obtained before restricted institutional documents were examined, while confidential information was excluded from the report. The analysis also distinguished between the absence of a publicly accessible policy and evidence that an institution had no internal policy, thereby avoiding unsupported or potentially misleading conclusions.

4. Findings and Discussion

The policy analysis revealed a marked difference between the normative expectations established in international AI-governance instruments and the operational guidance publicly available within the seven selected Nigerian universities. UNESCO's policy instruments explicitly addressed human agency, ethical validation, transparency, accountability, data protection and the development of institutional capacity for responsible AI use (UNESCO, 2021, 2023, 2024). By contrast, the publicly accessible institutional materials located for the University of Ibadan, University of Nigeria, Nsukka, Ahmadu Bello University, Niger Delta University, Rivers State University, Igbinedion University and Baze University were largely framed around conventional examination misconduct, plagiarism, unauthorised assistance and student discipline. No publicly accessible, university-wide policy specifically governing generative AI in mathematics assessment was located for any of the seven institutions as of September 2026.

This result should be interpreted cautiously. The failure to locate a policy online does not establish that an institution has no internal guidance. It does, however, demonstrate a transparency problem: rules affecting students' use of AI cannot guide behaviour effectively if they are unavailable, difficult to locate or communicated only informally. The analysis therefore focused on both the substantive content of the located policies and the significance of policy silence.

4.1 Provisions Governing AI-Assisted Assessment

The analysed international instruments adopted an enabling but risk-conscious position. UNESCO (2023) did not propose a comprehensive prohibition of generative AI in education. Instead, it recommended a human-centred approach in which educational use is ethically validated, age-appropriate, pedagogically justified and subject to data-protection safeguards. Similarly, UNESCO's (2024) competency framework recognised AI as a legitimate pedagogical and professional resource while requiring teachers to understand its foundations, ethical implications and limitations. These instruments therefore treated AI use as conditional: it could be permitted where it supported learning and preserved human agency, but restricted where it displaced essential cognitive activity, exposed personal data or produced unverified educational decisions.

The institutional materials presented a less developed position. Existing examination and academic-misconduct provisions generally prohibited plagiarism, cheating, impersonation, collusion and the use of unauthorised materials or assistance. These categories could potentially capture some forms of AI misuse.

For example, submitting an AI-generated mathematical solution as one's independent work could fall under plagiarism or unauthorised assistance. Similarly, using an AI application during a restricted examination could be treated as the use of an unauthorised aid. Nevertheless, applying conventional rules to GenAI requires interpretation because the policies were generally developed before AI systems could generate original-looking solutions, explanations and computer code in response to individual prompts.

This reliance on indirect coverage created uncertainty about what the policies actually permitted. The located institutional materials did not consistently distinguish between using AI to generate an entire answer and using it to obtain feedback, clarify a concept, check grammar, explore an alternative solution or verify a calculation. Such uses involve different levels of intellectual substitution and should not attract identical treatment. Cotton et al. (2024) argue that academic-integrity policy must move beyond a simple prohibition model because the educational significance of AI use depends on the task, learning outcomes and degree of student contribution.

The absence of a clear classification system was especially problematic for mathematics assessment. AI may be used as a calculator, tutor, solution generator, proof assistant or automated feedback system. A policy that merely prohibits "unauthorised assistance" leaves the lecturer to decide whether each function is acceptable, often after the student has submitted the work. This produces inconsistent expectations across courses and departments. Moreover, the mathematical accuracy of AI-generated solutions cannot be assumed. Wardat et al. (2023) found that ChatGPT could provide useful mathematical explanations but also demonstrated weaknesses in geometrical understanding and misconception correction. Consequently, an institutional policy should not permit AI-generated questions, marking guides or feedback without specifying a process of disciplinary verification.

The findings further indicated that existing policies concentrated more strongly on misconduct after it occurred than on responsible use before submission. Sanctions for plagiarism and examination malpractice were more visible than guidance on how students could acknowledge AI assistance or how lecturers could design AI-inclusive assessment. This punitive emphasis is insufficient because reliable detection of AI-generated work remains difficult. Scarfe et al. (2024) found that almost all AI-generated examination submissions introduced into a university assessment system escaped detection and achieved higher grades, on average, than genuine student responses. Policies dependent primarily on detection and punishment may therefore create an appearance of control without securing assessment validity.

4.2 Human-Oversight Mechanisms

At the international level, human oversight was treated as a substantive governance obligation. UNESCO (2021) placed ultimate responsibility for AI-related decisions on human actors and called for oversight, auditability and mechanisms of redress. UNESCO (2023) similarly emphasised that AI should augment rather than replace human intellectual and pedagogical agency. Under these principles, lecturers should retain authority to verify AI-generated assessment materials, examine students' reasoning, moderate automated grades and correct inaccurate or unfair outputs.

The institutional documents provided a partial foundation for such oversight through conventional academic structures. Lecturers remained responsible for setting and marking assessments, while departments, examination committees and university boards were involved in moderation, approval of results and adjudication of alleged misconduct.

Students also had access to established disciplinary or appeal procedures in relation to examination decisions. These mechanisms demonstrated that human authority had not been formally displaced by automation.

However, the policies did not adequately define how these conventional responsibilities should operate when AI is involved. They generally did not require lecturers to verify the accuracy of AI-generated mathematics questions, marking schemes or feedback before use. Nor did they specify whether automated scores must be moderated, what evidence should be examined when AI misuse is alleged or whether AI-detection results could constitute sufficient evidence of misconduct. Consequently, the existence of a lecturer or committee in the decision chain did not necessarily amount to meaningful Human-in-the-Loop oversight.

Meaningful oversight requires more than formal human presence. The reviewer must understand the system's limitations, have access to relevant evidence and possess the authority to reject its output. The European Union's AI Act reflects this stronger conception by requiring appropriate human oversight of high-risk AI systems and warning against over-reliance on automated outputs (European Parliament & Council of the European Union, 2024). Applied to mathematics assessment, this means that a lecturer should examine not only the final answer but also the coherence of the student's working, the alignment of the response with course-level competence and any declared AI contribution.

The analysis also identified weaknesses in appeals. Existing student-appeal mechanisms could, in principle, accommodate disputes involving AI. However, the located provisions did not clearly address how students could challenge an allegation based on an AI detector, an automated grade or inaccurate AI-generated feedback. This omission is significant because a student should not bear the burden of disproving an opaque technological judgement. Institutions require AI-specific procedures defining admissible evidence, levels of proof, human review responsibilities and the student's right to present drafts, prompts, working notes or oral explanations.

4.3 Major Policy Gaps

Five interrelated gaps emerged from the analysis: transparency, accountability, fairness, data privacy and disclosure. These gaps were not resolved by the existence of general examination regulations because GenAI creates forms of assistance, authorship and data processing that conventional rules do not address explicitly.

Governance dimension	Existing provision	Identified gap	Required action
Transparency	General rules prohibit plagiarism, cheating and unauthorised assistance. International frameworks require explainable and human-centred AI use.	Institutional documents do not clearly classify permitted, restricted and prohibited AI uses in mathematics assessment.	Publish accessible university-wide and assessment-specific AI rules, including examples for mathematics tasks.
Accountability	Lecturers, departments and examination committees retain responsibility for assessment and misconduct decisions.	Responsibility for validating AI-generated questions, feedback, scores and detection evidence is not clearly assigned.	Designate accountable officers and require documented human verification and moderation.
Fairness	Existing assessment rules generally seek equal treatment and provide disciplinary procedures.	Policies do not address unequal access to AI tools, differences in AI literacy, algorithmic bias or unreliable detection.	Conduct equality and bias reviews, provide basic institutional access and prohibit disciplinary decisions based solely on AI detectors.
Data privacy	The Nigeria Data Protection Act provides general principles for lawful, fair and secure processing of personal data.	Institutional assessment policies do not explain what student or assessment data may be entered into external AI platforms.	Establish approved-tool lists, data-minimisation rules, consent requirements and restrictions on uploading confidential materials.
AI disclosure	Conventional plagiarism rules require acknowledgement of external sources.	AI is not consistently treated as a source, form of assistance or assessable contribution, and no common disclosure format is provided.	Require a standard AI-use declaration identifying the tool, purpose, prompts or relevant contribution and verification undertaken.

Transparency was the most visible deficiency. Students could reasonably understand that submitting another person's work was prohibited but remain uncertain about using AI to check a solution or obtain an explanation. Ambiguity transfers the responsibility for interpreting policy from the institution to individual lecturers and students. It also creates the possibility that similar conduct will be treated differently across departments. UNESCO (2023) maintains that coherent institutional frameworks are necessary because fragmented guidance cannot provide reliable protection for learners or educators.

The accountability gap was equally important. If an AI-generated marking guide contains an error, it must be clear whether responsibility lies with the lecturer, department, software provider or institution. Governance principles indicate that institutional responsibility cannot be displaced onto the tool. UNESCO (2021) explicitly connects human oversight with accountability and redress.

Accordingly, lecturers should remain responsible for academic judgements, while institutions should be responsible for authorising systems, providing training and maintaining appeal mechanisms.

Fairness involved more than algorithmic bias. Students differ in access to paid AI systems, reliable internet services and training in effective prompting. Allowing unrestricted AI use may therefore reward technological advantage rather than mathematical competence. Conversely, an absolute prohibition may disadvantage students who legitimately use assistive technology. Fairness requires assessment-level rules linked to learning outcomes, together with reasonable access and alternative arrangements. It also requires restraint in the use of AI-detection software, given the risk that uncertain outputs may lead to unjust allegations.

Data privacy received stronger support at the national level than in the assessment documents. The Nigeria Data Protection Act 2023 established requirements relating to lawful processing, purpose limitation, data security and the rights of data subjects (Federal Republic of Nigeria, 2023). Nevertheless, general statutory protection did not tell lecturers whether examination questions could be uploaded to a commercial chatbot or whether students' scripts could be processed by an externally hosted marking system. Operational university guidance is needed to translate legal principles into assessment practice.

Finally, disclosure remained underdeveloped. Conventional citation practices do not adequately capture interactive AI assistance because AI output may influence reasoning without being quoted directly. A meaningful disclosure should identify the tool, purpose and extent of use, while placing responsibility on the student to verify the final submission. However, disclosure should not legitimise prohibited use: its function is to make authorised assistance visible and assessable.

Overall, the findings showed that existing regulations provided a basic institutional architecture for academic integrity but did not adequately govern AI-assisted mathematics assessment. The principal weakness was not a complete absence of relevant rules; it was the failure to translate general prohibitions and ethical principles into clear, mathematics-sensitive procedures. This gap justified the development of a contextually appropriate governance framework centred on explicit AI-use classifications, compulsory disclosure, lecturer verification, fair procedures, privacy protection and accountable human decision-making.

5. Proposed Governance Framework

The proposed governance framework responds to the gaps identified in the analysed policies by placing accountable human judgement at the centre of AI-assisted mathematics assessment. It does not presume that every use of artificial intelligence is academically dishonest or that all AI applications should be permitted. Instead, it establishes differentiated controls according to the purpose, extent and educational consequences of AI use. The framework consists of six connected components.

5.1 AI-Use Classification

Each assessment should classify AI use as permitted, conditionally permitted or prohibited. Permitted uses may include formative practice, clarification of concepts and lecturer-approved feedback that does not replace the competence being assessed. Conditionally permitted uses may include generating examples, checking calculations or improving the presentation of a solution, provided that students disclose the assistance and independently verify the output. Prohibited uses should include generating complete answers for submission, fabricating data or references, using AI during restricted examinations and presenting AI-generated reasoning as independent work.

Classification should occur at the level of each assessment rather than through a single rule for every course. An AI application acceptable in a formative activity may invalidate an examination intended to measure independent mathematical reasoning. This differentiated approach aligns governance with learning outcomes and avoids both unrestricted adoption and indiscriminate prohibition (UNESCO, 2023).

5.2 Mandatory Disclosure

Every assessment permitting AI should require a standard AI-use declaration. The declaration should identify the tool and version where known, purpose of use, relevant prompts or instructions, parts of the submission influenced by AI and procedures used to verify the output. Students who did not use AI should also be able to make a brief declaration to that effect.

Disclosure should not be treated as automatic evidence of misconduct. Its purpose is to make technological assistance visible so that lecturers can judge whether the student's contribution satisfies the assessment requirements. Failure to disclose material AI assistance should constitute an integrity violation, even where the resulting answer is mathematically correct.

5.3 Human Verification

Qualified lecturers should retain control over all consequential academic decisions. Before using AI-generated questions, solutions, feedback or marking suggestions, lecturers should confirm mathematical accuracy, alignment with course outcomes, appropriateness of difficulty and absence of misleading reasoning. Automated grades should be regarded as provisional until reviewed and approved by an authorised lecturer.

Where a student's authorship or understanding is uncertain, verification should focus on evidence of competence rather than unreliable assumptions about writing style. Lecturers may examine working steps, drafts, prompt records or related problems and may require a short oral explanation. This arrangement operationalises the Human-in-the-Loop approach by ensuring that AI informs, but does not determine, the final academic judgement (European Parliament & Council of the European Union, 2024; UNESCO, 2021).

5.4 Assessment Redesign

Universities should redesign mathematics assessments to capture both the solution and the reasoning process. Appropriate strategies include oral defence, supervised problem-solving, submission of intermediate working, reflective explanations, comparison of alternative methods and application of concepts to unfamiliar contexts. Courses may combine AI-permitted assignments with secure tasks that establish independent competence.

Assessment redesign should not be reduced to returning entirely to handwritten examinations. Such a response may restrict misconduct but fail to prepare students for responsible technology use. The objective should be a balanced assessment system in which students demonstrate foundational competence independently and use AI critically where such use supports relevant graduate capabilities.

5.5 Privacy and Fairness Safeguards

Only institutionally approved AI tools should be used to process assessment-related information. Students and lecturers should not upload personal data, confidential examination questions, unpublished materials or identifiable student scripts to external systems without an appropriate legal basis and institutional authorisation. These safeguards should reflect the data-protection principles established by the Nigeria Data Protection Act 2023.

Universities should also monitor unequal effects arising from differences in internet access, subscription costs, disability, language and AI literacy. Where AI use is required, institutions should provide reasonable access or an equivalent alternative. AI-detection output should not constitute the sole basis for disciplinary action because uncertain classifications may produce unfair allegations.

5.6 Accountability and Review

The framework assigns responsibility at multiple levels. University management should approve the institutional policy; quality-assurance units should monitor implementation; ICT and data-protection officers should evaluate tools; departments should establish discipline-specific rules; lecturers should communicate assessment requirements and verify outputs; and students should disclose and take responsibility for their use of AI.

Students should have access to a transparent appeal process in cases involving automated grading or alleged AI misuse. The institution should maintain records of disputed decisions, identified errors and emerging risks. The framework should be reviewed at least annually because changes in AI capabilities may render earlier classifications and safeguards inadequate.

Figure 1



The circular relationship indicates that governance is an iterative process. Evidence arising from verification, appeals and monitoring should inform subsequent classification, assessment design and policy revision.

6. Conclusion and Recommendations

This study critically analysed the extent to which existing policies supported human oversight and academic integrity in AI-assisted mathematics assessment in Nigerian higher education. International frameworks provided comparatively clear principles relating to human agency, transparency, accountability, fairness and data protection. In contrast, the publicly accessible institutional materials from the seven selected universities were largely structured around conventional plagiarism, cheating, unauthorised assistance and examination misconduct. No publicly accessible, university-wide policy specifically regulating generative AI in mathematics assessment was located among the selected institutions at the study's cut-off date.

Existing regulations were not entirely irrelevant. Their provisions on plagiarism, misconduct, lecturer responsibility, moderation and student appeals provided a basic governance foundation. Nevertheless, these provisions were inadequate for distinguishing legitimate AI-supported learning from the substitution of student reasoning. They did not consistently classify acceptable AI uses, require disclosure, assign responsibility for validating AI-generated assessment materials or regulate the use of automated detection and grading. General data-protection requirements similarly remained disconnected from practical decisions about uploading student scripts, examination questions or personal information to third-party AI platforms.

The study therefore concluded that existing policies were partially applicable but insufficiently explicit and operational for AI-assisted mathematics assessment. The principal governance problem was not merely the absence of sanctions. It was the absence of a coherent system connecting permitted use, disclosure, human verification, assessment validity, privacy protection, fairness and redress. The proposed six-component framework addressed this gap while recognising that AI can support learning when its use is transparent and pedagogically justified.

Based on the findings, Nigerian universities should:

1. develop publicly accessible institutional policies defining permitted, conditionally permitted and prohibited AI uses;
2. require assessment-specific instructions and standard AI-use declarations;
3. ensure that lecturers verify all AI-generated questions, solutions, feedback and provisional grades;
4. redesign mathematics assessment to include process evidence, oral defence and supervised demonstration of competence;
5. prohibit the use of AI-detection scores as the sole evidence of academic misconduct;
6. establish approved-tool lists and rules governing the processing of student and assessment data;
7. provide equitable access, AI-literacy training and reasonable alternatives where AI use is required;
8. assign implementation responsibilities to management, quality-assurance, ICT, data-protection and academic units; and
9. create transparent appeal procedures and review AI policies periodically.

The study was limited to publicly accessible and officially obtainable policy documents. Consequently, internal departmental guidance and recently adopted but unpublished policies may not have been captured. The rapidly changing capabilities of AI systems also mean that the findings represent the policy position at a particular point in time. Further research should empirically validate the proposed framework with mathematics lecturers, students, university administrators and AI-governance experts across Nigerian universities before its wider implementation.

References

Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal, 9*(2), 27–40. https://doi.org/10.3316/QRJ0902027

Cotton, D. R. E., Cotton, P. A., & Shipway, J. R. (2024). Chatting and cheating: Ensuring academic integrity in the era of ChatGPT. *Innovations in Education and Teaching International, 61*(2), 228–239. https://doi.org/10.1080/14703297.2023.2190148

European Parliament, & Council of the European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence. *Official Journal of the European Union, L, 2024/1689*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj

Federal Republic of Nigeria. (2023). *Nigeria Data Protection Act, 2023*. Nigeria Data Protection Commission.

Hsieh, H.-F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative Health Research, 15*(9), 1277–1288. https://doi.org/10.1177/1049732305276687

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., … Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences, 103*, 102274. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274

Scarfe, P., Watcham, K., Clarke, A., & Roesch, E. (2024). A real-world test of artificial intelligence infiltration of a university examinations system: A "Turing Test" case study. *PLOS ONE, 19*(6), e0305354. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305354

UNESCO. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137

UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693

UNESCO. (2024). *AI competency framework for teachers*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391104

Wardat, Y., Tashtoush, M. A., AlAli, R., & Jarrah, A. M. (2023). ChatGPT: A revolutionary tool for teaching and learning mathematics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 19*(7), em2286. https://doi.org/10.29333/ejmste/13272

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

DIGITAL STORYTELLING: AN APPROPRIATE MEDIUM FOR INCLUSIVE EDUCATION FOR KIDS WITH SPECIAL NEEDS

Dr. Sagaya Aurelia
Department of Computer Science, Christ University

ABSTRACT

Digital storytelling (DST) is an instructional approach in which students integrate digital media with narrative techniques to creatively articulate their ideas and facilitate meaningful learning in inclusive classroom environments. Thomas and Manalil (2025) assert that this methodology serves as a conduit for inclusion, allowing students to share their personal stories and thereby enhancing their sense of value within a diverse educational context. Beyond serving as a creative outlet, DST fosters deeper cognitive engagement among learners and encourages effective collaboration with peers.

Lazzari (2016) underscores the efficacy of DST, particularly in teacher training and special education, where students are encouraged to create and disseminate digital narratives. This practice fosters reflection, active participation, and inclusive pedagogical strategies, rendering DST a potent instrument for advancing equity and understanding among learners of diverse abilities and backgrounds. Furthermore, Manganello and Baldacci (2024) highlight the potential of DST to augment linguistic and narrative competencies, thereby facilitating collaboration among students from varied cultural backgrounds. By integrating digital storytelling into educational frameworks, educators can effectively address a spectrum of learning needs and inspire students to engage with content that is highly relevant.

Digital storytelling (DST) combines technology, narrative techniques, and inclusive teaching practices. It provides students with a fun and creative way to express themselves and learn collaboratively in the classroom. When applied specifically in language learning, DST can enhance inclusivity, interactivity, and respect for diverse cultures. In this study, ‘inclusive’ refers to a language-teaching approach that promotes the participation and learning of all students, taking into account their diverse linguistic backgrounds and abilities, and ensuring that learning occurs in the same environment.

Keywords: Digital Storytelling, special education, inclusive learning

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

MODERN ASKERÎ KARGO UÇAKLARI İÇİN EN UYGUN BAKIM/ONARIM MERKEZİ SEÇİMİ: C-130J ÖRNEĞİNDE TOPSIS VE SPOTIS UYGULAMASI

Ali SAKALLI
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
ORCID: 0000-0002-8968-7704

Prof. Dr. Ercan ŞENYİĞİT
Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0002-9388-2633

ÖZET
Modern askerî kargo uçaklarının ağır bakım merkezi seçimi; teknik yeterlilik, maliyet, teslim süresi, lojistik erişim ve jeopolitik risk gibi birbiriyle çatışabilen ölçütlerin birlikte değerlendirilmesini gerektiren stratejik bir karar problemidir. Bu çalışmanın amacı, modern askerî kargo uçaklarının planlı ağır bakım ihtiyaçları için uygun bakım/onarım merkezinin belirlenmesinde TOPSIS ve SPOTIS yöntemlerini aynı veri yapısı altında karşılaştırmak ve kararın farklı varsayımlara karşı kararlılığını incelemektir. C-130J platformunun vaka çalışması olarak ele alındığı modelde, ön eleme koşullarını karşılayan on bir bakım merkezi A1-A11 kodlarıyla anonimleştirilmiş ve dokuz kriter üzerinden değerlendirilmiştir. Teknik Yeterlilik(C1), Sertifikasyon Seviyesi(C2), Lojistik Erişim(C5), Jeopolitik Risk(C6), Güvenilirlik ve Emniyet Kültürü(C7) ve Yerli Stratejik Katkı(C9) kriterlerine ait nitel performansları 40 uzmanın değerlendirmelerinden medyanla; kriter ağırlıkları ise uzman tahsislerinin aritmetik ortalamasıyla elde edilmiştir. Teslim Süresi(C3), Toplam Bakım Maliyeti(C4) ve Karşılaştırılabilir Referans Düzeyi(C8) göstergeleri açık kaynak ve pazar kıyaslamasıyla oluşturulmuştur. Aynı karar matrisi ve ağırlık vektörü her iki yönteme uygulanmıştır. Güncel analizde A11, TOPSIS göreli yakınlık katsayısı 0,771524 ve SPOTIS ideal uzaklık skoru 0,212591 ile iki yöntemde de birinci sırada yer almıştır. Tam sıralamalar arasında Spearman rho=0,9636 ve Kendall tau=0,8909 düzeyinde yüksek uyum belirlenmiştir. Her uzmanın ağırlık vektörüyle üretilen alternatif sıralamaları arasındaki uzlaşma TOPSIS için Kendall W=0,8305, SPOTIS için W=0,8712 olarak hesaplanmıştır. A11 için C9 uzman puanları 3-10 aralığında, medyan 9,5 düzeyindedir. Ağırlık ve SPOTIS sınır analizlerinde temel tercih büyük ölçüde korunmuş; C3 ve C6 kriterleri ayrı ayrı çıkarıldığında A11 birinci kalırken C9 çıkarıldığında TOPSIS A4'ü, SPOTIS A6'yı birinci sıraya yerleştirmiştir. Bulgular, iki yöntemin birlikte kullanılmasının tercih performansı ile sıralama kararlılığını aynı karar çerçevesinde değerlendirmeye imkân verdiğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme, C-130J, bakım merkezi seçimi, TOPSIS, SPOTIS, duyarlılık analizi.

SELECTION OF THE MOST SUITABLE MAINTENANCE AND REPAIR CENTER FOR MODERN MILITARY CARGO AIRCRAFT: A TOPSIS AND SPOTIS APPLICATION TO THE C-130J CASE

ABSTRACT
The selection of a heavy maintenance center for modern military cargo aircraft is a strategic decision problem involving conflicting criteria such as technical capability, cost, turnaround time, logistics accessibility, and geopolitical risk.

This study compares TOPSIS and SPOTIS under the same data structure for selecting a suitable maintenance, repair, and overhaul center for planned heavy maintenance and evaluates the robustness of the decision under different assumptions. Using the C-130J platform as a case study, eleven eligible maintenance centers were anonymized as A1–A11 and assessed against nine criteria. Median evaluations from 40 experts were used for Technical Capability(C1), Certification Level(C2), Logistics Accessibility(C5), Geopolitical Risk(C6), Reliability and Safety Culture(C7), and Domestic Strategic Contribution(C9). Criterion weights were derived from the arithmetic means of the experts' point allocations. Turnaround Time(C3), Total Maintenance Cost(C4), and Comparable Reference Level(C8) were constructed from open-source information and market benchmarking. The same decision matrix and weight vector were applied to both methods.

A11 ranked first in both methods, with a TOPSIS relative closeness coefficient of 0.771524 and a SPOTIS ideal-distance score of 0.212591. The full rankings showed high agreement, with Spearman's rho = 0.9636 and Kendall's tau = 0.8909. Expert-specific rankings also showed high concordance, with Kendall's W = 0.8305 for TOPSIS and W = 0.8712 for SPOTIS. A11's C9 scores ranged from 3 to 10, with a median of 9.5. The baseline preference was largely preserved across weight and SPOTIS boundary sensitivity analyses. A11 remained first when C3 or C6 was removed separately; however, removing C9 changed the winner to A4 in TOPSIS and A6 in SPOTIS. The findings show that using TOPSIS and SPOTIS together enables preference performance and ranking stability to be assessed within a common decision framework.

Keywords: Multi-criteria decision making, C-130J, maintenance center selection, TOPSIS, SPOTIS, sensitivity analysis.

1. GİRİŞ

Askerî kargo uçakları; personel ve malzeme nakli, insani yardım, tahliye ve müşterek harekât gibi görevlerde hava gücünün sürekliliğini destekleyen temel kuvvet çarpanlarıdır. Bu uçakların planlı ağır bakımlarının zamanında ve uygun yetkinlikte tamamlanamaması, yalnız bakım maliyetini değil, filonun göreve hazır bulunma oranını ve operasyonel esnekliğini de doğrudan etkiler [1]–[3]. Dolayısıyla bakım merkezi seçimi klasik bir dış kaynak kullanımı kararından daha kapsamlıdır; uçuşa elverişlilik, kurumsal yetkinlik, tedarik zinciri dayanıklılığı ve uzun dönemli destek kabiliyeti birlikte değerlendirilmelidir [4], [6], [7].

C-130J gibi uzun hizmet ömrüne ve çok ülkeli kullanıcı yapısına sahip platformlarda aday bakım merkezleri farklı avantaj kümeleri sunar. Bir merkez teknik yeterlilik ve sertifikasyonda öne çıkarken başka bir merkez daha kısa teslim süresi, daha düşük toplam maliyet veya daha kolay lojistik erişim sağlayabilir. Jeopolitik kısıtlar, ihracat izinleri ve tedarik zinciri kesintileri de barış döneminde ikincil görünen seçenekleri kriz koşullarında belirleyici hâle getirebilir [16] – [19], [22]. Bu karşıtlıklar, kararın tek bir kriterle veya yalnız maliyet karşılaştırmasıyla verilmesini güçleştirmektedir.

Çok kriterli karar verme yöntemleri, farklı ölçekteki nitel ve nicel göstergelerin ortak bir karar yapısında değerlendirilmesine imkân verir [5], [20], [21]. Bununla birlikte tek bir yöntemin ürettiği sıralamayı değişmez bir gerçek olarak kabul etmek askeri stratejik kararlar için yeterli olmayabilir. TOPSIS, mevcut alternatif kümesinden türetilen göreli ideal ve anti-ideal çözümleri kullanırken [8], SPOTIS kriterler için önceden tanımlanan sabit sınırlar ile ideal noktaya uzaklığı hesaplar [9]. Bu iki yaklaşımın birlikte kullanılması, yöntemlerin doğruluğunu kıyaslamaktan çok, önerilen tercihin farklı matematiksel referans yapılarında korunup korunmadığını görmeye yardım eder.

Bu çalışmanın temel amacı, modern askerî kargo uçakları için en uygun bakım/onarım merkezini belirlemeye yönelik uygulanabilir bir karar destek modeli geliştirmektir. C-130J platformu bir vaka çalışması olarak ele alınmış; on bir alternatif dokuz kriter altında değerlendirilmiştir. TOPSIS ve SPOTIS aynı veri yapısıyla çalıştırılmış, ardından ağırlık, sınır, öncelikli kriter ve alternatif kümesi değişiklikleri altında sıralama kararlılığı incelenmiştir. Böylece çalışma yalnız "hangi merkez birinci?" sorusuna değil, "bu tercih hangi varsayımlar altında korunuyor?" sorusuna da yanıt üretmeyi hedeflemektedir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Askerî kargo uçaklarında ağır bakım merkezi seçimi, teknik bir hizmet alımının ötesinde, filonun göreve hazırlığını ve hava ulaştırma kabiliyetinin sürekliliğini etkileyen bir idame kararıdır. Bakımda kalış süresi görev için tahsis edilebilir uçak sayısını; bakımın niteliği uçuş emniyetini, hizmet sağlayıcıya bağımlılık ise uzun dönemli destek güvencesini etkiler. Bu nedenle seçim problemi, bakım maliyetinin azaltılması ile teknik yeterliliğin, zamanında teslimatın ve harekât ihtiyaçlarının birlikte karşılanması arasındaki dengenin kurulmasını gerektirmektedir.

MRO literatürü, bu dengenin yalnız fiyat karşılaştırmasıyla kurulamayacağını göstermektedir. Al-Kaabi ve arkadaşları [23], bakım faaliyetlerinin tamamen kuruluş bünyesinde yürütülmesinden bütünüyle dış kaynağa verilmesine uzanan farklı modelleri inceleyerek dış kaynak kararını faaliyetin niteliği ve işletmenin bakım yapılanmasıyla ilişkilendirmiştir. Dinis ve arkadaşları [24] kapasite planlama ile bakım çizelgelemesini bütünleşik biçimde ele alırken, Safaei ve arkadaşları [26] askerî uçak filolarında nitelikli iş gücü kısıtları altında bakım planlamasını incelemiştir. Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, bir merkezin teknik kabiliyete sahip olmasının, ihtiyaç duyulan bakım kapasitesini istenen zamanda sağlayabileceği anlamına gelmediği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla teknik yeterlilik, teslim süresi ve maliyet birbirinin yerine kullanılabilecek göstergeler değildir.

Bakım kapasitesinin değerlendirilmesinde örgütsel uygulamalar da önem taşımaktadır. Atak ve Kingma [27], bir uçak bakım kuruluşunda emniyet kültürünü inceleyerek üretim hedefleri ile emniyet gereklilikleri arasındaki gerilime dikkat çekmiştir. Bu bulgu, bakım kuruluşunun değerlendirilmesinin tesis, ekipman ve yetkilendirme belgeleriyle sınırlandırılmaması gerektiğini düşündürmektedir. Bu çalışmada teknik yeterlilik bakım işini gerçekleştirme kabiliyetini, sertifikasyon yetkilendirme ve uygunluk boyutunu, güvenilirlik ve emniyet kültürü ise bu kabiliyetin uygulamadaki güvenli ve tutarlı kullanımını temsil etmektedir. Böylece ilişkili olmakla birlikte aynı anlama gelmeyen yeterlilik alanları ayrı değerlendirilmektedir.

Askerî bağlamda değerlendirmeye bakım desteğinin kriz koşullarında sürdürülebilirliği de eklenmektedir. Temel depo bakım kabiliyetlerinin korunmasını askerî ihtiyaçlarla ilişkilendiren çalışmalar, bakım kaynağı kararının yalnız kısa dönemli ekonomik verimlilikle açıklanamayacağına örnek oluşturmaktadır. [15] Bu yaklaşım doğrultusunda çalışmada lojistik erişim, jeopolitik risk ve yerli stratejik katkı farklı zaman ufuklarıyla ele alınmıştır: lojistik erişim mevcut hizmete ulaşılabilirliği, jeopolitik risk desteğin kesintiye uğrama olasılığına ilişkin değerlendirmeyi, yerli stratejik katkı ise kullanıcı ülkede kalıcı idame kabiliyeti geliştirme potansiyelini temsil etmektedir. Böylece mevcut hizmetin temini ile gelecekteki dışa bağımlılığın azaltılması birbirinden ayrılmaktadır.

Bu çok boyutlu yapıda TOPSIS ve SPOTIS, alternatifleri ideal çözüme göre değerlendiren ancak referanslarını farklı biçimde oluşturan iki yaklaşımdır. TOPSIS'te normalizasyon ve ideal çözümlerin mevcut alternatif kümesine bağlı olması, adayların eklenmesi veya çıkarılması durumunda kalan alternatiflerin göreli sırasını etkileyebilmektedir. García-Cascales ve Lamata [28], bu sıra tersine dönmesi sorununu TOPSIS özelinde incelemiştir.

Dezert ve arkadaşlarının geliştirdiği SPOTIS [9] ise önceden tanımlanan kriter sınırları üzerinden sabit bir ideal referans kullanmaktadır. Ağırlıklar, sınırlar ve mevcut performans değerleri sabit tutulduğunda alternatif kümesindeki değişimin kalan adayların skorlarını değiştirmemesi, yöntemi kısa listenin değişebildiği seçim süreçleri bakımından anlamlı kılmaktadır. Bununla birlikte sıra kararlılığı, belirlenen sınırların veya kullanılan verilerin doğruluğunu tek başına güvence altına almamaktadır.

Ele alınan çalışmalar, bakımın nasıl örgütleneceği, kapasitenin nasıl planlanacağı ve alternatiflerin nasıl sıralanacağı konusunda birbirini tamamlayan yaklaşımlar sunmaktadır. Bu araştırmanın katkısı, söz konusu yaklaşımları C-130J ağır bakım merkezi seçimi probleminde teknik, ekonomik, lojistik ve stratejik ölçütlerle ilişkilendirmesidir. TOPSIS ve SPOTIS'in ortak karar matrisi ve ağırlıklar üzerinde karşılaştırılması, yöntem tercihinin sonuç üzerindeki etkisini görünür kılmaktadır. Ağırlık, sınır, seçilmiş kriter ve alternatif kümesi analizleriyle de yalnız öncelikli bakım merkezi değil, bu tercihin hangi harekât ve idame öncelikleri altında korunduğu veya değiştiği araştırılmaktadır.

3. YÖNTEM

3.1. Araştırma tasarımı ve veri yapısı

Çalışma yedi aşamada yürütülmüştür: (i) karar probleminin ve ön eleme koşullarının tanımlanması, (ii) aday merkezlerin anonimleştirilmesi, (iii) kriterlerin ve yönlerinin belirlenmesi, (iv) nicel verilerin açık kaynak ve pazar kıyaslamasıyla oluşturulması, (v) 40 uzmandan görüşlerin alınması toplulaştırılması, (vi) TOPSIS ve SPOTIS hesaplamalarının ortak girdilerle yürütülmesi ve (vii) duyarlılık/sağlamlık analizlerinin uygulanması. Alternatif adları marka ve itibar etkisini azaltmak ve bağlayıcı olmayan göstergeler üzerinden kurumlara yönelik kesin performans hükmü kurmamak için A1-A11 biçiminde kodlanmıştır.

C3 teslim süresi, C4 toplam bakım maliyeti ve C8 karşılaştırılabilir referans düzeyi kriterleri kamuya açık teknik/kurumsal bilgiler ve pazar kıyaslaması kullanılarak oluşturulan nicel gösterge değerleridir. Bu değerler bağlayıcı teklif veya gerçekleşmiş sözleşme verisi olarak yorumlanmamalıdır. C1, C2, C5, C6, C7 ve C9 nitel kriterleri 40 uzman tarafından ortak rubrikler kullanılarak 1-10 ölçeğinde değerlendirilmiştir. Nitel performans puanlarında medyan [14], toplamı 100 olan kriter ağırlığı tahsislerinde aritmetik ortalama kullanılmıştır. Her uzmanın ağırlık vektörüyle üretilen alternatif sıralamaları arasındaki uzlaşma TOPSIS için Kendall W=0,8305, SPOTIS için W=0,8712 düzeyindedir.

Tablo 1. Kriterler, yönleri ve ağırlıkları

Kod	Kriter	Ölçek/birim	Yön	Ağırlık
C1	Teknik yeterlilik	1-10	Maks.	0,15475
C2	Sertifikasyon seviyesi	1-10	Maks.	0,11100
C3	Teslim süresi	Gün	Min.	0,13375
C4	Toplam bakım maliyeti	Milyon Sterlin	Min.	0,09750
C5	Lojistik erişim	1-10	Maks.	0,10425
C6	Jeopolitik risk	1-10	Min.	0,13300
C7	Güvenilirlik ve emniyet kültürü	1-10	Maks.	0,11325
C8	Karşılaştırılabilir referans düzeyi	Eşdeğer referans puanı	Maks.	0,05875
C9	Yerli stratejik katkı	1-10	Maks.	0,09375

3.2. TOPSIS hesaplama süreci

TOPSIS, her alternatifi pozitif ideal çözüme yakınlık ve negatif ideal çözümden uzaklık bakımından değerlendirir [8], [13]. Ortak ham karar matrisi $X=[x_{ij}]$ oluşturulduktan sonra sütunlar vektör normalizasyonuyla ölçekten arındırılır:

$r_{ij} = x_{ij} / \sqrt{(\Sigma_{i=1}^{m} x_{ij}^2)}$

Normalize değerler, toplamı 1 olan kriter ağırlıklarıyla çarpılarak ağırlıklı normalize matris elde edilir:

$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij}, \quad \Sigma_{j=1}^{n} w_j = 1$

Fayda kriterlerinde en yüksek, maliyet kriterlerinde en düşük değer pozitif ideal çözümü; ters yöndeki değerler negatif ideal çözümü oluşturur. Alternatiflerin iki ideal çözüme Öklid uzaklıkları ve göreli yakınlık katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$S_i^{+} = \sqrt{[\Sigma_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^{+})^2]} \quad ve \quad S_i^{-} = \sqrt{[\Sigma_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^{-})^2]}$

$C_i^* = S_i^{-} / (S_i^{+} + S_i^{-}), \quad 0 \le C_i^* \le 1$

C_i^* değeri büyüdükçe alternatifin tercih edilebilirliği artar ve sıralama büyükten küçüğe yapılır.

3.3. SPOTIS hesaplama süreci

SPOTIS, karar matrisindeki gözlenen en iyi değerler yerine her kriter için önceden belirlenen alt (S_j^{min}) ve üst (S_j^{max}) sınırları kullanır [9]. Fayda kriterinin ideal değeri üst sınır, maliyet kriterinin ideal değeri alt sınırdır. Bir alternatifin kriter bazındaki normalize ideal uzaklığı aşağıdaki parçalı yapı ile hesaplanır:

$d_{ij} = (S_j^{max} - x_{ij})/(S_j^{max} - S_j^{min}) \quad (fayda\ kriteri)$

$d_{ij} = (x_{ij} - S_j^{min})/(S_j^{max} - S_j^{min}) \quad (maliyet\ kriteri)$

Normalize uzaklıklar ortak kriter ağırlıklarıyla toplanarak toplam ideal uzaklık skoru elde edilir:

$D_i = \Sigma_{j=1}^{n} w_j \cdot d_{ij}$

D_i küçüldükçe alternatif sabit ideal noktaya yaklaşır; SPOTIS sıralaması küçükten büyüğe yapılır. Uygulamada C1, C2, C5, C6, C7 ve C9 için 1-10; C3 için 600-1200 gün; C4 için 0,80-10,00 milyon Sterlin; C8 için 500-1500 aralıkları kullanılmıştır.

3.4. Duyarlılık ve sağlamlık tasarımı

Modelin kararlılığı; temel uzman ağırlıkları ve üç yüksek ağırlığa sahip kriter, SPOTIS'in C3/C4/C8 sınırlarında ±%10 değişiklik, A11'in C9 puanı ve C9 ağırlığı, seçilmiş kriterleri çıkarma ve tek-alternatif-dışarıda bırakma deneyleriyle incelenmiştir. Çıkarma analizinde C3 bakım çevrim süresini [23]-[26], C6 dışsal süreklilik ve jeopolitik kırılganlığı [16]-[19], [22], C9 ise kalıcı millî/yerli idame kapasitesini temsil eden bir nicel ve iki nitel boyut olarak seçilmiştir [10], [11], [12]. Sıralama benzerliği Spearman rho, yöntemler arası uyum Kendall tau ile değerlendirilmiştir [30]-[31]. Bir alternatif çıkarıldığında sıra numarasının doğal yükselmesi değişim sayılmamış; yalnız kalan iki alternatifin göreli sırasının tersine dönmesi rank reversal olarak kaydedilmiştir.

4. UYGULAMA VE BULGULAR

4.1. Ortak karar matrisi

Kamuya açık kaynak/pazar kıyaslamasıyla sonucu ulaşılan nicel kriterlere ait değerler ile 40 uzman değerlendirmesinin medyanlarıyla elde edilen nitel puanların birleştirildiği ortak karar matrisi Tablo-2'de yer almaktadır. Matris iki yönteme aynı biçimde uygulanmıştır.

Tablo 2. Alternatiflerin ortak karar matrisi

Alt.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A1	8	8	920	2,4	6	4	8	1300	2
A2	6	6	1040	6,8	4	5	6	550	2
A3	7	6	980	8,3	4	6	6	650	2
A4	9	9	760	3,1	7,5	2	9	900	3
A5	9	9	720	5,9	8	2	8	850	3
A6	10	10	810	4,8	8	3	9	1100	3
A7	7	7	930	2,7	6	6	7	700	2
A8	8	8	840	6,2	7,5	4	7,5	800	3
A9	9	9	860	1,4	6	4	8,5	1250	2
A10	6	6	960	7,6	5	7	6	750	2
A11	7	6	700	1,3	10	1	7	800	9,5

Not: C3 gün, C4 milyon Sterlin, C8 eşdeğer referans puanı; diğer kriterler 1-10 ölçeğindedir. C1, C2, C5, C6, C7 ve C9 değerleri 40 uzman puanının medyanıdır.

4.2. TOPSIS ve SPOTIS sıralamaları

Ortak karar matrisi Excel programında ayrı ayrı hazırlanan formüllü TOPSIS ve SPOTIS algoritmaları ile çözdürülmüştür. Güncel ortak karar matrisi altında iki yöntem de A11'i birinci sıraya yerleştirmiştir. A11'in TOPSIS göreli yakınlık katsayısı 0,771524, SPOTIS ideal uzaklık skoru 0,212591'dir. İlk üç küme A11, A4 ve A6'dan; ilk beş küme ise bunlara A5 ve A9'un eklenmesinden oluşmuş, yalnız küme içindeki sıra yöntemlere göre değişmiştir. Sıralamalar arasındaki Spearman rho 0,9636 ($p<0,001$), Kendall tau 0,8909 ($p<0,001$) olarak bulunmuştur. Bu göstergeler yöntemlerin birbirini doğruladığı anlamına değil, güncel veri setinde oldukça benzer tercih sıraları ürettikleri anlamına gelmektedir.

Tablo 3. TOPSIS ve SPOTIS sonuçlarının karşılaştırmalı sıralaması

Alternatif	TOPSIS C_i*	TOPSIS sıra	SPOTIS D_i	SPOTIS sıra
A11	0,771524	1	0,212591	1
A4	0,544210	2	0,254056	3
A6	0,502629	3	0,250926	2
A5	0,500544	4	0,284542	4
A9	0,458746	5	0,301407	5
A1	0,420026	6	0,358262	6
A8	0,371656	7	0,388575	7
A7	0,306361	8	0,470587	8
A2	0,185103	9	0,597872	11
A3	0,107973	10	0,592102	9
A10	0,077405	11	0,594739	10

4.3. Duyarlılık ve sağlamlık bulguları

A11, TOPSIS'in temel ve üç öncelik senaryosunun tamamında birinci kalmıştır. SPOTIS'te operasyonel öncelik profilinde A6 birinci, A11 üçüncü sıraya gerilemiş; diğer profillerde A11 birinciliğini korumuştur. C3, C4 ve C8 için yürütülen 12 SPOTIS sınır testinde A11 birinci kalmış ve temel sıralamaya Spearman korelasyonu 1,0000 olmuştur. A11'in C9 medyan puanı 9,5 olup bireysel uzman puanları 3-10 aralığındadır. A11, C9=9,5 düzeyinde iki yöntemde de birinciyken, puan azaldıkça SPOTIS daha erken tepki vermiştir. Seçilmiş kriter çıkarma analizinde C3 veya C6 çıkarıldığında A11 iki yöntemde de birinci kalmış; C9 çıkarıldığında TOPSIS A4'ü, SPOTIS A6'yı birinci sıraya taşımış ve A11 sırasıyla ikinci ve üçüncü olmuştur. Tek alternatif çıkarma analizlerinde SPOTIS'te ikili sıra tersine dönüşü görülmemiş; TOPSIS'te A3, A7 veya A11 çıkarıldığında yalnız bir ikili çiftin sırası değişmiştir.

Tablo 4. Duyarlılık ve sağlamlık analizlerinin özeti

Analiz	Kapsam	Bulgu	Kararlılık yorumu
Ağırlık senaryoları	Temel + 3 öncelik profili	TOPSIS: A11 tümünde birinci; SPOTIS: operasyonel profilde A6 birinci	Üst aday kümesi büyük ölçüde korundu
SPOTIS sınır duyarlılığı	C3, C4, C8; 12 test	A11 bütün testlerde birinci	Temel sıraya Spearman 1,0000
C9 puan/ağırlık duyarlılığı	A11 puanı 3-10 ve C9 ağırlığı	A11; TOPSIS'te yaklaşık C9<4, SPOTIS'te C9<6 düzeyinde birinciliği kaybediyor	Medyan 9,5 düzeyinde iki yöntemde de birinci
Seçilmiş kriterleri çıkarma	C3, C6 ve C9 ayrı ayrı	C3/C6 yok: A11 iki yöntemde de birinci; C9 yok: TOPSIS A4, SPOTIS A6	C9 sonuç üzerinde ayırt edici
Tek alternatif çıkarma	11 test	SPOTIS: ikili tersine dönüş yok; TOPSIS: A3, A7 veya A11 çıkarıldığında bir ikili tersine dönüş	Her iki yöntemde de değişimler sınırlı

5. TARTIŞMA

Çalışmanın merkezindeki karar, iki yöntemin hangisinin daha üstün olduğunu belirlemek değil, askeri bir karar problemini çok boyutlu ve izlenebilir biçimde karara bağlamaktır. TOPSIS mevcut aday kümesindeki göreli üstünlükleri görünür kılarken SPOTIS karar vericinin tanımladığı sabit kabul aralıklarına göre ideal uzaklığı ölçmektedir. Aynı alternatifin iki yapıda da üst sıralarda kalması tercihe yönelik yöntemsel güveni artırabilir; ayrışma ise karar vericinin hangi kriter veya varsayımı yeniden incelemesi gerektiğini gösteren bir uyarıdır.

Güncel uygulamada A11'in kısa teslim süresi, düşük maliyet, güçlü lojistik erişim, düşük jeopolitik risk ve yerli stratejik katkı boyutlarındaki avantajları birinciliğini desteklemiştir. Bununla birlikte A11'in teknik yeterlilik ve sertifikasyon açısından bazı rakiplerin gerisinde olması, seçim önerisinin koşulsuz bir tercih anlamına gelmediğini ortaya koymaktadır. Yerli Stratejik Katkı (C9) kriteri çıkarıldığında TOPSIS'te A4'ün, SPOTIS'te A6'nın birinci olması, A11 önerisinin stratejik katkının karar amacına dâhil edilmesine bağlı olduğunu ve askeri bir problemde yerli/milli alternatiflerin önemini göstermektedir. Nihai tedarik veya bakım kararı öncesinde platforma özgü yetki kapsamı, bakım verisine erişim, tesis/personel yeterliliği, kalite sistemi, ihracat izinleri ve bağlayıcı teklifler ayrıca doğrulanmalıdır. ÇKKV modeli uçuşa elverişlilik onayı veya ihale değerlendirmesinin yerine geçmemekte, ön karar ve alternatif filtre oluşturma sürecini desteklemektedir.

C9 yerli stratejik katkı kriteri; C5 lojistik erişimden farklı olarak mevcut ulaştırma ve parça akışını değil kalıcı millî kabiliyet kazanımını, C6 jeopolitik riskten farklı olarak dışsal erişim kesintisi olasılığını değil bağımlılığı azaltan yerli üretimi, C8 karşılaştırılabilir referans düzeyinden farklı olarak adayın geçmiş iş hacmini değil kullanıcı ülkeye bırakacağı sürdürülebilir kazanımı ölçmektedir. Puanlamada yerli iş payı, eğitim ve yetkilendirme, teknik bilgi/veri aktarımı, takım-test altyapısı, yerli tedarikçi katılımı ve egemen idame sürdürülebilirliği birlikte dikkate alınmıştır. A11 için 3-10 aralığına yayılan bireysel puanlar görüş birliğinin tam olmadığını bakımın yerli bir kuruluşta yapılmasının tüm uzmanlar tarafından aynı şekilde yerli kabiliyet artışına etki etmeyeceğinin değerlendirildiğini göstermekte olup 9,5 medyan ise panelin çoğunluğunun katkıyı yüksek değerlendirdiğini göstermektedir.

Çalışmanın başlıca sınırlılıkları adayların anonimleştirilmesi, C3, C4 ve C8 göstergelerinin kurumlara ait bağlayıcı teklifler yerine açık kaynak/pazar kıyaslamasına dayanması, kriterler arasında olası uzman değerlendirmelerinin bağlama duyarlılığıdır.

6. SONUÇ

Bu çalışma modern askerî kargo uçakları için bakım/onarım merkezi seçimi problemini; teknik, ekonomik, operasyonel, lojistik ve stratejik boyutları bütün olarak içeren bir karar modeliyle ele almıştır. C-130J örneğinde 40 uzmanın nitel değerlendirmeleri ve araştırmacı tarafından derlenen nicel göstergeler birleştirilmiş; on bir alternatif dokuz kriter altında TOPSIS ve SPOTIS ile değerlendirilmiştir. A11, güncel temel modelde TOPSIS 0,771524 ve SPOTIS 0,212591 skorlarıyla iki yöntemde de birinci olmuş; tam sıralamalar arasında Spearman rho=0,9636 ve Kendall tau=0,8909 düzeyinde yüksek uyum elde edilmiştir.

Duyarlılık bulguları, seçimin tek bir skora indirgenmemesi gerektiğini göstermiştir. C3 ve C6 çıkarıldığında A11 birinci kalırken C9 çıkarıldığında TOPSIS A4'ü, SPOTIS A6'yı birinci sıraya taşımıştır. Buna karşılık SPOTIS sınır testleri ile tek alternatif çıkarma deneylerinde tercih yapısı büyük ölçüde korunmuştur. Dolayısıyla A11, yerli stratejik katkının karar amacında bulunduğu temel model için güçlü bir öncelikli adaydır; bağlayıcı teknik yetki, fiyat, teslim süresi ve ihracat izinleri doğrulanmadan nihai seçim olarak yorumlanmamalıdır.

Modelin temel katkısı, kazanan üretmekten çok kararın hangi veri ve varsayımlar altında korunduğunu açık ve yeniden hesaplanabilir hâle getirmesidir.

KAYNAKLAR

[1] U.S. Government Accountability Office, Weapon System Sustainment: Aircraft Mission Capable Goals Were Generally Not Met and Sustainment Costs Varied by Aircraft, GAO-23-106217, 2022.

[2] U.S. Department of Defense, DoD Maintenance of Military Materiel, DoDI 4151.18, 2024.

[3] U.S. Department of Defense, Depot Source of Repair (DSOR) Determination Process, DoDI 4151.24, 2019.

[4] North Atlantic Treaty Organization, Updated Defence Production Action Plan, 2025.

[5] W. Ho, X. Xu ve P. K. Dey, "Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review," European Journal of Operational Research, 202(1), 16–24, 2010.

[6] European Defence Agency, European Military Airworthiness Requirements (EMAR) 145: Requirements for Maintenance Organisations, ed. 2.0, 2024.

[7] International Civil Aviation Organization, Airworthiness Manual, 5th ed., Doc 9760, 2025.

[8] C.-L. Hwang ve K. Yoon, Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications—A State-of-the-Art Survey. Springer-Verlag, 1981.

[9] J. Dezert, A. Tchamova, D. Han ve J.-M. Tacnet, "The SPOTIS rank reversal free method for multi-criteria decision-making support," Proc. 23rd International Conference on Information Fusion, 1–8, 2020.

[10] E. Triantaphyllou ve A. Sánchez, "A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision-making methods," Decision Sciences, 28(1), 151–194, 1997.

[11] A. Saltelli, S. Tarantola ve K. Chan, "A role for sensitivity analysis in presenting the results from MCDA studies to decision makers," Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 8(3), 139–145, 1999.

[12] B. Roy, "Robustness in operational research and decision aiding: A multi-faceted issue," European Journal of Operational Research, 200(3), 629–638, 2010.

[13] H.-S. Shih, H.-J. Shyur ve E. S. Lee, "An extension of TOPSIS for group decision making," Mathematical and Computer Modelling, 45(7–8), 801–813, 2007.

[14] P. J. Huber ve E. M. Ronchetti, Robust Statistics, 2nd ed. Wiley, 2009.

[15] U.S. Department of Defense, Depot Maintenance Core Capabilities Determination Process, DoDI 4151.20, 2018.

[16] R. Cantelmi, G. Di Gravio ve R. Patriarca, "Learning from incidents: A supply chain management perspective in military environments," Sustainability, 12(14), 5750, 2020.

[17] P. Santamaria, S. Yoo ve V. Mittal, "The impact of supply chain issues on military training and readiness," Military Review, 85–94, 2023.

[18] A. Urmston, D. Song ve A. Lyons, "The development of risk assessments and supplier resilience models for military industrial supply chains considering rare disruptions," Logistics, 8(2), 57, 2024.

[19] B. R. Tukamuhabwa, M. Stevenson, J. Busby ve M. Zorzini, "Supply chain resilience: Definition, review and theoretical foundations for further study," International Journal of Production Research, 53(18), 5592–5623, 2015.

[20] F. Gürbüz, A. Göleç ve E. Şenyiğit, "Çok kriterli karar verme teknikleri ile en iyi askeri kargo uçağının belirlenmesi," MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5(5), 87–101, 2016.

[21] B. Sennaroglu ve G. V. Celebi, "A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods," Transportation Research Part D, 59, 160–173, 2018.

[22] D. Caldara ve M. Iacoviello, "Measuring geopolitical risk," American Economic Review, 112(4), 1194–1225, 2022.

[23] H. Al-Kaabi, A. Potter ve M. Naim, "An outsourcing decision model for airlines' MRO activities," Journal of Quality in Maintenance Engineering, 13(3), 217–227, 2007.

[24] D. Dinis, A. Barbosa-Póvoa ve Â. P. Teixeira, "A supporting framework for maintenance capacity planning and scheduling: Development and application in the aircraft MRO industry," International Journal of Production Economics, 218, 1–15, 2019.

[25] Y. Qin vd., "A two-stage optimization approach for aircraft hangar maintenance planning and staff assignment problems under MRO outsourcing mode," Computers & Industrial Engineering, 146, 106607, 2020.

[26] N. Safaei, D. Banjevic ve A. K. S. Jardine, "Workforce-constrained maintenance scheduling for military aircraft fleet: A case study," Annals of Operations Research, 186(1), 295–316, 2011.

[27] A. Atak ve S. Kingma, "Safety culture in an aircraft maintenance organisation: A view from the inside," Safety Science, 49(2), 268–278, 2011.

[28] M. S. García-Cascales ve M. T. Lamata, "On rank reversal and TOPSIS method," Mathematical and Computer Modelling, 56(5–6), 123–132, 2012.

[29] M. G. Kendall ve B. Babington Smith, "The problem of m rankings," The Annals of Mathematical Statistics, 10(3), 275–287, 1939.

[30] C. Spearman, "The proof and measurement of association between two things," American Journal of Psychology, 15(1), 72–101, 1904.

[31] M. G. Kendall, "A new measure of rank correlation," Biometrika, 30(1–2), 81–93, 1938.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ARAÇ MODİFİKASYONLARININ ETKİSİNİN ANALİZİ ÇOK AŞAMALI OTOBÜS ÜRETİMİNDE UNECE R107 UYUMLULUĞU

Yusuf ÖZEN
Koluman Otomotiv Endüstri A.Ş., Homologasyon Birimi
ORCID: 0009-0003-2136-4102

ÖZET

Çok aşamalı üretim modeli, Avrupa'daki Sınıf I ve II şehir otobüslerinin baskın üretim paradigmasını oluşturmaktadır: birinci aşamalı üretici tamamlanmamış bir temel araç (genellikle şasi veya kaporta platformu) üretirken, ikinci aşamalı üretici bu aracı yolcu gövdesi, iç mekân sistemleri, kapılar, koltuklar ve operatöre özel ekipmanlarla tamamlamaktadır. Bu iş bölümü ticari açıdan önemli esneklik sağlamakla birlikte, M2 ve M3 kategorisindeki araçların genel yapısına ilişkin birincil düzenleme olan BM Yönetmeliği No. 107 (ECE R107) kapsamında önemli bir uyum karmaşıklığı yaratmaktadır.

Bu çalışma, ikinci aşamalı üretim sürecinde gerçekleştirilen araç modifikasyonlarının ECE R107 uyumunu nasıl etkilediğini analiz etmekte, kaporta düzeyindeki modifikasyonların temel aracın mevcut onay portföyünde tetikleyebileceği kademeli geçersizleşme etkilerini incelemekte ve ikinci aşamalı projeleri yöneten homologasyon mühendisleri için pratik çıkarımları değerlendirmektedir. ECE R107 Revizyon 8 ve AB Yönetmeliği 2018/858 tarafından belirlenen düzenleyici çerçeveye dayanan bu çalışma, modifikasyon türlerini uyum etkilerine göre sınıflandıran bir taksonomi sunmakta; koridor geometrisi, acil çıkış temini, araç stabilitesi, yangın bastırma sistemi entegrasyonu ve yolcu kapasitesi gibi teknik parametreleri tartışmakta; onay verildikten sonra devam eden Üretim Uygunluğu yükümlülüklerini analiz etmektedir. Çalışma, yapılandırılmış bir etki değerlendirme metodolojisi ve UNECE çalışma gruplarına yönelik bir politika önerisiyle sonuçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ECE R107, UNECE, çok aşamalı tip onayı, ikinci aşamalı üretim, araç modifikasyonları, otobüs homologasyonu, Sınıf I/II şehir otobüsü, Üretim Uygunluğu, AB Yönetmeliği 2018/858

ABSTRACT

Multi-stage manufacturing constitutes the dominant production paradigm for Class I and II city buses in Europe: a first-stage manufacturer produces an incomplete base vehicle (typically a chassis or bodywork platform), while a second-stage manufacturer completes this vehicle with the passenger body, interior systems, doors, seats, and operator-specific equipment. While this division of labor provides significant commercial flexibility, it creates considerable compliance complexity under UN Regulation No. 107 (ECE R107) — the primary regulation governing the general construction of M2 and M3 category vehicles.

This study analyzes how vehicle modifications carried out during the second-stage manufacturing process affect ECE R107 compliance, examines the cascading invalidation effects that bodywork-level modifications may trigger in the base vehicle's existing approval portfolio, and evaluates the practical implications for homologation engineers managing second-stage projects. Drawing on the regulatory framework established by ECE R107 Revision 8 and EU Regulation 2018/858, the study presents a taxonomy classifying modification types according to their compliance impact; discusses technical parameters such as gangway geometry, emergency exit provision, vehicle stability, fire suppression system integration, and passenger capacity; and analyzes the ongoing Conformity of Production obligations that continue after approval has been granted.

The study concludes with a structured impact assessment methodology and a policy recommendation directed at UNECE working groups.
Keywords: ECE R107, UNECE, multi-stage type approval, second-stage manufacturing, vehicle modifications, bus homologation, Class I/II city bus, Conformity of Production, EU Regulation 2018/858

1. GİRİŞ

Şehir içi otobüsleri (Ayakta yolcu taşıma imkanı sağlamaları ve kentsel ortamlarda durma sıklıklarıyla tanımlanırlar) Avrupa ve ötesindeki toplu taşıma filolarının omurgasını oluşturur. Ancak üretimleri, binek otomobillerde tipik olan tek aşamalı üretim modelini nadiren takip eder. Bunun yerine, otobüs üretim endüstrisi büyük ölçüde çok aşamalı bir yaklaşıma dayanır: Birinci aşama üretici, genellikle bir şasi veya kaporta platformu olan eksik bir araç üretir ve bu araç daha sonra yolcu gövdesi, iç sistemler, kapılar, koltuklar ve operatör tarafından belirtilen tüm ekipmanları ekleyen ikinci aşama üretici tarafından tamamlanır.

Bu model, tartışılmaz ticari avantajlar sunmaktadır. Operatöre özel özelleştirmeye büyük ölçekte olanak tanır, uzmanlaşmış karoser üreticilerinin birden fazla platform tedarikçisine hizmet vermesini sağlar ve üretim riskini tedarik zinciri genelinde dağıtır. Bununla birlikte, yapısal olarak karmaşık bir uyumluluk ortamı yaratır. Birleşmiş Milletler 107 No'lu Yönetmeliği (ECE R107), 8. Revizyonunda, yolcu ortamının güvenlikle ilgili her parametresini kapsayan genel yapılarına ilişkin M2 ve M3 araçlarının onaylanması için tek tip hükümler belirler. İkinci aşama üreticiler için temel zorluk, bu parametrelerin birbirinden bağımsız olmamasıdır: birbirleriyle ilişkilidirler, fiziksel olarak birbirlerine bağımlıdırlar ve -kritik olarak- karoser yapım aşamasında yapılan değişikliklerle bozulabilir veya geçersiz kılınabilirler.

İkinci aşama bir üretici temel aracı değiştirdiğinde; bir kapıyı yeniden konumlandırmak, oturma düzenini yeniden yapılandırmak, alçak tabanlı bir bölüm eklemek, tekerlekli sandalye rampası eklemek veya motor bölmesi çevresini uyarlamak gibi yapılan her değişiklik, temel aracın mevcut tip onay durumunu etkileme problemleri ile karşı karşıya kalma potansiyeline sahiptir. Değişiklik yapan üretici, dokunduğu her parametreden sorumlu olur, ancak bu sorumluluğun sınırları, esas olarak komple araç perspektifinden yazılmış olan ECE R107'de her zaman açıkça belirtilmemiştir.

Niteliği bakımından bu çalışma, deneysel veya sayısal bir doğrulama çalışması değil, ECE R107 ve AB Yönetmeliği 2018/858 metinlerinin çok aşamalı ikinci aşama üretim bağlamında sistematik olarak yorumlanmasına ve pratiğe aktarılmasına dayanan, mevzuat temelli bir uygulama değerlendirmesidir. Bu çerçevede çalışma, ilgili akademik literatürle de ilişkilendirilerek derleme niteliği güçlendirilmiş; Bölüm 2.4'te, otobüs gövde mühendisliği alanındaki mevcut akademik çalışmaların ağırlıklı olarak hangi düzenlemeye ve hangi yönteme odaklandığı karşılaştırmalı olarak ortaya konmuş ve bu çalışmanın konumlandığı boşluk buna göre tanımlanmıştır. Bölüm 5'te sunulan sınıflandırma matrisi ve değerlendirme metodolojisi ise yazarın bu çalışma için geliştirdiği özgün bir sentez olup, dayandığı mevzuat ve literatür kaynakları ilgili bölümde ayrıca belirtilmiştir.

Bu çalışma, söz konusu eksikliği sistematik bir şekilde ele almaktadır. Bölüm 2, düzenleyici çerçeveyi oluşturmaktadır. Bölüm 3, ikinci aşama modifikasyonunun temel kategorilerini ve bunların ECE R107 kapsamındaki özel uyumluluk etkilerini analiz etmektedir. Bölüm 4, ilk onay verilmesinin ötesinde devam eden Üretim Uygunluğu boyutunu incelemektedir. Bölüm 5, yapılandırılmış bir etki değerlendirme metodolojisi önermekte ve Bölüm 6, bir politika önerisiyle sonuç çıkarmaktadır. [1,2]

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR - DÜZENLEYİCİ ÇERÇEVE

2.1 ECE R107 Revizyon 8: Kapsam, Yapı ve Araç Sınıflandırması

ECE R107, Revizyon 8 (belge sembolü E/ECE/324/Rev.3/Add.106/Rev.8, Şubat 2023'te yayınlandı ve ardından Temmuz 2024'te güncellendi) olarak en son sürümünde, M2 ve M3 kategorisi otobüs ve yolcu otobüslerinin genel yapımı için temel teknik gereksinimleri belirler [1]. M2 araçlar, azami kütlesi beş tonu geçmeyen ve sekizden fazla yolcu taşıyan araçlardır; M3 araçlar ise bu kütle eşiğini aşar. Yönetmeliğin kapsamı, tek katlı, çift katlı, rijit ve mafsallı araçları açıkça kapsarken, ambulanslar, cezaevi araçları ve mobil üniteler gibi bazı özel amaçlı kategorileri hariç tutmaktadır.

Yönetmelik, araçları beş operasyonel sınıfa ayırıyor. Birinci sınıf araçlar, ayakta yolcular için alanlara sahip olup sık duraklamalara olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır ve bu özellikleriyle kentsel hızlı transitin karakteristik özelliklerini taşır. İkinci sınıf araçlar, oturma ve ayakta yolcu alanlarını birleştirir ve banliyö veya şehirlerarası hizmet için tipiktir. Üçüncü sınıf araçlar yalnızca oturma yolcuları taşır ve genellikle otobüs olarak adlandırılır. A ve B sınıfları, daha küçük M2 kategorisi araçları kapsar. Kritik olarak, yönetmelik bir aracın aynı anda birden fazla sınıf için onaylanmasına izin verir; bu da uyumluluk karmaşıklığına bir katman daha ekler: ayakta durma alanı boyutlarını etkileyen bir değişiklik, Birinci sınıf onayını değiştirebilir ancak İkinci sınıf onayını olduğu gibi bırakabilir veya tam tersi olabilir [1].

Yönetmeliğin teknik gereklilikleri, ana gövdesi ve belirli sistemleri ele alan bir dizi ECE R107 eklerinde düzenlenmiş ve anlatılmıştır. Değişikliğe en duyarlı olanlar şunlardır: genel yapı gerekliliklerini düzenleyen ana gövde paragrafları (stabilite testi, oturma düzenlemeleri, geçit ve erişim yolu boyutları, çıkış gereklilikleri ve yangın söndürme dahil); bilgi belgesi ve tip onay belgesi modellerini sağlayan Ek 1; geçit ve erişim yolu uygunluğunu doğrulamak için test ölçüm prosedürlerini tanımlayan Ek 3; ve ayrı olarak onaylanmış karoserleri ele alan ve özellikle ikinci aşama karoser üreticileri için önemli olan Ek 10 [1].

2.2 AB Yönetmeliği 2018/858: Çok Aşamalı Yasal Çerçeve

Avrupa Birliği'nde çok aşamalı tip onayına ilişkin yasal çerçeve, 1 Eylül 2020 tarihinde yürürlüğe giren ve 2007/46/EC sayılı Çerçeve Direktifi'nin [3] yerini alan (AB) 2018/858 sayılı Yönetmeliktir [2]. Bu yönetmelik, çok aşamalı üretimde hem prosedürel yapıyı hem de sorumlulukların dağılımını tanımlar. 22. maddede belirtildiği gibi, temel ilkesi, üreticilerin onay prosedürünün tüm yönlerinden ve üretimin uygunluğunun sağlanmasından onay makamına karşı sorumlu olmalarıdır. Çok aşamalı tip onayı bağlamında, her üretici, kendi üretim veya ekleme aşamasında ürettiği sistemler, bileşenler veya ayrı teknik ünitelerden özel olarak sorumludur [2].

Yönetmeliğin ikinci aşama üreticileri için kritik hükmü, daha önceki aşamalarda onaylanmış bileşenleri, sistemleri veya ayrı teknik üniteleri değiştiren üreticilerin, değiştirilen unsurların tip onayı ve üretim uygunluğundan sorumlu olacağını belirtmesidir. Ayrıca, birinci aşama üreticileri, bileşen, sistem veya tüm araç tip onayını etkileyebilecek herhangi bir değişiklik hakkında sonraki aşama üreticilerine bilgi verme yükümlülüğüne sahiptir. Yasal olarak belirlenmiş olsa da, bu yukarı yönlü bildirim yükümlülüğü pratikte sıklıkla yetersiz kalmaktadır, çünkü birinci aşama platform güncellemeleri, onay etkilerini yönetmek için yeterli süre öncesinden ikinci aşama karoser üreticilerine iletilmeyebilir.

Çok aşamalı gereksinimlerin evrimiyle getirilen önemli bir iyileştirme, kısmi geçersiz kılma ilkesiyle ilgilidir: araçta yapılan bir değişiklik, temel araç aşamasında verilen bir sistem tip onayını kısmen geçersiz kılmışsa (örneğin, arka lambaların yeniden konumlandırılmasıyla bir aydınlatma tesisatı onayının geçersiz kılınması gibi), gerekli olan yeni tip onay testleri veya incelemeleri kesinlikle yalnızca değişen öğelerle sınırlı olmalıdır [2, 4].

Bu orantılılık ilkesi önemlidir çünkü tüm aracın gereksiz yere toptan yeniden onaylanmasını önler, ancak aynı zamanda ikinci aşama üreticisine hangi unsurların ne derecede etkilendiğini doğru bir şekilde belirleme konusunda önemli bir derecelendirme yükü getirir.

2.3 Çok Aşamalı Üretimde Sorumluluk Dağılımı

Çok aşamalı tip onay süreci pratikte, her biri üretim aşamalarından birine karşılık gelen iki ayrı onay belgesi ve her aşama için ayrı bir Uygunluk Belgesi (CoC) ile sonuçlanır [3]. Son tamamlanmış araç, kaç üretim aşaması söz konusu olursa olsun, geçerli tüm düzenleyici çerçeveye uymalıdır. Özellikle ECE R107 açısından, ikinci aşama üretici onayı, tüm gövde aşaması eklemeleri de dahil olmak üzere tamamlanmış aracı kapsar ve tamamlanmış aracın, yalnızca ikinci aşamada eklenenler değil, geçerli tüm R107 gereksinimlerini karşıladığını göstermelidir.

Çok aşamalı tip onayı, düzenleyici otoriteler tarafından karmaşık ve üretim aşamaları arasında yakın koordinasyon gerektiren bir süreç olarak kabul edilmektedir. Avrupa'nın önde gelen onay otoritelerinden biri olan Alman Federal Motorlu Taşıtlar Otoritesi (Kraftfahrt-Bundesamt KBA), çok aşamalı araç üretim proseslerinin çoğu durumda bireysel vaka görüşmeleri gerektirdiğini ve bunun da yüksek derecede konfigürasyona özgü değerlendirme gerektirdiğini kabul etmektedir [4]. Bu yapısal karmaşıklık ve özellikle ikinci aşama bağlamında R107'yi ele alan standartlaştırılmış bir kılavuzun olmaması, bu çalışmanın ele aldığı temel düzenleyici boşluğu oluşturmaktadır.

2.4 İlgili Literatür: ECE R107 ile ECE R66 Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme

ECE R107 ve ECE R66, otobüslerin farklı güvenlik alanlarını düzenlemekle birlikte yolcu güvenliği açısından birbirini tamamlayan düzenlemelerdir. ECE R66, bir devrilme kazası sırasında otobüs gövdesinin yapısal dayanımını ve yolcular için gerekli hayatta kalma alanının korunmasını amaçlarken, ECE R107; araç içerisindeki geçitler, kapılar, acil çıkışlar ve erişilebilirlik gibi yolcuların araca güvenli erişimi ve gerektiğinde tahliyesiyle ilgili gereklilikleri düzenlemektedir. Bu nedenle, ECE R66 daha çok otobüsün yapısal güvenliğine, ECE R107 ise işlevsel kullanım ve tahliye güvenliğine odaklanmaktadır. Her iki düzenleme doğrudan aynı teknik gereklilikleri kapsamasa da, özellikle bir kaza sonrasında yolcuların korunması ve araçtan güvenli şekilde çıkabilmesi açısından ortak bir güvenlik amacına hizmet ederek otobüs güvenliğini bütüncül biçimde desteklemektedir.

Bu karşılaştırma, ECE R66 ve ECE R107'nin otobüs güvenliğinin farklı ancak birbirini tamamlayan boyutlarına odaklandığını göstermektedir. Mevcut akademik literatür, büyük ölçüde ECE R66 kapsamında otobüs gövdesinin devrilme sırasında gösterdiği yapısal dayanım ve hayatta kalma alanının korunmasına ilişkin niceliksel analizlere yoğunlaşmıştır. Buna karşılık, ECE R107; yolcuların araç içerisindeki hareketi, geçit geometrisi, kapılar, acil çıkışlar ve erişilebilirlik gibi kullanım ve tahliye güvenliğine ilişkin gereklilikleri kapsamaktadır. Bu yönüyle ECE R66, kaza anında gövde bütünlüğünün ve yolcu yaşam alanının korunmasını amaçlarken, ECE R107 güvenli erişim ve gerektiğinde etkili tahliye koşullarının sağlanmasına odaklanmaktadır. Ancak ECE R107 kapsamındaki gerekliliklerin tek bir fiziksel performans testiyle değerlendirilmesinin mümkün olmaması, bu alandaki çalışmaların sayısal simülasyondan ziyade düzenleyici ve yorumlayıcı analizlere dayanmasını gerekli kılmaktadır.

Ele Alınan Mevzuat/Konu	Yöntem	Temel Bulgu/Sonuç	Kaynak
ECE R66 (devrilme dayanımı)	Sonlu elemanlar analizi (FEM)	Tasarlanan üst yapının R66 enerji emilimi gerekliliklerini karşıladığı doğrulanmıştır	Gürsel (2010) [12]
ECE R66 (devrilme dayanımı)	FEM + doğrusal olmayan malzeme/geometri analizi, fiziksel test doğrulamalı	Ön gövdede belirgin deformasyon; kalan yaşam alanı (residual space) korunmuş	Karliński vd. (2014) [13]
ECE R66, ECBOS projesi	Çok cisimli (multibody) dinamik simülasyon	Gövde direnci ve yolcu yaralanma riski birlikte modellenmiş, fiziksel testle uyumlu bulunmuş	Belingardi vd. (2003) [14]
FMVSS 217 (ABD, acil çıkış)	Saha ziyaretleri, tahliye deneyleri, literatür taraması	Çok işlevli kapı tasarımlarının (tekerlekli sandalye erişimi/acil çıkış) tahliye performansını etkileyebileceği tespit edilmiş	NHTSA (2009) [16]

Tablo 1: Otobüs Gövde Mühendisliği Alanında İlgili Akademik Çalışmaların Karşılaştırılması

Bu çalışma, mevcut literatürde ağırlıklı olarak R66 kapsamında ele alınan yapısal güvenlik yaklaşımını tamamlayacak şekilde, ECE R107'nin ikinci aşama üreticiler açısından ortaya çıkardığı teknik ve idari sorumlulukları doğrudan uygulanabilir bir değerlendirme çerçevesi içerisinde incelemeyi amaçlamaktadır.

3. DEĞİŞİKLİK KATEGORİLERİNİN ANALİZİ VE BUNLARIN ECE R107 UYUMLULUĞUNA ETKİSİ

Şehir içi otobüs üretimindeki ikinci aşama modifikasyonlar, geniş bir teknik ve ticari kapsamı içerir. Bu çalışmada modifikasyonlar, ECE R107 ile farklı şekillerde etkileşime giren beş ana kategori altında incelenmektedir. Bu kategoriler birbirini dışlamaz; karmaşık operatör spesifikasyonları aynı anda birden fazla modifikasyon içerebilir ve bu durum uyumluluk değerlendirmesini zorlaştırabilir.

3.1 Geometrik ve Mekansal Değişiklikler: Geçitler, Koridorlar ve Zemin Konfigürasyonu

İkinci aşama modifikasyonların önemli bir bölümü yolcu iç mekân geometrisini etkiler. Koltuk yerleşimi, koridorlar, ayakta durma alanları ve zemin düzenlemeleri bu kapsamda değerlendirilir. ECE R107, bu unsurlar için belirli mekânsal gereklilikler getirir ve geometrik değişiklikler ilgili uyumluluk değerlendirmesini gerektirir.

R107'ye göre geçiş yolu; herhangi bir koltuktan veya koltuk sırasından, tekerlekli sandalye kullanıcıları için ayrılmış alanlar dâhil olmak üzere, diğer koltuk sıralarına, erişim geçidine, servis kapısına, interkom merdivenine veya ayakta durma alanına yolcu erişimini sağlayan alan olarak tanımlanır. Koltuğun önünde 300 mm'ye kadar olan alan bu tanıma dâhil değildir; tekerlek kemeri üzerindeki yana dönük koltuklarda bu mesafe 225 mm'dir [1].

Bu nedenle koltukların yerinin veya yönünün değiştirilmesi, fiziksel koridor genişliği değişmese bile uyumlu geçiş yolu alanını etkileyebilir. Gerçek açık alanın doğrulanmasında Ek 3'te tanımlanan ölçüm prosedürü uygulanmalıdır.

Servis kapısı boyutları da modifikasyondan doğrudan etkilenebilir. Sınıf I araçlarda servis kapısı açıklığı en az 180 cm, Sınıf II araçlarda ise en az 165 cm yüksekliğinde olmalıdır. Tek kanatlı kapılar için minimum genişlik 65 cm, çift kanatlı kapılar için ise 120 cm'dir. Bu boyutlar tutamak seviyesinde ölçüldüğünde 10 cm azaltılabilir. Gerekli serbest erişim genişliği, ilk basamak seviyesinden itibaren 70–160 cm arasındaki yükseklik boyunca korunmalıdır [1]. Kapı konumu, kapı tipi veya giriş basamağı düzeninin değiştirilmesi durumunda bu boyutlar yeniden doğrulanmalıdır.

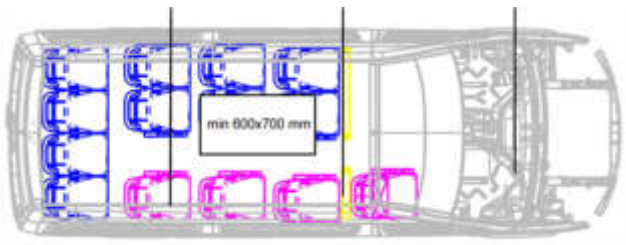
Zemin konfigürasyonu da önemli bir modifikasyon alanıdır. Geleneksel zeminden alçak tabanlı veya alçak girişli bir yapıya geçiş; basamak boyutlarını ve erişim geometrisini etkileyebileceği gibi ağırlık merkezi, ağırlık dağılımı ve sınıflandırma uygunluğu üzerinde de etkili olabilir. Tekerlek kemeri çıkıntılarının kaldırılması, ayakta durma alanı hesaplamasını ve minimum oturma yeri gereksinimini değiştirebilir. Sınıf I ve II araçlarda R107, oturma yeri sayısının (P), yolcular için mevcut zemin alanının (So) metrekare cinsinden değerine en yakın tam sayıya yuvarlanmış değerine uygun olmasını gerektirir [1]. Bu nedenle So değerini değiştiren zemin modifikasyonları yeniden hesaplama yapılmasını ve Ek 1 bilgi belgesinin güncellenmesini gerektirir.

Katlanır koltuklar da özel bir değerlendirme gerektirir. ECE R107, yolcuların koridorda oturmasına izin verecek katlanır koltukları yasaklamaktadır [1]. Bu nedenle katlanır koltuk uygulamalarında, her koltuğun konumu geçiş yolu tanımına göre doğrulanmalı ve hiçbir oturma pozisyonunun uyumlu koridor alanına girmediği gösterilmelidir. Görsel olarak uygun görünen bir yerleşim, Ek 3 kapsamındaki resmi ölçüm doğrulamasını karşılamayabilir ve doğrudan R107 uyumsuzluğuna neden olabilir.

3.2 Acil Çıkış Yapılandırması ve Dağılımı

Acil çıkış düzenlemesi, ECE R107'nin temel güvenlik unsurlarından biridir ve ikinci aşama modifikasyonlarından doğrudan etkilenebilir. Yönetmelik; acil çıkış kapıları, acil çıkış pencereleri ve kaçış kapakları olmak üzere üç tür acil çıkış tanımlar.

Acil çıkış kapısı, tanımlanan boyutlardaki bir dikdörtgeni içine alabilecek genişlikte ve en az 125 cm serbest açıklık yüksekliğinde olmalıdır. Arka yüzde standart acil çıkış penceresine alternatif olarak kullanılan acil çıkış pencereleri, köşe yarıçapları 25 cm'yi aşmayan, 35 cm yüksekliğinde ve 155 cm genişliğinde bir dikdörtgeni içine alabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Tavana veya zemine monte edilen kaçış kapakları ise en az 4000 cm² açıklık alanı sağlamalı ve 50 cm × 70 cm'lik bir dikdörtgeni içine alabilmelidir [1].



Resim 1: 14 yolcu taşıma kapasitesine sahip olan M2 Kategori Bir Otobüsün Acil Çıkış Ölçüleri

Acil çıkışların araç boyunca dağılımı, yolcu kapasitesi ve araç boyutlarına bağlıdır. Gövde uzunluğunun değiştirilmesi durumunda, her bir çıkışın boyutları uygun olsa bile çıkışların dağılımına ilişkin gereklilikler ihlal edilebilir. Benzer şekilde, oturma düzenindeki bir değişiklik yolcu kapasitesini belirli bir seviyenin üzerine çıkarırsa, mevcut konfigürasyonda bulunmayan ilave bir acil çıkış gerekebilir.
Servis kapıları ile acil çıkışlar arasındaki ilişki de değerlendirilmelidir. R107, belirli araç konfigürasyonlarında sürücü kapısının, gerekli boyut ve erişim şartlarını sağlaması hâlinde yolcular için acil çıkış olarak sayılabileceğini belirtmektedir [1]. Bu nedenle sürücü bölmesinde ücret toplama sistemi veya sürücü koruma ekranı gibi değişiklikler yapılması, sürücü kapısının acil çıkış olarak kabul edilmesini etkileyebilir ve toplam acil çıkış sayısını gerekli minimum değerin altına düşürebilir.



Resim 2: 20 yolcu taşıma kapasitesine sahip olan M3 Kategori Bir Otobüsün Acil Çıkış Noktaları

Number of passengers and crew to be accommodated in each compartment	Minimum total number of exits
1 – 8	2
9 – 16	3
17 – 30	4
31 – 45	5
46 – 60	6
61 – 75	7
76 – 90	8
91 – 110	9
111 – 130	10
>130	11

Tablo 2: Acil çıkışların asgari sayısı, ayrı bir bölmedeki toplam çıkış sayısı [1]

R107'de yapılan son değişiklikler ayrıca iletişim cihazları, durak talep düğmeleri ve kapı açma kontrolleri gibi yolcuya yönelik cihazlar için konum ve kontrast gereklilikleri getirmiştir. R107 Revizyon 8'in erişilebilirlik hükümlerine ilişkin sektör analizleri, özellikle iletişim cihazlarına ilişkin bazı ifadelerin açık şekilde tanımlanmadığını göstermektedir. Bu durum, yolcuların biniş, yolculuk ve iniş sırasında araç veya sürücüyle etkileşim kurduğu cihazların uygunluğunun yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Operatör tarafından belirlenen iletişim ve yolcu bilgilendirme sistemlerinin ikinci aşama üretici tarafından kurulması, bu yorumlama belirsizliğini daha da artırmaktadır [6].

3.3 Araç Kütlesi, Ağırlık Merkezi ve Denge

İkinci aşama gövde modifikasyonları araç kütlesini ve kütle dağılımını etkileyebilir. Yolcu gövdesi, iç kaplamalar, koltuklar, camlar, zemin kaplamaları ve yardımcı sistemlerin eklenmesi, aracın temel platform üzerindeki toplam kütlesini artırır. ECE R107 açısından temel konu, yalnızca aracın GVWR sınırları içinde kalması değil, modifikasyonların yönetmelikte belirtilen denge performansını etkileyip etkilemediğidir.

ECE R107'nin 7.4 numaralı paragrafına göre araç, üzerinde bulunduğu yüzey her iki yana doğru 28 derece eğildiğinde devrilme noktasını geçmemelidir [1]. Bu değerlendirmede araç, çalışma hâlindeki kütlesi üzerinden ve her koltuğa tanımlanmış yolcu kütlesi Q'ya eşit yükler uygulanarak değerlendirilir. Ayakta yolcu veya oturmayan mürettebat taşımak üzere tasarlanan araçlarda ise kişi başına 75 kg'ı temsil eden yüklerin ağırlık merkezi, ilgili alan üzerinde 875 mm yükseklikte eşit olarak dağıtılır [1].

Bu nedenle denge testi, gövde içindeki kütle dağılımına doğrudan bağlıdır. Zemine monte edilen batarya sistemleri, tavana monte edilen klima üniteleri, büyük bagaj bölmeleri veya yükseltilmiş sürücü platformları ağırlık merkezini değiştirebilir. Ayrıca stabilite hesabı tüm yüklerin birleşik konfigürasyonuna bağlı olduğundan, ayrı ayrı kabul edilebilir olan iki değişiklik birlikte stabilite sorununa neden olabilir.

GVWR veya yük dağılımındaki değişiklikler Ek 1 bilgi belgesindeki beyanları da etkileyebilir. Bir konfigürasyon için elde edilen stabilite sonucunun, farklı oturma yoğunluğu, ayakta yolcu alanı veya ekipman yüklemesine sahip başka bir varyant için doğrudan geçerli olduğu varsayılamaz. Bu nedenle, kütle dağılımı önemli ölçüde değişen her konfigürasyon için ayrı stabilite değerlendirmesi yapılması veya en olumsuz konfigürasyonun diğer varyantları kapsadığının analitik olarak gösterilmesi gerekir.

3.4 Yangın Söndürme Sistemi Değişiklikleri ve Entegrasyonu

ECE R107'nin yangın söndürme gereklilikleri, yönetmeliğin teknik açıdan ayrıntılı hükümlerinden biridir. Zorunlu otomatik yangın söndürme sistemleri aşamalı olarak uygulanmıştır: Temmuz 2018'den itibaren yeni tip Sınıf III araçlar için, Temmuz 2019'dan itibaren tüm Sınıf III araçlar için, Eylül 2020'den itibaren yeni tip Sınıf I ve II araçlar için ve Eylül 2021'den itibaren tüm yeni Sınıf I ve II araçlar için uygulanmıştır. Bu tarihten itibaren 22'den fazla yolcu taşıyan her yeni Sınıf I veya II şehir içi otobüsün onaylı bir otomatik motor bölmesi yangın söndürme sistemiyle donatılması zorunlu hâle gelmiştir [1].

Düzenleme, motor bölmesinde başlayabilecek yangınların erken tespit ve söndürülmesine yönelik güvenlik ihtiyacına dayanmaktadır. Özellikle arka motorlu şehir içi otobüslerde, sürücünün motor bölmesinden uzak konumda bulunması nedeniyle gelişmekte olan bir yangının geç fark edilmesi riski bulunmaktadır.

Sistem onayı için yangın söndürme cihazının, İsveç Araştırma Enstitüleri tarafından geliştirilen SP Metod 4912'de tanımlanan on bir testten dördünü geçmesi gerekmektedir [5]. Bu testler, hava akımları ve yanıcı sıvıların aşırı ısınmış bileşenlere sızması sonucu oluşabilecek yeniden tutuşma gibi gerçekçi motor bölmesi koşullarındaki sistem performansını değerlendirir. Kurulumdan önce hedef aracın motor bölmesi geometrisine özgü bir yangın risk değerlendirmesi yapılmalı, kurulumdan sonra ise uygunluğu doğrulayan bir Kurulum Beyanı düzenlenmelidir.

İkinci aşama üreticiler açısından uygunluk iki seviyede değerlendirilir. İlk olarak, yangın söndürme sisteminin geçerli bir R107 onayına sahip olması gerekir. İkinci olarak ise sistemin, tamamlanmış aracın motor bölmesinin özel geometrisi için uygun şekilde kurulmuş olması gerekir. Motor bölmesi çevresinin, erişim panellerinin veya alt gövde kaplamasının değiştirilmesi, sistemin değerlendirildiği koşulları değiştirebilir.

Havalandırma yollarını değiştiren, yeni ısı üreten bileşenler ekleyen veya yanıcı maddelerin motora yakınlığını değiştiren modifikasyonlar, sistemin bileşen onayını geçersiz kılmadan mevcut risk değerlendirmesini geçersiz hâle getirebilir. Bu durumda sistem bileşen olarak geçerliliğini korurken, modifiye edilmiş araç için yeni bir risk değerlendirmesi, Kurulum Beyanı ve gerektiğinde Teknik Servis ile yeniden değerlendirme gerekebilir.

3.5 Erişilebilirlik ve İletişim Cihazı Değişiklikleri

Modern şehir içi otobüslerde sesli ve görsel yolcu bilgilendirme sistemleri, çok dilli durak anonsları, sürücü iletişim panelleri ve dış hedef ekranları gibi erişilebilirlik unsurları giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu sistemlerin bir bölümü, ECE R107 Revizyon 8'in erişilebilirlik hükümleri kapsamında yolcu ortamıyla doğrudan ilişkilidir [6].

İkinci aşama modifikasyonlar açısından önemli hükümler; durak talep ve kapı açma kontrollerinin konumu ile iletişim cihazlarının kontrast ve yansıma özellikleriyle ilgilidir. R107'de iletişim cihazları, genel olarak yolcunun biniş, yolculuk ve iniş sırasında araç veya sürücüyle etkileşim kurduğu cihazları kapsamaktadır. Bu gereklilikler, özellikle görme engelli yolcular açısından kullanılabilirliği sağlamayı amaçlamaktadır.

İkinci aşama üretici, onaylanmış konfigürasyondan konum veya özellik bakımından farklı buton sistemleri, ekran panelleri veya rampa talep kontrolleri kullandığında, bu sistemlerin R107 erişilebilirlik hükümlerine göre yeniden doğrulanması gerekir. Ancak "iletişim cihazları" kavramının R107 Revizyon 8'de açık şekilde tanımlanmamış olması, yorumlama farklılıklarına neden olabilmektedir. Birden fazla pazar için üretim yapan ikinci aşama üreticiler, aynı hükmün farklı ulusal yorumlarıyla karşılaşabilir. Bu durum uyumluluk sürecinde maliyet ve dokümantasyon karmaşıklığını artırabilir.

3.6 Modifikasyon Kategorilerinin Görsel Sentezi

Bölüm 3.1–3.5'te ele alınan beş modifikasyon kategorisi, homologasyon mühendislerinin sahada karşılaştığı somut modifikasyon örnekleriyle Tablo 2'de birlikte sunulmaktadır. Tablo, her modifikasyon türünü etkilediği R107 parametresi, oluşturduğu olası uyum riski ve riski yönetmek için gerekli kontrol adımıyla eşleştirmektedir. Böylece Bölüm 5'te sunulan sınıflandırma matrisi ve sıralı değerlendirme sorularının sahadaki uygulamasına yönelik somut bir referans oluşturulmaktadır.

Modifikasyon Türü	Etkilenen R107 Parametresi	Olası Uyum Riski	Gerekli Kontrol Adımı
Koltuk düzeninin yeniden yapılandırılması	Koridor/geçiş yolu genişliği (Ek 3)	Geçiş yolu genişliğinin minimumun altına düşmesi	Ek 3 test ölçüm cihazıyla yeniden ölçüm; gerekiyorsa düzen revizyonu
Servis kapısı konumu veya tipi değişikliği	Kapı açıklığı yüksekliği/genişliği, erişim geçidi	Minimum serbest erişim boyutlarının altına düşme	Kapı boyutlarının 70-160 cm yükseklik aralığında yeniden doğrulanması
Alçak tabanlı/alçak girişli konfigürasyona geçiş	Zemin alanı (So), oturma yeri sayısı (Ps), ağırlık merkezi	Ps hesaplamasının geçersizleşmesi; stabilite riski	So yeniden hesaplanması; Ek 1 güncellemesi; stabilite testinin tekrarı
Katlanır koltuk montajı	Koridor tanımı, oturma pozisyonu	Oturma pozisyonunun uyumlu koridor alanına taşması	Görsel inceleme ve Ek 3 test cihazıyla doğrulama
Gövde uzunluğunda değişiklik (bölme ekleme/çıkarma)	Acil çıkış sayısı ve dağılımı	Çıkış aralığı veya sayısının yetersiz kalması	Yeni yolcu kapasitesine göre çıkış sayısının yeniden hesaplanması
Sürücü bölmesi/ücret toplama ekranı değişikliği	Sürücü kapısının acil çıkış sayılma uygunluğu	Toplam acil çıkış sayısının gerekli minimumun altına düşmesi	Sürücü kapısının boyut ve erişim koşullarının yeniden test edilmesi
Ağır ekipman eklenmesi (batarya, klima, bagaj bölmesi)	Stabilite testi (madde 7.4), ağırlık merkezi	28 derecelik devrilme açısı toleransının aşılması	Kombine yük konfigürasyonuyla stabilite testinin tekrarlanması
Motor bölmesi çevresi/erişim paneli/alt gövde değişikliği	Yangın söndürme sistemi risk değerlendirmesi	Termal/geometrik ortam değişikliğiyle risk değerlendirmesinin geçersizleşmesi	Yeni risk değerlendirmesi yapılması; Kurulum Beyanının yenilenmesi
Durak talebi/kapı kontrolü/erişilebilirlik cihazı değişikliği	İletişim cihazları için konum ve kontrast gereksinimleri	Erişilebilirlik gereksinimlerinin karşılanmaması	Konum/kontrast yeniden doğrulaması; farklı pazar yorumlarının kontrolü

Tablo 3: İkinci Aşama Modifikasyon Türleri, Etkilenen R107 Parametreleri, Uyum Riskleri ve Gerekli Kontrol Adımları

4. DEĞİŞİKLİKLERDEN ETKİLENEN ONAYLARIN ARDINDAN ÜRETİM YÜKÜMLÜLÜKLERİNİN UYGUNLUĞU

Tip onayının alınması, uyumluluk sürecinin sonu değil, onay kapsamındaki araçların üretim ömrü boyunca devam eden Üretim Uygunluğu (CoP) yükümlülüklerinin başlangıcıdır. Özellikle birden fazla modifikasyondan etkilenen ikinci aşama üreticilerinde CoP faaliyetleri, proje planlamasında dikkate alınması gereken önemli bir uyumluluk boyutudur.

4.1 CoP Yükümlülüklerinin Yapısı

UNECE çerçevesinde CoP, üreticinin onaylanmış spesifikasyona uygun araçları tutarlı biçimde üretebildiğini güvence altına alan sürekli bir süreçtir. Bu kapsamda kalite yönetim süreçleri, her tip onayı için kontrol planları ve düzenli doğrulama faaliyetleri yürütülmelidir. Onay mercileri, denetim ve belge incelemeleri yoluyla CoP uygunluğunu doğrulayabilir. R107 kapsamında yangın söndürme sistemlerine ilişkin uygunluk kontrollerinin en az iki yılda bir gerçekleştirilmesi gerekmektedir [8].

Kontrol planı; uygulanacak test ve doğrulamaları, kontrol sıklığını, sorumluları, kabul/ret kriterlerini ve ilgili mevzuat referanslarını tanımlamalıdır. İkinci aşama üreticilerinde plan yalnızca üstyapı modifikasyonlarını değil, modifikasyon sonucunda üreticinin sorumluluğunu üstlendiği temel araç parametrelerini de kapsamalıdır.

4.2 Konfigürasyon Kayması

İkinci aşama üreticilerinde önemli CoP risklerinden biri, üretim sürecindeki küçük değişikliklerin zaman içinde birikerek aracın onaylı konfigürasyondan uzaklaşmasıdır. R107 kapsamında özellikle boyutsal ve geometrik gereklilikler bu açıdan önem taşımaktadır. Örneğin koltuk dolgusu, zemin kaplaması veya tekerlek kemeri kaplamasındaki küçük değişiklikler, ilgili ölçümlerin sınır değerlerin dışına çıkmasına neden olabilir.

Değişikliklerin ayrı ayrı düşük riskli değerlendirilmesi, zaman içerisinde onaylı konfigürasyon ile fiili üretim konfigürasyonu arasında fark oluşmasına yol açabilir. Bu farkların CoP denetimlerinde veya hizmet içi olaylar sonrasında tespit edilmesi, üretici açısından hukuki ve ticari riskler doğurabilir. Büyük uygunsuzlukların giderilmemesi, CoP uygunluğunun ve nihayetinde tip onayının geri çekilmesine kadar varabilecek sonuçlar doğurabilir [8].

4.3 Değişiklik Kontrolü ve CoP

Konfigürasyon kaymasının önlenmesi için mühendislik değişiklik yönetimine sistematik bir uyumluluk etki değerlendirmesi dahil edilmelidir. Tedarikçi değişikliği, maliyet azaltma, müşteri talebi veya teknik revizyon kaynaklı tüm değişiklikler, üretime alınmadan önce mevcut onaylı spesifikasyon açısından değerlendirilmelidir.

Bu değerlendirme; değişikliğin tanımını, etkilediği onay parametresini, ilgili R107 referansını, etkinin niteliğini ve uyumluluk sonucunu içeren kayıtlı bir süreç üzerinden yürütülmelidir. Değişikliğin onay makamına bildirim veya tip onayı uzatması gerektirmesi halinde, ilgili süreç üretim uygulamasından önce başlatılmalıdır.

5. İKİNCİ AŞAMA DEĞİŞİKLİKLERİ İÇİN YAPILANDIRILMIŞ ETKİ DEĞERLENDİRME METODOLOJİSİ

Bölüm 3 ve 4'te ortaya konulan değerlendirmeler doğrultusunda bu bölüm, ikinci aşama modifikasyonlarının ECE R107 kapsamındaki uyumluluk etkisinin sistematik olarak değerlendirilmesi için bir metodoloji sunmaktadır. Metodoloji, onaylanmış Ek 1 bilgi belgesi ile modifikasyon spesifikasyonunu esas alarak, belgelenebilir ve denetlenebilir bir uyumluluk değerlendirmesi oluşturmayı amaçlamaktadır.

5.1 Değişiklik Etki Sınıflandırma Matrisi

Aşağıda sunulan sınıflandırma çerçevesi, bu çalışma için geliştirilen özgün bir senteze dayanmaktadır. Çerçevenin temel mantığı; mühendislik değişikliklerini büyük ve küçük değişiklikler olarak sınıflandıran ANSI/EIA-649-C Yapılandırma Yönetimi Standardı [9] ile AB Yönetmeliği 2018/858 kapsamında yeniden onay yükümlülüğünü değişiklikten etkilenen unsurlara odaklayan yaklaşımından yararlanmaktadır. Dört seviyeli matris, bu iki çerçevenin ECE R107 kapsamındaki ikinci aşama otobüs üretimine uyarlanmış halidir.
Metodolojinin ilk adımı, önerilen değişikliğin mevcut R107 uyumluluğu üzerindeki etkisinin sınıflandırılmasıdır.

Etki Düzeyi	Değişiklik Örnekleri	R107 Parametreleri Etkilendi	Gerekli Eylem
Seviye 0 — Etki Yok	İç döşeme, koltuk döşeme rengi, yapısal olmayan çıkartmalar, tabela yazı tipleri	Hiçbiri	Yalnızca dahili dokümantasyon
Seviye 1 — Belgeselin Etkisi	Koltuk arkalıklarında işletmeci logosu, zemin kaplama malzemesinin değiştirilmesi (aynı kalınlıkta), korkuluk rengi.	Ek 1 açıklama alanları	Ek 1 bilgi belgesini güncelleyin; Onay Makamına bildirin.
Seviye 2 — Kısmi Geçersizlik	Oturma düzeninin yeniden yapılandırılması, kapı konumunun değiştirilmesi, rampa montajı, kaymaz zemin kaplamasının kalınlığının değiştirilmesi, aydınlatma armatürünün yerinin değiştirilmesi	Koridor geometrisi, S1/So/N hesaplamaları, servis kapısı boyutları, çıkış dağılımı, stabilite	Etkilenen parametreleri R107 ile yeniden doğrulayın; kısmi geçersiz kılma ilkesini uygulayın; gerekirse varyantı/sürümü genişletin.
Seviye 3 — Tam Yeniden Onay	Gövde uzunluğunda değişiklik, kat konfigürasyonunda değişiklik (alt kat dönüşümü), sınıf uygunluğunda değişiklik, yapısal gövde değişiklikleri	Birbirine bağlı çok sayıda R107 parametresi; olası sınıf değişikliği	Yeni tip onayı veya varyantı; etkilenen Eklerin Teknik Servis tarafından tam olarak yeniden değerlendirilmesi

Tablo 3: ECE R107 İkinci Aşama Uyumluluk Değerlendirmesi için Değişiklik Etki Sınıflandırma Matrisi

5.2 Sıralı Değerlendirme Soruları

Bir değişiklik sınıflandırıldıktan sonra uygunluk değerlendirmesi, aşağıdaki ardışık sorularla yürütülür:

- **S1:** Değişiklik araç kategorisini (M2/M3) veya sınıf uygunluğunu (I/II) değiştiriyor mu?

Evet → Seviye 3: Yeni tip onayı gereklidir.

- **S2:** Değişiklik, Ek 1 bilgi belgesinde belirtilen herhangi bir parametreyi değiştiriyor mu?

Evet → S3'e geçin. Hayır → S4'e geçin.

- **S3:** Değiştirilen parametre mevcut onayın beyan edilen aralığı içinde mi?

Evet → sürüm bildirimi ve bilgi belgesi güncellenir.
Hayır → Seviye 2/3 kapsamında varyant uzantısı veya yeni onay değerlendirilir.

- **S4:** Değişiklik, Ek 1'de belirtilmeyen ancak R107 gerekliliklerine tabi bir teknik parametreyi etkiliyor mu?

Evet → ilgili parametre yeniden doğrulanır ve sonuç belgelenir.
Hayır → Seviye 0/1 kapsamında yalnızca belge güncellemesi yapılır.

- **S5:** Parametre yeniden doğrulaması uyumsuzluk ortaya çıkarıyor mu?

Evet → üretim durdurularak mühendislik çözümü ve yeniden değerlendirme başlatılır.
Hayır → uyumluluk onaylanır ve CoP kontrol planı kayıtları güncellenir.

5.3 Değişiklik Etki Kayıtları için Belgeleme Standartları

Her modifikasyon etki değerlendirmesi; modifikasyon açıklaması ve referans numarası, sınıflandırma düzeyi, ilgili R107 paragrafları ve Ek referansları, teknik doğrulama sonuçları, uygunluk tespiti, gerekli onay işlemleri ve CoP kontrol planı güncelleme referansını içeren standartlaştırılmış bir kayıt oluşturmalıdır. Bu kayıt, üreticinin CoP dokümantasyonunun bir parçası olarak AB Yönetmeliği 2018/858'in kayıt saklama gerekliliklerine uygun şekilde saklanmalıdır. [2]

6. SONUÇ

Bu çalışma, şehir içi otobüs üretiminin ikinci aşamasında gerçekleştirilen araç modifikasyonlarının ECE R107 uyumluluğu üzerinde çok boyutlu etkiler oluşturabileceğini göstermiştir. Etkiler yalnızca doğrudan değiştirilen sistem veya bileşenle sınırlı kalmayarak koridor geometrisi, acil çıkış düzenlemesi, araç stabilitesi, yangın söndürme sistemi kurulumu ve CoP dokümantasyonu gibi birbirleriyle ilişkili gerekliliklere yansıyabilmektedir.

Beş temel modifikasyon kategorisi incelenmiştir: geçit, erişim yolları ve zemin konfigürasyonunu etkileyen geometrik ve mekânsal değişiklikler; acil çıkış konfigürasyonu ve dağılımı; araç kütlesi, ağırlık merkezi ve stabilitesi; yangın söndürme sistemi modifikasyonları; ve erişilebilirlik ile iletişim cihazı kurulumları. Her kategori, ikinci aşama üreticilerinin birinci aşamadan miras kalan temel araç parametreleri üzerindeki sınırlı kontrolü nedeniyle farklı uyumluluk zorlukları oluşturmaktadır.

CoP boyutu, değişikliklerin etkisini ilk tip onayının ötesine taşıyan sürekli bir yükümlülük oluşturmaktadır. Konfigürasyon kayması, özellikle yüksek konfigürasyon değişkenliğine sahip ikinci aşama üreticilerinde yapısal bir risk oluşturmaktadır. Önerilen sınıflandırma matrisi ve sıralı değerlendirme soruları, değişikliklerin tip onayı üzerindeki etkilerinin ve devam eden CoP yükümlülüklerinin sistematik biçimde yönetilmesi için pratik bir araç sunmaktadır.

Bununla birlikte, ECE R107 ve AB Yönetmeliği 2018/858 kapsamındaki mevcut çok aşamalı çerçevede önemli bir düzenleyici boşluk bulunmaktadır. Şehir içi otobüs sektöründe ikinci aşama üreticilere, modifikasyon-uyumluluk arayüzünün yönetimi konusunda sınırlı özel rehberlik sağlanmaktadır. Bu nedenle çalışma, ECE R107'yi geliştiren UNECE GRSG'nin, gövde modifikasyonları ve bunların R107 uyumluluk etkileri bağlamında ikinci aşama üretici sorumluluklarını ele alan özel bir rehber geliştirmesini önermektedir [6]. Böyle bir rehberliğin, ulusal onay otoriteleri arasındaki yorum farklılıklarını azaltması ve sektördeki uyumluluk kalitesini artırması beklenmektedir.

Gelecekteki araştırmaların, farklı ikinci aşama üreticileri ve onay yetki alanlarında modifikasyon kaynaklı onay komplikasyonlarının sıklığını ve maliyet etkisini ölçmesi ve homologasyon mühendisliği iş akışlarında değişiklik etkisi sınıflandırmasını otomatikleştirebilecek dijital araçları geliştirmesi ve doğrulaması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE). BM Tüzüğü No. 107, Revizyon 8: Genel yapılarına ilişkin M2 veya M3 kategorisindeki araçların onayına ilişkin tek tip hükümler. Belge E/ECE/324/Rev.3/Add.106/Rev.8. Cenevre: UNECE, 2023 (Temmuz 2024'te güncellendi).

[2] Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Birliği Konseyi. Motorlu taşıtların ve römorklarının ve bu tür taşıtlar için tasarlanmış sistemlerin, bileşenlerin ve ayrı teknik ünitelerin onaylanması ve piyasa gözetimi hakkında 30 Mayıs 2018 tarihli (AB) 2018/858 sayılı Yönetmelik, (EC) 715/2007 ve (EC) 595/2009 sayılı Yönetmelikleri değiştirmekte ve 2007/46/EC sayılı Direktifi yürürlükten kaldırmaktadır. Avrupa Birliği Resmi Gazetesi, L 151, 14 Haziran 2018.

[3] InterRegs. Çok Aşamalı Üretilen Araçlar için Avrupa Tip Onay Gereksinimleri — Güncellenmiş Gereksinimler. InterRegs Spotlight Makalesi No. 152. Şurada mevcuttur: interregs.com/articles/spotlight/152

[4] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Bilgi Formu: AB Yönetmeliği 2018/858 uyarınca araçlar için çok aşamalı Tip Onayları. Flensburg: Almanya Federal Motorlu Taşıtlar Otoritesi. [kba.de adresinden temin edilebilir]

[5] İsveç Araştırma Enstitüleri (RISE). SP Yöntemi 4912: Otobüs ve yolcu otobüslerinin motor bölmeleri için yangın söndürme sistemlerine yönelik test yöntemi.

[6] UNECE Genel Güvenlik Hükümleri Çalışma Grubu (GRSG). Servis Kapıları, Pencereler ve Acil Çıkışlar Gayriresmi Grubu (SDWEE): Giriş/çıkış, sürücü bölmeleri, geçitler ve acil durum aydınlatması ile ilgili UN R107 hükümlerine ilişkin değişiklik önerileri. Cenevre: UNECE [çoklu oturumlar].

[7] UNECE Genel Güvenlik Hükümleri Çalışma Grubu (GRSG). 107 No'lu Yönetmeliğin (M2 ve M3 Araçları) 11. Değişiklik Serisine İlişkin Öneri. UNECE Belgesi, Eylül 2025. Şurada mevcuttur: unece.org/transport/documents/2025/09/working-documents/grsg-proposal-11-series-amendments-regulation-no-107

[8] Araç Sertifikasyon Ajansı (VCA). Üretim Uygunluğu (CoP): Gereksinimler, Denetim Prosedürleri ve Uygunsuzluğun Sonuçları. Birleşik Krallık: VCA. Şuradan erişilebilir: vehicle-certification-agency.gov.uk/conformity-of-production

[9] Electronic Industries Alliance (EIA). ANSI/EIA-649-C: National Consensus Standard for Configuration Management. [Mühendislik değişikliklerinin form, uyum, fonksiyon veya güvenliği etkileme derecesine göre sınıflandırılmasına ilişkin genel çerçeveyi tanımlar; bu çalışmada ki Bölüm 5.1 sınıflandırma matrisi bu çerçeveden esinlenerek ECE R107'ye özgü olarak geliştirilmiştir.]

[10] Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Birliği Konseyi. Motorlu taşıtların ve römorklarının onaylanması için bir çerçeve oluşturan 5 Eylül 2007 tarihli 2007/46/EC sayılı Direktif. Avrupa Birliği Resmi Gazetesi, L 263, 9 Ekim 2007. Ek XVII: Çok aşamalı AB tip onayı sırasında izlenecek prosedürler. [1 Eylül 2020 tarihinden itibaren (AB) 2018/858 sayılı Yönetmelik ile yürürlükten kaldırılmıştır]

[11] Avrupa Komisyonu. Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin (AB) 2018/858 sayılı Yönetmeliğini değiştiren 21 Eylül 2022 tarihli (AB) 2022/2236 sayılı Komisyon Yetkilendirilmiş Yönetmeliği. Avrupa Birliği Resmi Gazetesi, L 295, 16 Kasım 2022.

[12] Gürsel, K.T. Analysis of the superstructure of a designed bus in accordance with regulations ECE R66. Gazi University Journal of Science, Cilt 23, Sayı 1 (2010), s. 71-79.

[13] Karliński, J., Ptak, M., Działak, P., Rusiński, E. Strength analysis of bus superstructure according to Regulation No. 66 of UN/ECE. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Cilt 14, Sayı 3 (2014), s. 342-353. DOI: 10.1016/j.acme.2013.12.001

[14] Belingardi, G., Gastaldin, D., Martella, P., Peroni, L. Multibody Analysis of M3 Bus Rollover: Structural Behaviour and Passenger Injury Risk. Proceedings of the 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Nagoya, Japonya, Bildiri No. 288, Mayıs 2003.

[16] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Human Factors Issues in Motorcoach Emergency Egress. Ara Rapor, Eylül 2007 - Kasım 2008. ABD Ulaştırma Bakanlığı, Ağustos 2009.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

DYNAMIC MODELING OF PHOTOVOLTAIC-ASSISTED GROUND-SOURCE HEAT PUMP SYSTEMS VIA BUILDING ENERGY SIMULATION

Emre İLHAN
Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering
ORCID: 0009-0007-3630-1533

Assoc. Prof. Dr. Oğuzhan ERBAŞ
Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering
ORCID: 0000-0001-9424-4273

ABSTRACT
This study focuses on developing a dynamic building energy model for photovoltaic (PV)-assisted ground-source heat pump (GSHP) systems using the OpenStudio platform. The primary objective is to establish a detailed simulation framework that represents the thermal behavior of a building and the hourly interaction among building loads, HVAC operation, and renewable energy systems.
The building model was developed in OpenStudio by defining the building geometry, thermal zones, construction assemblies, window systems, internal heat gains, occupancy profiles, ventilation conditions, and thermostat schedules. Thermal zoning was performed by grouping spaces with similar thermal and operational characteristics. The building envelope was characterized by defining the thermophysical properties of external walls, floors, roofs, and windows. In addition, time-dependent schedules were assigned to occupancy, lighting, electrical equipment, ventilation, and thermostat settings to represent the dynamic operating conditions of the building.
The OpenStudio model was subsequently configured to operate with the EnergyPlus simulation engine. This integration provides a dynamic simulation environment in which building thermal loads can be calculated based on variations in outdoor climatic conditions and building operations. A GSHP system was incorporated into the model to represent the heating and cooling supply of the building and its associated electrical energy demand. Furthermore, a PV system was integrated to represent hourly electricity generation and its interaction with the GSHP system.
The developed model provides an integrated simulation framework for representing the building, GSHP, and PV system within a common modeling environment. The proposed framework can be used as a basis for subsequent analyses of system operation, energy consumption, PV generation, and alternative system configurations.
Keywords: Building Energy Modeling, Dynamic Simulation, Ground-Source Heat Pump, Photovoltaic System.

INTRODUCTION
Assessing the energy performance of buildings requires a nuanced understanding of the intricate interactions among various factors, including climatic conditions, the properties of the building envelope, occupancy characteristics, internal heat gains, HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) systems, and their corresponding control strategies. These elements do not remain static; instead, they exhibit dynamic variability over time and influence each other in complex ways.

As a result, accurately forecasting a building's energy consumption and thermal conditions is a formidable challenge when relying solely on conventional steady-state calculation methods. This challenge has gained heightened importance in Europe, where the European Union has enforced increasingly rigorous standards aimed at enhancing the energy performance of buildings while simultaneously reducing their operational energy consumption [1,2].

At the heart of these efforts is the recast Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), Directive (EU) 2024/1275, which sets out a comprehensive framework to achieve a highly energy-efficient and decarbonized building stock by 2050. This directive mandates that zero-emission buildings will become the standard expectation for all new constructions starting in 2030. To meet these ambitious goals, there is an urgent need for reliable assessment methodologies that can quantitatively analyze building energy requirements and evaluate the implications of various design and operational parameters. The European framework on building energy performance also references critical standards such as EN ISO 52016-1, specifically tailored for calculating building energy requirements, emphasizing the vital necessity for reliable dynamic approaches in gauging thermal conditions and overall energy performance. Building energy modeling and simulation represent powerful methodologies for effectively capturing the complex physical processes that determine a building's thermal and energy behavior. When developed properly, a simulation model can accurately replicate the interplay between numerous factors, including the building envelope, indoor environmental conditions, external weather influences, occupancy patterns, internal heat gains, ventilation strategies, and HVAC operations. Such capability allows for a comprehensive evaluation of a building's performance under controlled, repeatable experimental conditions[3,4].

One of the significant advantages of utilizing simulation-based analysis is the capacity to explore numerous design and operational scenarios without necessitating physical alterations to the building for each individual case. This flexibility permits the systematic isolation and quantification of the effects of different parameters, facilitating comparisons among various design strategies. Additionally, it aids in uncovering potential energy-saving opportunities at a reduced cost and within a shorter timeframe compared to traditional approaches. Importantly, building simulation can yield invaluable predictive insights during the design phase, enabling stakeholders to identify and address potential energy and thermal performance issues prior to actual implementation. Consequently, simulation-based methodologies have evolved into a crucial element for assessing, optimizing, and making informed decisions regarding building energy performance [5,6].

Among the numerous building energy simulation tools available, EnergyPlus stands out as a highly respected and extensively employed software solution specifically developed for simulating building thermal dynamics and energy performance. Created by the Building Technologies Office of the U.S. Department of Energy, EnergyPlus represents a significant advancement over its predecessors, including earlier government-developed programs such as BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) and DOE-2. While EnergyPlus retains the core features of these earlier models, it integrates a range of advanced capabilities that significantly enhance both its functionality and accuracy. Notably, its comprehensive approach to analyzing heat and mass transfer, together with building envelope characteristics, HVAC systems, internal loads, weather conditions, and operational schedules, enables detailed assessment of building thermal behavior and energy consumption. Furthermore, EnergyPlus provides a flexible dynamic modeling framework for evaluating the interaction between building loads and energy systems under varying operating and weather conditions.

This capability is particularly relevant to the dynamic modeling of photovoltaic-assisted ground-source heat pump (PV-GSHP) systems, where building heating and cooling demands, ground-source heat pump operation, photovoltaic electricity generation, and grid electricity consumption can be evaluated simultaneously within an integrated simulation environment. By accounting for the time-dependent interaction between photovoltaic generation and the electrical demand of the ground-source heat pump system, EnergyPlus enables the assessment of system performance under different climatic and operational conditions. This integrated modeling capability makes EnergyPlus a powerful tool for investigating the energy performance of PV-assisted ground-source heat pump systems and for assessing their potential contribution to reducing building energy consumption and grid electricity requirements [7,8].

BUILDING ENERGY MODELING USING OPENSTUDIO

OpenStudio was employed to meticulously develop a comprehensive building energy model and execute simulations in conjunction with EnergyPlus, a powerful energy modeling software. The initial step involved crafting the building geometry in OpenStudio, which was based on precise measurements and the physical characteristics of the building under investigation. Special attention was paid to ensure that the dimensions, shapes, and spatial relationships of the various building components accurately mirrored the real-world structure. To properly define the building envelope, crucial geometric and constructional properties were delineated. This included not only the dimensions of the walls, roof, and floors but also the materials used in construction and their thermal properties, such as thermal resistance and conductivity. Each building component was entered at its true scale, ensuring that the developed model faithfully represented the physical characteristics and architectural features of the structure. The workflow for developing the simulation model using the EnergyPlus–OpenStudio software environment is presented in Figure 1.

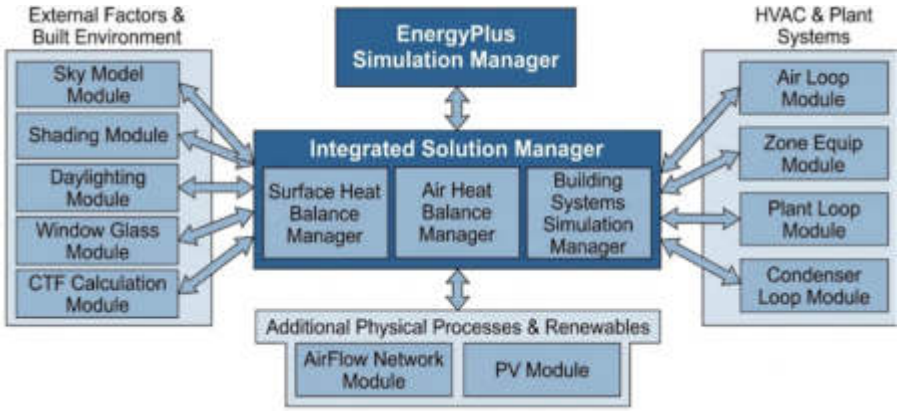


Figure 1. Workflow for developing the simulation model using the EnergyPlus–OpenStudio software environment [9].

Following the establishment of the building geometry and envelope, the next phase involved the assignment of relevant thermal and operational parameters to the model. These parameters encompassed the thermal properties of the building envelope, including insulation levels, window types and placements, and shading devices. Additionally, specifications for lighting systems, internal heat gains (such as those from appliances and occupant activity), occupancy patterns, and the heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) systems were thoroughly integrated.

Particular attention was given to the representation of the ground-source heat pump (GSHP) system, including its operating characteristics, heating and cooling capacity, and interaction with the building thermal loads. The photovoltaic (PV) system was also incorporated into the simulation to account for time-dependent electricity generation and its interaction with the electrical demand of the heat pump and other building systems. This multifaceted approach allowed the model to realistically simulate the intricate interactions among various elements, including the influence of the building envelope on indoor environmental conditions, the response of the GSHP system to changing heating and cooling demands, and the temporal relationship between PV electricity generation and building energy consumption. Accordingly, the dynamic interaction between building loads, GSHP operation, photovoltaic electricity generation, and grid electricity consumption could be evaluated within the same simulation framework. The workflow for developing the simulation model using the EnergyPlus–OpenStudio software environment is presented in Figure 2.



Figure 2. Design of the schedule in the EnergyPlus–OpenStudio simulation modeling interface.

To facilitate accurate simulations, the required climatic data were procured from the EnergyPlus weather data repository, which offers a wide range of standardized weather data sets. This data was then seamlessly integrated into the OpenStudio/EnergyPlus model. Utilizing such standardized weather data not only ensured that the simulations were performed under consistent and representative environmental conditions, but also eliminated reliance on potentially inaccurate or manually estimated climatic parameters.

Furthermore, the model incorporated defined design-day conditions that simulate extreme outdoor environments, catering to both heating and cooling demands. The definition and assignment of space types within the OpenStudio simulation environment, which constitute an important step in establishing the building model and accurately representing the functional characteristics of the individual spaces, are presented in Figure 3.

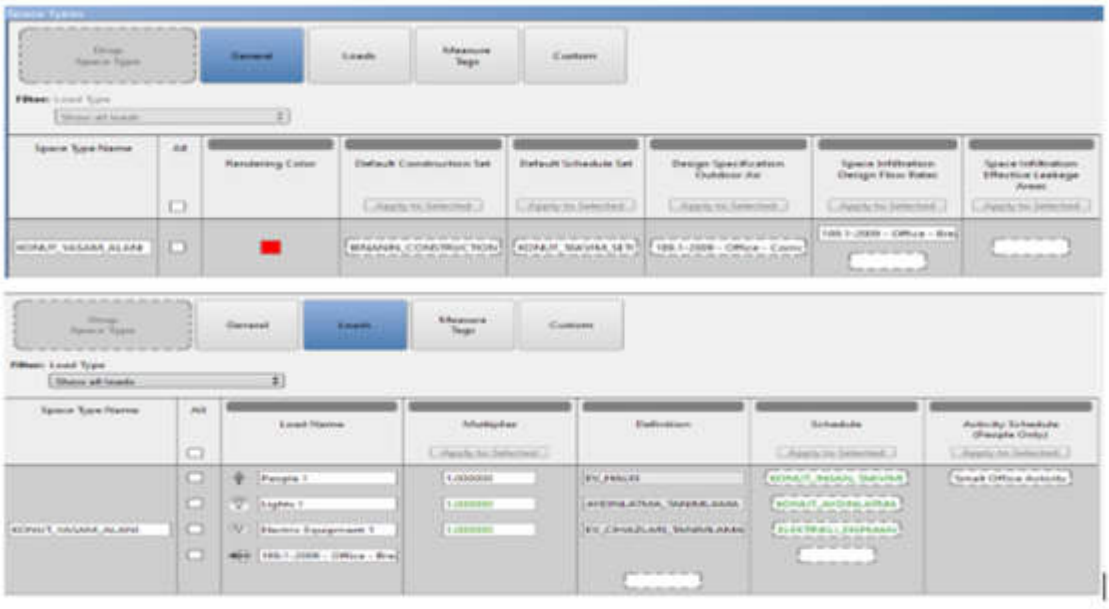


Figure 3. Definition and assignment of space types within the OpenStudio simulation environment.

These design days were instrumental in evaluating the building's performance and the efficacy of the HVAC systems during peak operational conditions. Once the building geometry, construction properties, climatic data, occupancy conditions, HVAC details, and design-day parameters were thoroughly defined, the comprehensive model was transferred to the EnergyPlus simulation engine through the OpenStudio platform. This transfer marked the transition to detailed dynamic simulations, enabling an in-depth evaluation of the building's energy performance and thermal behavior under the specified operating and environmental conditions. The results of these simulations provided critical insights into energy efficiency strategies and enhancement opportunities for the building’s design and operational framework.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

This study presents an EnergyPlus–OpenStudio-based building energy modeling approach for the dynamic assessment of building energy performance, with particular emphasis on the integration of photovoltaic (PV) generation and ground-source heat pump (GSHP) systems. The modeling process systematically addresses the key stages involved in developing a building simulation model, including the definition of building geometry, envelope and construction characteristics, space types, occupancy and usage conditions, internal loads, HVAC systems, climate data, and design days. In addition, the modeling framework enables the dynamic representation of GSHP operation and PV electricity generation in response to time-dependent building energy demands and climatic conditions.

A significant advantage of building energy modeling is that it enables the virtual examination of different design and operational scenarios that may be difficult, costly, or impractical to investigate under real-world building conditions. Within the proposed framework, parameters such as building envelope characteristics, insulation thickness, glazing properties, occupancy conditions, internal loads, GSHP operating characteristics, and PV system performance can be systematically modified and evaluated. This provides an effective computational environment for examining the interactions between building thermal loads, heat pump operation, photovoltaic electricity generation, and grid electricity consumption.

The results and modeling framework also highlight the importance of evaluating building energy performance from both energy and environmental perspectives. Reducing energy consumption, improving the utilization of renewable energy resources, and limiting greenhouse gas emissions are critical objectives within the building sector. The U.S. Environmental Protection Agency (EPA) identifies improved energy efficiency in commercial and residential buildings as an important strategy for reducing energy use and associated greenhouse gas emissions. Accordingly, the integration of renewable electricity generation with high-efficiency heating and cooling systems, such as PV-assisted GSHP systems, provides an important approach for investigating opportunities to reduce conventional electricity demand and associated environmental impacts. In this context, building energy simulation models should be considered together with relevant standards and energy performance requirements. EnergyPlus provides detailed capabilities for modeling building thermal behavior, HVAC systems, and energy flows, while its testing under ASHRAE Standard 140 provides an established framework for evaluating the performance and consistency of building energy simulation programs. The EnergyPlus–OpenStudio approach presented in this study therefore provides a flexible computational framework that can be adapted to different building types, climatic conditions, occupancy patterns, and energy system configurations.

Future studies can extend the presented modeling framework through parametric analyses of building envelope characteristics, insulation thicknesses, window and glazing specifications, GSHP operating parameters, ground heat exchanger configurations, PV system capacity, occupancy rates, and control strategies. In particular, the interaction between PV electricity generation and the electricity demand of the GSHP system can be investigated under different climatic and operational conditions. Furthermore, evaluating annual energy consumption together with peak electricity demand, renewable energy utilization, grid electricity dependency, and building-related greenhouse gas emissions would provide a more comprehensive assessment of overall system performance. In conclusion, the EnergyPlus–OpenStudio-based dynamic modeling approach provides a systematic computational framework for representing actual building conditions in a digital environment and for investigating the coupled performance of building loads, GSHP systems, and photovoltaic electricity generation. The proposed approach can support the controlled evaluation of alternative design and operational scenarios and establish a reliable basis for subsequent performance optimization studies. Accordingly, integrating building energy simulation into the early stages of building design and system evaluation can facilitate the simultaneous consideration of energy efficiency, renewable energy utilization, and environmental performance.

REFERENCES

1. Brackney, L., Parker, A., Macumber, D., & Benne, K. (2018). *Building energy modeling with OpenStudio*. Springer.

2. Al-Zubaydi, A. Y. (2013). Building model design and energy simulation with google sketchup and OpenStudio. *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, *3*(4), 318-333.

3. Alghoul, S. K. (2017). A comparative study of energy consumption for residential HVAC systems using EnergyPlus. *American Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, *2*(2), 98-103.

4. Jia, H., & Chong, A. (2021). eplusr: A framework for integrating building energy simulation and data-driven analytics. *Energy and Buildings*, *237*, 110757.

5. Cole, W. J., Hale, E. T., & Edgar, T. F. (2013, June). Building energy model reduction for model predictive control using OpenStudio. In *2013 American control conference* (pp. 449-454). IEEE.

6. Borodinecs, A., Palcikovskis, A., Krumins, A., & Lebedeva, K. (2024). Optimizing office building operations: a framework for continuous dynamic energy simulations in decision-making for efficiency. *Frontiers in Built Environment*, *10*, 1405182.

7. Aydin, M. A., & Koclar Oral, G. (2025, August). An integrated EnergyPlus simulation framework for Building Information Modelling based building envelope generative design. In *Building Simulation 2025* (Vol. 19, pp. 0-0). IBPSA.

8. Roth, A., Bull, J., Criswell, S., Ellis, P., Glazer, J., Goldwasser, D., ... & Reddy, D. (2018, September). Scripting frameworks for enhancing energyplus modeling productivity. In *2018 Building Performance Analysis Conference and SimBuild* (Vol. 8, pp. 312-319). ASHRAE/IBPSA-USA.

9. Atam, E. (2017). Current software barriers to advanced model-based control design for energy-efficient buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *73*, 1031-1040.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL IMPACTS IN RENEWABLE ENERGY-INTEGRATED LOW-CARBON BUILDING SYSTEMS

Emre İLHAN
Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering
ORCID: 0009-0007-3630-1533

Assoc. Prof. Dr. Oğuzhan ERBAŞ
Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, [2]Department of Mechanical Engineering
ORCID: 0000-0001-9424-4273

ABSTRACT
The transition toward low-carbon building energy systems requires the reduction of energy consumption and greenhouse gas emissions while increasing the use of renewable energy sources. In this context, the decarbonization of the building sector has become a major priority within European energy and climate policies. The revised European Union Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) emphasizes improved energy performance, renewable energy integration, and the transition toward zero-emission buildings. This study evaluates the environmental performance of a photovoltaic (PV)-assisted ground-source heat pump (GSHP) system integrated into an existing commercial building. A dynamic building energy simulation model was developed to represent the building's heating and cooling requirements and the operation of the integrated renewable energy system. The model was used to investigate energy consumption and renewable electricity generation under different operating conditions.
The environmental assessment used energy consumption from the simulation model, with particular emphasis on resulting greenhouse gas emissions and the contribution of renewable electricity generation. The assessment framework was established to support the evaluation of the integrated system from a low-carbon building perspective and to examine its compatibility with the broader objectives of European building decarbonization policies. The results demonstrate that the integration of GSHP and PV technologies can contribute to reducing the environmental burden associated with building heating and cooling. The findings also indicate that the environmental performance of renewable energy-integrated building systems is strongly related to their energy demand, renewable energy contribution, and operating characteristics. The study provides a basis for assessing low-carbon building energy systems in the context of increasing energy efficiency and decarbonization requirements.
Keywords: Low-Carbon Buildings, Environmental Assessment, Greenhouse Gas Emissions, Building Decarbonization.

INTRODUCTION
Rising global energy demand, the environmental impacts of fossil fuels, and uncertainties regarding energy supply security have made it imperative to transform energy systems into more sustainable, low-carbon structures. In this transformation, widespread adoption of renewable energy sources is critical to reducing greenhouse gas emissions, limiting dependence on fossil fuels, strengthening energy supply security, and building more resilient energy systems.

The European Union (EU) has also placed increasing renewable energy usage, improving energy efficiency, and decarbonizing energy systems at the heart of this transformation. Indeed, as of 2025, renewable energy sources met 26.2% of the EU's total final energy consumption, and their share in electricity generation reached 47.2% [1,2].

One of the key areas for implementing the energy transition is the building sector. In buildings, energy consumption—particularly for heating, cooling, domestic hot water, and electricity—generates significant energy demand, and the fossil fuels used to meet this demand result in substantial greenhouse gas emissions. Therefore, decarbonizing the building sector requires not only reducing energy consumption but also sourcing the energy used in buildings from renewable sources to the greatest extent possible. In the context of European Union energy policies, buildings are regarded as a critical sector for achieving the goal of a climate-neutral Europe by 2050. Improving the energy performance of the existing building stock and designing new buildings with very low energy requirements constitute the fundamental elements of this transformation. In this regard, the combined use of heat pumps and solar energy systems offers significant potential for low-carbon building energy systems. Heat pumps can meet the heating and cooling needs of buildings with high energy efficiency by utilizing low-temperature energy from environmental sources such as air, soil, or water; furthermore, since they operate on electricity, they can be directly integrated with renewable electricity generation. In particular, using electricity generated from photovoltaic (PV) systems to operate heat pumps enables a significant portion of a building's electricity demand to be met by on-site renewable energy and facilitates a reduction in the use of fossil-fuel-based heating systems. Additionally, solar thermal systems can also be utilized alongside heat pumps for domestic hot water and low-temperature heating applications. Thus, the integration of solar energy and heat pump technologies fosters an integrated building energy system approach, rather than relying solely on the performance of individual technologies [3].

The integration of renewable energy sources into building systems aligns directly with the European Union's updated building energy policies. Under the recast Energy Performance of Buildings Directive (EPBD – Directive (EU) 2024/1275), which entered into force in 2024, the aim is to significantly improve the energy performance of new buildings and progressively decarbonize the building sector. The Directive mandates that new buildings owned by public bodies must meet the zero-emission building standard starting January 1, 2028, while all other new buildings must comply by January 1, 2030. Zero-emission buildings are expected to have very low energy needs, with the required energy supplied—to the greatest extent possible—by renewable energy sources located on-site or in the immediate vicinity. In this context, photovoltaic and solar thermal systems, as well as heat pumps, are considered key technologies for the low- and zero-emission building energy systems of the future. When it came to gross electricity consumption in the EU, renewable energy sources accounted for 49.9% in 2025, representing a 2.4 pp increase from 2024. For comparison, the share stood at 15.9% in 2004, when the time series began. In Austria, 90.8% of gross electricity consumption came from renewable sources, and in Sweden that share was 89.2%. Denmark (77.7%), Portugal (65.6%), Greece (60.9%) and Spain (60.7%) also recorded renewable shares above 60%. In contrast, Malta (11.2%), Czechia (19.2%), Luxembourg (23.3%), Slovakia (24.1%) and Cyprus (27.5%) registered the lowest shares. The shares of renewable energy sources in gross electricity consumption across EU Member States in 2025 are presented in Figure 1 [3,4,5].

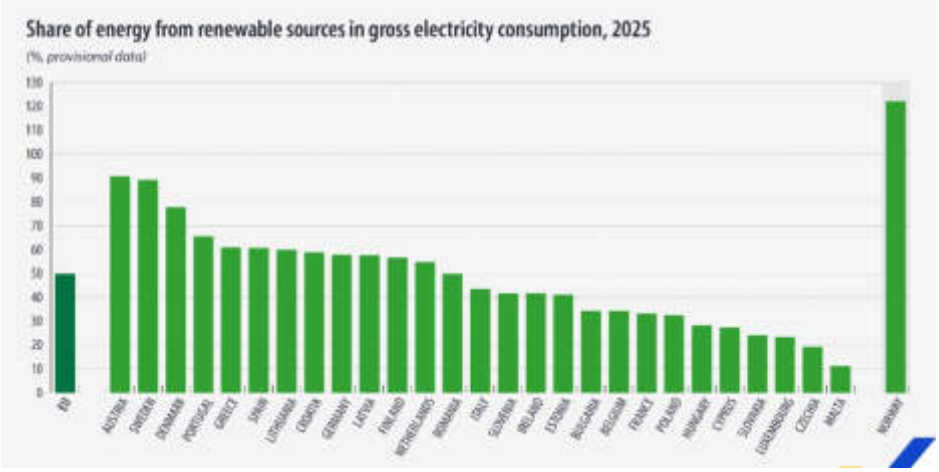


Figure 1. Share of Renewable Energy Sources in Gross Electricity Consumption in EU Member States, 2025 [5]

This EU approach necessitates the integration of building energy demand with renewable energy supply, rather than treating renewable energy generation and energy consumption as independent factors. In particular, considering the variable generation profile of solar energy alongside heat pumps, thermal energy storage systems, building thermal mass, and smart control strategies can enable more effective use of renewable energy within building energy systems. Consequently, in low-carbon building design, the simultaneous optimization of energy demand timing, renewable energy generation, and heating and cooling systems—beyond merely reducing energy consumption—is becoming increasingly important. In this context, evaluating the energy and environmental performance of low-carbon building systems integrated with renewable energy constitutes a significant area of research in sustainable building design. In particular, the combined use of solar energy and heat pump technologies offers substantial opportunities for reducing fossil fuel consumption, increasing renewable energy utilization, improving building energy performance, and lowering operational carbon emissions. Consequently, future building energy systems must be viewed not as solutions based on a single technology, but as integrated systems combining high energy efficiency, renewable energy generation, electric heating/cooling, and smart energy management.

Accordingly, this study examines a low-carbon building energy system that integrates heat pumps and solar energy technologies. By evaluating system performance in terms of energy consumption, renewable energy usage, and environmental impacts, the study investigates the contribution of renewable-energy-supported heat pump applications to low-carbon building objectives. Through an approach that addresses energy efficiency and renewable energy integration in tandem, the study aims to contribute to the sustainable transformation of building energy systems in alignment with the European Union's goals of achieving zero-emission buildings and a climate-neutral building stock by 2050.

CONDUCTING ENVIRONMENTAL ANALYSES USING A SIMULATION MODEL

The environmental assessment of building energy systems has become increasingly important due to the significant contribution of buildings to energy consumption and greenhouse gas emissions. Building operation requires substantial amounts of energy for heating, cooling, ventilation, lighting, and other energy services, and the environmental impacts associated with this demand depend strongly on the efficiency of building systems and the sources used to supply the required energy.

Consequently, evaluating building performance solely in terms of energy consumption is not sufficient for a comprehensive assessment of low-carbon building strategies. The relationship between energy demand, energy efficiency, renewable energy utilization, and greenhouse gas emissions should also be considered when evaluating the environmental performance of building systems.

The use of dynamic simulation is particularly valuable for integrated energy systems because the performance of individual technologies cannot always be evaluated independently. The energy demand of a building varies throughout the day and across the year, while renewable electricity generation is also time-dependent. Therefore, the environmental benefit of renewable energy integration depends not only on the total amount of energy generated but also on the temporal relationship between building demand and renewable energy production. A dynamic simulation framework can capture these interactions and provide a more representative basis for assessing the operational performance and environmental implications of integrated building energy systems. EnergyPlus provides a suitable simulation engine for this type of analysis because it enables the dynamic simulation of building thermal behavior together with heating, ventilation, and air-conditioning systems. When implemented through the OpenStudio environment, the simulation framework can represent the building, its energy-consuming systems, operating schedules, and renewable energy technologies within an integrated modeling environment. The resulting hourly simulation outputs can be used not only to examine building energy consumption but also to establish an appropriate basis for subsequent environmental assessments. Thus, the EnergyPlus–OpenStudio framework provides a computational link between dynamic building energy modeling and the environmental evaluation of alternative energy system configurations [6,7]. This study employs a comprehensive methodology centered on simulation techniques, utilizing OpenStudio and EnergyPlus software tools. The focus is on a building designed with an integrated photovoltaic (PV) system and a ground-source heat pump (GSHP). The primary goal is to evaluate the energy performance enhancements afforded by this innovative system, along with a thorough analysis of its environmental impacts. Various scenarios will be explored to assess how different configurations and operational strategies influence energy efficiency, cost-effectiveness, and sustainability outcomes. By systematically varying these parameters, the study aims to provide valuable insights into the potential benefits of combining PV technology with ground-source heat pumps in building applications. Figure 2 illustrates the sequential process of the simulation and environmental impact assessment workflow.

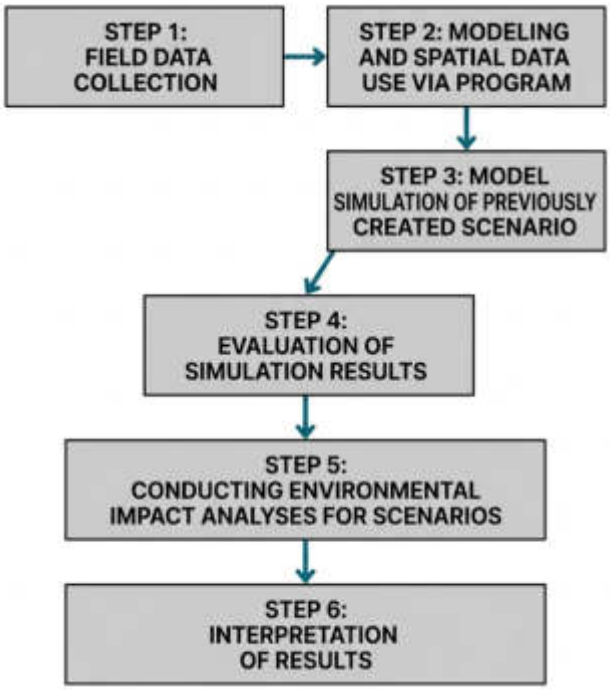


Figure 2. Proposed research methodology workflow.

Within this framework, the integration of photovoltaic (PV) generation and ground-source heat pump (GSHP) technology represents a promising approach for improving the energy and environmental performance of buildings. GSHP systems can provide heating and cooling by utilizing the thermal characteristics of the ground, while PV systems can supply a portion of the electricity required by the building and the heat pump system. The combination of these technologies therefore enables the interaction between building thermal demand, heat pump electricity consumption, and renewable electricity generation to be investigated within a common simulation framework. From an environmental perspective, reductions in grid electricity consumption and improvements in the renewable contribution can potentially lead to lower greenhouse gas emissions associated with building operation. Accordingly, the present study employs the previously developed EnergyPlus–OpenStudio dynamic building energy simulation model to evaluate the environmental performance of a photovoltaic-assisted ground-source heat pump system integrated into an existing commercial building. The simulation results provide the building energy consumption and PV electricity generation required for the environmental assessment. These outputs are subsequently used to examine greenhouse gas emissions and the contribution of renewable electricity to reducing the operational environmental burden of the building. In this way, the simulation model serves not merely as a tool for calculating energy demand, but as an analytical framework connecting building energy performance with renewable energy utilization and environmental assessment. This approach provides a quantitative basis for evaluating the potential contribution of PV-assisted GSHP systems to low-carbon building operation and to the broader decarbonization objectives emphasized by contemporary European building energy policies [8].

In-depth optimization studies were undertaken focusing on critical inputs, including cell efficiency, active surface area, and inverter performance. These factors were meticulously analyzed to guarantee that the electricity generation outputs in the simulation closely mirrored the conditions observed in real-world field settings.

Following this comprehensive evaluation, detailed specifications for the photovoltaic (PV) panels were incorporated into the OpenStudio software, enhancing the accuracy of the simulation environment and facilitating a more precise representation of energy production capabilities (Figure 3).

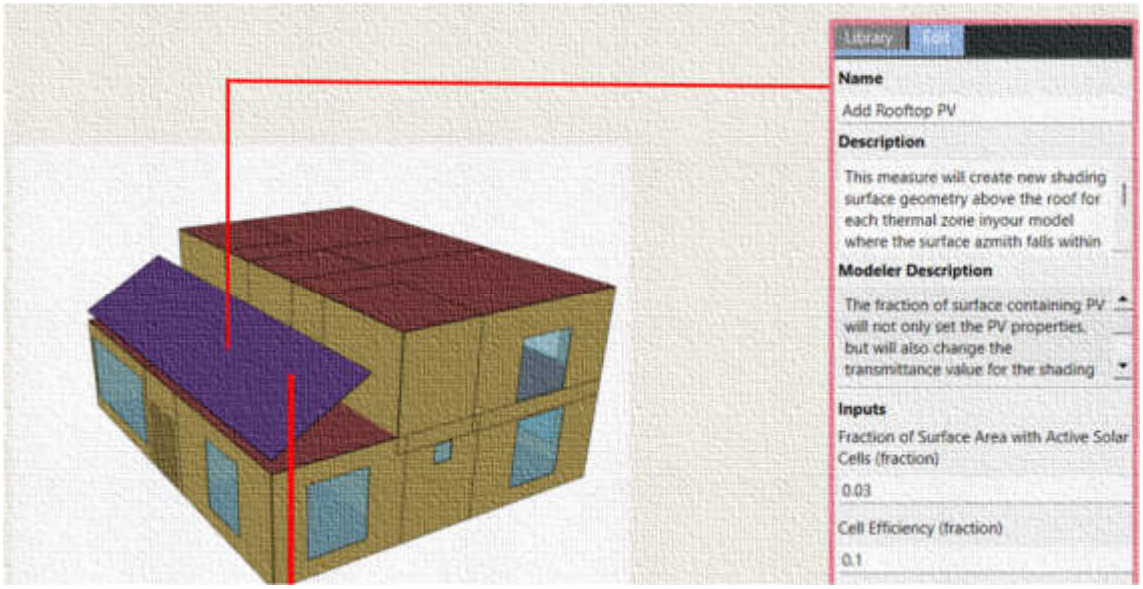


Figure 3. OpenStudio integration interface for PV panel input configuration

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Environmental analysis is essential for understanding the comprehensive impacts that energy conversion systems have on the ecosystem throughout their entire life cycle. This analysis encompasses every stage, including raw material extraction, production processes, operational usage, and the eventual disposal or recycling of materials. Rather than merely concentrating on the aspects of energy generation and economic viability, environmental analysis provides a more nuanced and holistic view of energy systems. To achieve critical climate change mitigation objectives—such as significantly reducing carbon footprints and effectively controlling greenhouse gas emissions and other pollutants—it's vital to conduct thorough assessments of these systems' environmental burdens. These analyses offer precise measurements that can highlight the environmental consequences associated with different energy technologies and practices.

Additionally, by recognizing potential environmental risks linked to energy conversion processes, whether they rely on fossil fuels or renewable sources, environmental analysis facilitates proactive decision-making. These risks may include factors like water consumption, land use changes, habitat destruction, and toxicity to humans and wildlife. Consequently, a well-executed environmental analysis empowers stakeholders to design energy systems that not only prioritize sustainability and compatibility with natural ecosystems but also meet strict regulatory standards such as those outlined in the Green Deal. Through these insights, energy systems can be optimized for better performance while minimizing their negative impacts on the environment, leading to more resilient and responsible energy solutions.

Observations have shown that as the simulated outdoor air temperature increases, there is a linear decrease in gross energy consumption. This trend suggests that the heating system is effectively moderating its heating-related emissions in a consistent manner as temperatures rise. In other words, as it becomes warmer outside, the demand for heating diminishes, leading to a corresponding reduction in the system's energy use and emissions. When we analyze total net carbon footprint systems, particularly those categorized as negative-emission systems, it becomes evident that the carbon savings generated by building-integrated photovoltaic (PV) panels significantly surpass the emissions produced by the heat pump system. This phenomenon can be attributed to the heat pump's enhanced operational efficiency, allowing it to operate at maximum capacity while concurrently managing a reduced heating load. As a result, the overall impact is a net reduction in carbon emissions, highlighting the effectiveness of integrating renewable energy sources within building systems to lower their environmental footprint.

REFERENCES

1. Bass, B., New, J., & Copeland, W. (2021). Potential Energy, Demand, Emissions, and Cost Savings Distributions in a Utility's Service Area. *Energies,*14, 132.

2. Guglielmetti, R., Macumber, D., & Long, N. (2011). OpenStudio: An open-source integrated analysis platform. *Proceedings of Building Simulation.* 442-449.

3. Heine, K., Tabares-Velasco, P.C., & Deru, M. (2021). Energy and cost assessment of packaged ice energy storage implementations using OpenStudio Measures. *Energy and Buildings,* 248(2021) 111189.

4. Litardo, J., Hidalgo-Leon, R., Macias, J., Delgado, K., & Soriano, G. (2019). Estimating energy consumption and conservation measures for ESPOL Campus main building model using EnergyPlus. *In 2019 IEEE 39th Central America and Panama Convention,* 1-6.

5. Eurostat. (2026, July 23). European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20260723-1

6. Roth, A., Goldwasser, D., & Parker, A. (2016). There's a measure fort hat. *Energy and Buildings,* 117 (2016), 321-331.

7. Yadav, D.P., Bajracharya, S.B., & Bhattrai, S. (2017). Energy saving assessment for building envelope of supermarket based on energplus and openstudio. *American Journal of Civil Engineering,* 5(3), 141-147.

8. Qaisar, I., Liang, W., Sun, K., Xing, T., & Zhao, Q. (2025). An experimental comparative study of energy saving based on occupancy-centric control in smart buildings. *Building and Environment,* 268 (2025), 112322.

KATYONİK BİR BOYAR MADDENİN ELEKTROOKSİDATİF RENK GİDERİMİNDE BAŞLANGIÇ BOYAR MADDE KONSANTRASYONU VE AKIM YOĞUNLUĞUNUN GİDERİM VERİMİ VE ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİ

Öğr. Gör. Sermin GÜNASLAN
Kastamonu Üniversitesi, Abana Sabahat Mesut Yılmaz MYO, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü
ORCID: 0000-0003-2395-2808

Prof. Dr. Baybars Ali FİL
Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0003-3085-224X

Zeynep GÖKTAŞ
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0009-0009-7648-5001

ÖZET
Bu çalışmada, katyonik bir boyar maddenin elektrooksidatif yöntemle renk gideriminde başlangıç boyar madde konsantrasyonu ve akım yoğunluğunun giderim verimi ve enerji tüketimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elektrooksidasyon deneyleri, farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonları ve akım yoğunlukları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Başlangıç konsantrasyonunun proses performansına etkisini belirlemek amacıyla 50, 75, 100 ve 125 mg/L konsantrasyonlarında; akım yoğunluğunun etkisini değerlendirmek amacıyla ise 0,406, 0,812, 1,218 ve 1,624 mA/cm² değerlerinde deneyler yürütülmüştür. Giderim verimleri 60 dakikalık elektroliz süresi boyunca belirlenmiş, enerji tüketimleri ise kWh-sa/m³ cinsinden hesaplanmıştır. Başlangıç boyar madde konsantrasyonunun 50 mg/L'den 125 mg/L'ye yükseltilmesiyle 60 dakika sonundaki giderim verimi %99,998'den %86,258'e düşmüştür. Buna karşılık, başlangıç konsantrasyonundaki artış enerji tüketiminin 31,875'ten 23,625 kWh-sa/m³'e azalmasını sağlamıştır. Akım yoğunluğunun artırılması ise giderim performansını belirgin biçimde iyileştirmiştir. 60 dakika sonunda giderim verimleri 0,406, 0,812, 1,218 ve 1,624 mA/cm² için sırasıyla %66,065, %85,532, %98,860 ve %99,917 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte enerji tüketimi aynı koşullarda 5,688'den 40,500 kWh-sa/m³'e yükselmiştir. Sonuçlar, başlangıç boyar madde konsantrasyonu ve akım yoğunluğunun elektrooksidatif renk gideriminde proses performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Özellikle 1,218 mA/cm²'den 1,624 mA/cm²'ye çıkıldığında giderim verimindeki artışın sınırlı kalmasına rağmen enerji tüketiminin belirgin şekilde yükselmesi, giderim verimi ve enerji tüketimi arasındaki denge açısından 1,218 mA/cm² akım yoğunluğunun daha uygun bir işletme koşulu olabileceğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Elektrooksidasyon, katyonik boyar madde, renk giderimi, akım yoğunluğu, başlangıç konsantrasyonu, enerji tüketimi.

EFFECT OF INITIAL DYE CONCENTRATION AND CURRENT DENSITY ON REMOVAL EFFICIENCY AND ENERGY CONSUMPTION İN THE ELECTRO-OXIDATIVE DECOLORIZATION OF A CATIONIC DYE

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effects of initial dye concentration and current density on removal efficiency and energy consumption during the electrooxidative decolorization of a cationic dye. Electrooxidation experiments were conducted using different initial dye concentrations and current densities. To evaluate the effect of initial dye concentration on process performance, experiments were performed at concentrations of 50, 75, 100, and 125 mg/L, while current density was varied at 0.406, 0.812, 1.218, and 1.624 mA/cm². Removal efficiencies were determined over a 60-min electrolysis period, and energy consumption was calculated in kWh·h/m³. Increasing the initial dye concentration from 50 to 125 mg/L resulted in a decrease in the removal efficiency after 60 min from 99.998% to 86.258%. In contrast, increasing the initial dye concentration led to a decrease in energy consumption from 31.875 to 23.625 kWh·h/m³. Increasing the current density significantly improved the removal performance. After 60 min, removal efficiencies of 66.065%, 85.532%, 98.860%, and 99.917% were obtained at current densities of 0.406, 0.812, 1.218, and 1.624 mA/cm², respectively. However, energy consumption increased from 5.688 to 40.500 kWh·h/m³ under the same conditions. The results demonstrated that both the initial dye concentration and current density significantly affected the performance of the electrooxidative decolorization process. In particular, increasing the current density from 1.218 to 1.624 mA/cm² resulted in only a limited improvement in removal efficiency, whereas energy consumption increased substantially. Therefore, a current density of 1.218 mA/cm² may represent a more favorable operating condition in terms of balancing removal efficiency and energy consumption.

Keywords: Electrooxidation, cationic dye, decolorization, current density, initial dye concentration, energy consumption.

GİRİŞ

Su kirliliğinin sebep olduğu çevresel problemler, küresel nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme ile giderek daha da şiddetlenmiştir (Ali, Alharbi, ALOthman, Al-Mohaimeed, & Alwarthan, 2019; Mekonnen & Hoekstra, 2016). Endüstriyel ve ekonomik faaliyetlerin hızla gelişmesi, farklı kaynaklardan oluşan atıksu miktarlarının önemli ölçüde artmasına neden olmaktadır. Yeterli düzeyde arıtılmadan çevreye deşarj edilen atıksular, su kaynaklarının kalitesini olumsuz etkileyerek ekolojik denge ve insan sağlığı açısından çeşitli riskler ortaya çıkarmaktadır. Bu kapsamda, su kirliliğinin kontrol altına alınması ve alıcı ortamların korunması amacıyla etkin atıksu arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Geleneksel arıtma proseslerinin yanı sıra, daha düşük işletme maliyetine sahip, sürdürülebilir ve çevresel açıdan daha avantajlı alternatif teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması üzerine yoğunlaşan araştırmalar son yıllarda önem kazanmıştır (Bolisetty, Peydayesh, & Mezzenga, 2019; Cardoso, Bessegato, & Zanoni, 2016; Erkmen & Adıgüzel, 2022; Zaman, Begum, Rabbani, & Bari, 2017). Elektrokimyasal ileri oksidasyon prosesleri, organik maddelerin oksidatif olarak parçalanmasında, hidroksil radikalleri ve aktif klor türleri gibi güçlü oksitleyici ajanların arıtma ortamında in situ olarak üretilmesini sağlayan alternatif bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Ek olarak, bir elektrokimyasal reaktör daha az yer kaplar ve çeşitli kirleticileri arıtabilir (Wang, Chou, Kuo, & Chang, 2009).

Bu proseslerin yüksek kirletici giderim kapasitesinin yanı sıra, işletim ve kontrolünün görece kolay olması ve kararlı proses performansı göstermesi, atıksu arıtımında uygulanabilir bir yöntem olarak değerlendirilmesini desteklemektedir (Chen et al., 2023; Paździor, Bilińska, & Ledakowicz, 2019). Çok sayıda araştırmacı uzun yıllardır elektrokimyasal arıtım teknolojilerini çöp sahası sızıntı suyu (Li, 2001), p -klorofenol ve p –nitrofenol (Borras, Laredo, & Scharifker, 2003), tabakhane (Murugananthan, Raju, & Prabhakar, 2004), tekstil (Aravind, Subramanyan, Ferro, & Gopalakrishnan, 2016; Kuszewski, Colavito, Wittbold, & McBeath, 2026; Muthukumar, Karuppiah, & Raju, 2007; Pinto et al., 2022), kağıt fabrikası atıksuları (El-Ashtoukhy, Amin, & Abdelwahab, 2009; Mahesh, Prasad, Mall, & Mishra, 2006), zeytinyağı fabrikası atıksuları (Gotsi, Kalogerakis, Psillakis, Samaras, & Mantzavinos, 2005), şeker fabrikası atıksuları (Güven, Perendeci, & Tanyolaç, 2009) gibi farklı birçok atık su türlerinin elektrokimyasal oksidasyonunu araştırmıştır. Elektrokimyasal proseslerde, kirleticiler doğrudan veya dolaylı bir oksidasyon prosesi ile giderilir. Doğrudan anodik oksidasyon sürecinde, kirleticiler önce anot yüzeyine adsorbe edilir ve daha sonra anodik elektron transfer reaksiyonuyla yok edilir. Dolaylı oksidasyon sürecinde ise, hipoklorit/klor, ozon ve hidrojen peroksit gibi güçlü oksitleyiciler elektrokimyasal olarak üretilir. Kirleticiler daha sonra üretilen oksitleyicilerin oksidasyon reaksiyonuyla çözeltinin içinde yok edilir. Tüm oksitleyiciler yerinde üretilir ve hemen kullanılır (Prasad & Srivastava, 2009; K. Rajkumar & Muthukumar, 2012). Renk giderme için fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler de dahil olmak üzere çeşitli atık su arıtma teknolojileri uygulanmaktadır. Bunların hepsinin avantajları ve dezavantajları vardır ve genellikle farklı teknolojilerin bir kombinasyonu gereklidir (D. Rajkumar & Kim, 2006). Elektrooksidasyon için en yaygın anot malzemeleri camsı karbon, Ti/RuO_2 , Ti/Pt–Ir, karbon fiber ve paslanmaz çeliktir. Ancak bu malzemelerin hiçbiri, pratik olması için gerekli olan hem aktivite hem de kararlılık kombinasyonuna sahip değildir. Son zamanlarda, elektrooksidasyonda bor katkılı iletken elmas anotlar kullanılmış ve endüstriyel atıklardaki organiklerin arıtılmasında en umut vadeden teknolojilerden biri olarak görülmüştür (Polcaro, Ricci, Palmas, Ferrara, & Anedda, 2006).
Bu çalışmada, katyonik bir boyar maddenin elektrooksidasyon yöntemiyle gideriminde başlangıç boyar madde konsantrasyonu ve akım yoğunluğunun etkisi araştırılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda ve akım yoğunluklarında yürütülen deneylerde renk giderim verimi ile enerji tüketim değerleri ile proses performansı değerlendirilmiştir. Elektrokimyasal arıtımın etkinliği ileride yapılacak çalışmalarla ilgili öneriler sunulmuştur.

YÖNTEM

Elektrooksidasyon Sistemi Kurulumu

Bu çalışmada, katyonik bir boyar maddenin elektrooksidasyon yöntemiyle renk giderimi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, anot olarak $Ti/IrO_2/RuO_2$ kaplı titanyum elektrot, katot olarak ise titanyum elektrot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal hücrede elektrotlar doğru akım güç kaynağına bağlanarak elektroliz işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde destek elektroliti olarak 7,5 mM NaCl kullanılmış ve başlangıç çözeltisinin pH değeri yaklaşık 7,00 olarak ayarlanmıştır. Tüm deneyler 60 dakika süreyle yürütülmüştür. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında, başlangıç boya konsantrasyonunun renk giderim performansı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla boya konsantrasyonu 50, 75, 100 ve 125 mg/L olacak şekilde farklı model çözeltiler hazırlanmıştır. Bu deneylerde diğer işletme koşulları sabit tutulmuş ve akım yoğunluğu 1,218 mA/cm^2 olarak uygulanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise akım yoğunluğunun elektrooksidatif renk giderimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda başlangıç boya konsantrasyonu 100 mg/L'de sabit tutulmuş ve 0,406, 0,812, 1,218 ve 1,624 mA/cm^2 olmak üzere dört farklı akım yoğunluğunda deneyler gerçekleştirilmiştir.

Bu değerler sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 A olarak ifade edilen deney koşullarına karşılık gelmektedir. Her iki deney grubunda da 7,5 mM NaCl ve pH 7,00 ortak deney koşulları olarak korunmuştur. Elektroliz süresince belirli zaman aralıklarında çözeltiden numuneler alınarak renk giderim performansı değerlendirilmiş ve 60 dakikalık deney süresi sonunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Renk ölçümleri için Hach Lange DR5000 spektrofotometre kullanılmıştır. Ölçümler 616,5 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Renk giderim verimi, başlangıç ve belirli bir zamandaki boya konsantrasyonları kullanılarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$\eta(\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

Burada η renk giderim verimini (%), C_0 başlangıç boya konsantrasyonunu (mg/L), C_t ise t anındaki boya konsantrasyonunu (mg/L) ifade etmektedir. Gerçekleştirilen deneylere ait deney sistemi özellikleri aşağıda gösterilmiştir.

Başlangıç Boya Konstantrasyonu (mg/L)	50	Ortak Şartlar:DET: 7.5 mM NaCl, pH≈7.00, J: 1.218 mA/cm²
	75	
	100	
	125	
Akım Yoğunluğu (mA/cm²)	0.406 (1A)	Ortak Şartlar:C_0: 100 mg/L, pH≈7.00, DET: 7.5 mM NaCl
	0.812 (2A)	
	1.218 (3A)	
	1.624 (4A)	

Enerji tüketiminin hesaplanmasında kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$W\left(\frac{kWsaat}{m^3}\right) = \frac{VxIxt}{v}$$

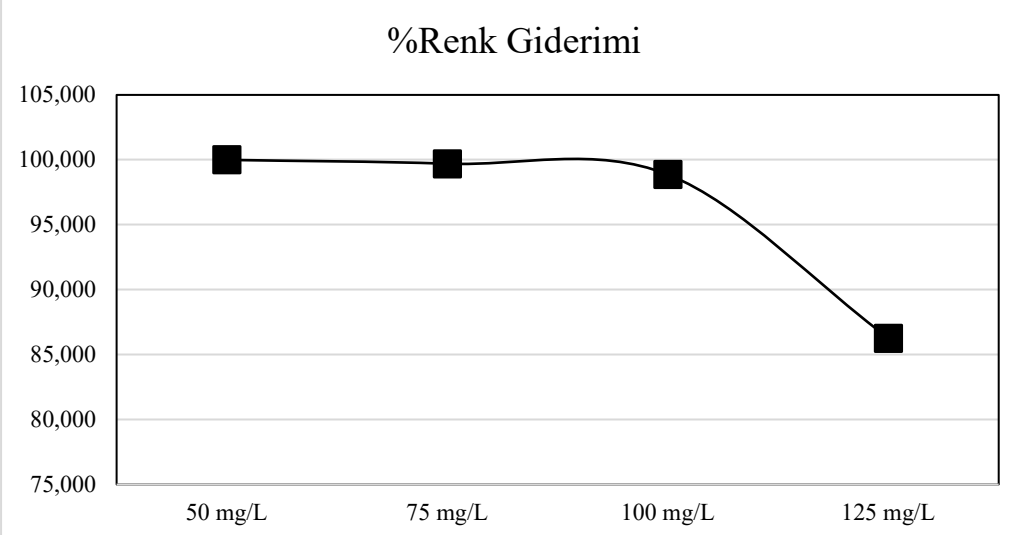
Bu denklemde,

W ifadesi enerji sarfiyatı (kW-saat/m3),
I akım şiddeti (A),
V: Volt,
t:zaman (dakika) ve
v: toplam çözelti hacmi (m3) olarak gösterilmektedir.

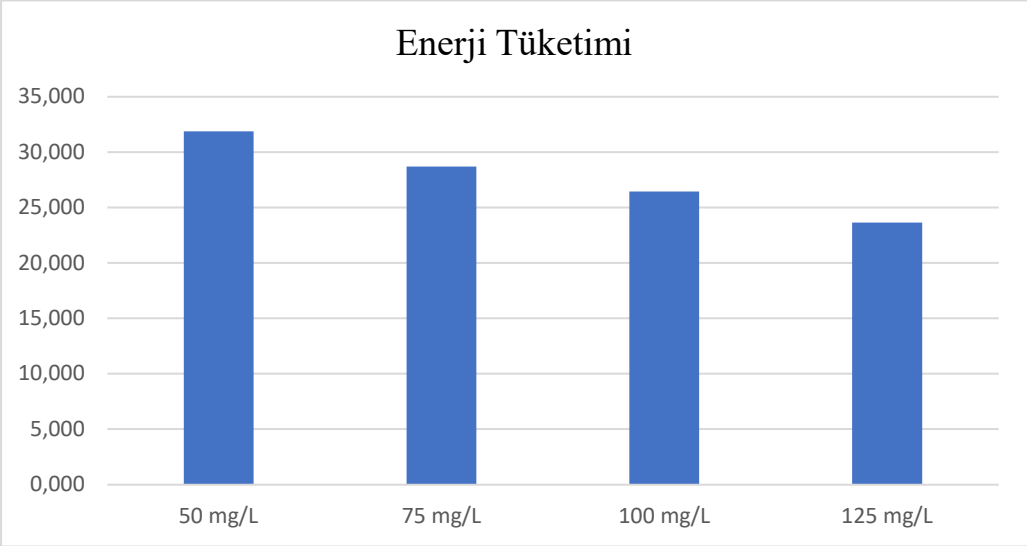
BULGULAR

Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Renk Giderimi ve Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi

Gelişmiş oksidasyon prosesi teknolojisinin benimsenmesi, uygulanabilir bir süreç sağlamak için anot seçimi, destek elektrolit miktarı, enerji tüketimi ve işletme maliyeti gibi bazı önemli hususları dikkate almalıdır (Barrera et al., 2020). Başlangıç boya konsantrasyonunun elektrooksidatif renk giderimi üzerindeki etkisi incelendiğinde, tüm konsantrasyonlarda elektroliz süresinin artmasıyla birlikte renk giderim veriminin belirgin şekilde yükseldiği görülmüştür. 50 mg/L başlangıç konsantrasyonunda renk giderimi 5. dakikada %69,32 seviyesine ulaşırken, 20. dakikada %97,07 ve 45. dakikada %99,98 olarak belirlenmiş; 60 dakika sonunda ise %99,998 gibi oldukça yüksek bir giderim verimine ulaşılmıştır. 75 mg/L başlangıç konsantrasyonunda ise giderim verimi 5. dakikada %51,85, 30. dakikada %95,05 ve 60. dakikada %99,69 olarak gerçekleşmiştir. Başlangıç boya konsantrasyonunun 100 mg/L olması durumunda renk giderim verimi 5. dakikada %33,55, 20. dakikada %80,60 ve 45. dakikada %97,99 olarak belirlenmiş, 60 dakika sonunda %98,86 giderim elde edilmiştir. En yüksek başlangıç konsantrasyonu olan 125 mg/L koşulunda ise giderim verimi diğer konsantrasyonlara kıyasla daha düşük seyretmiş; 5. dakikada %17,87, 30. dakikada %78,84 ve 60 dakika sonunda %86,26 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, başlangıç boya konsantrasyonundaki artışın aynı işletme koşullarında renk giderim hızını ve 60 dakika sonunda ulaşılan giderim verimini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Buna bağlı olarak 60 dakika sonunda 50, 75, 100 ve 125 mg/L için sırasıyla %99,998, %99,690, %98,860 ve %86,258 giderim elde edilmiştir. Özellikle 125 mg/L konsantrasyonunda giderimin belirgin şekilde düşük kalması, sabit işletme koşullarında artan kirletici yükünün elektrooksidatif giderim performansını sınırlayabildiğini göstermektedir. Hamad vd. (Hamad, Bassyouni, El-Ashtoukhy, Amin, & Abd El-Latif, 2018). yaptıkları çalışmada benzer sonuçları elde etmişlerdir. Sonuçlar aşağıda Şekil 1-2'de gösterilmiştir. Enerji tüketimi sonuçlarına bakıldığında Şekil 2.'de başlangıç boyar madde konsantrasyonu arttıkça elektrik tüketiminin azaldığı görülmüştür. 50, 75, 100 ve 125 mg/L konsantrasyonlarda 60. dk sonunda enerji tüketimleri sırasıyla 31.875, 28.688, 26.438,23.625 kw-sa/m^3 olarak hesaplanmıştır.



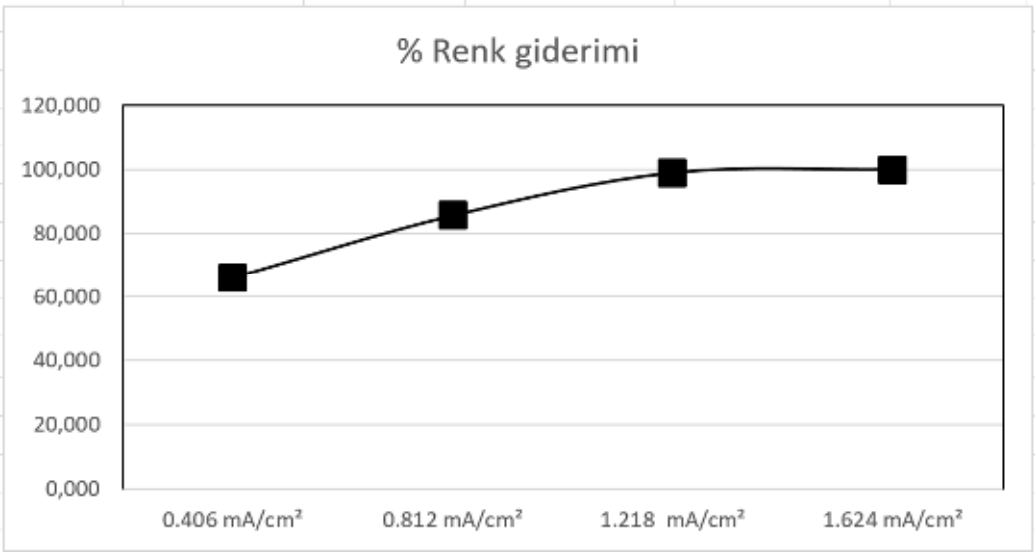
Şekil 1. Başlangıç boya konsantrasyonun renk giderimi üzerine etkisi



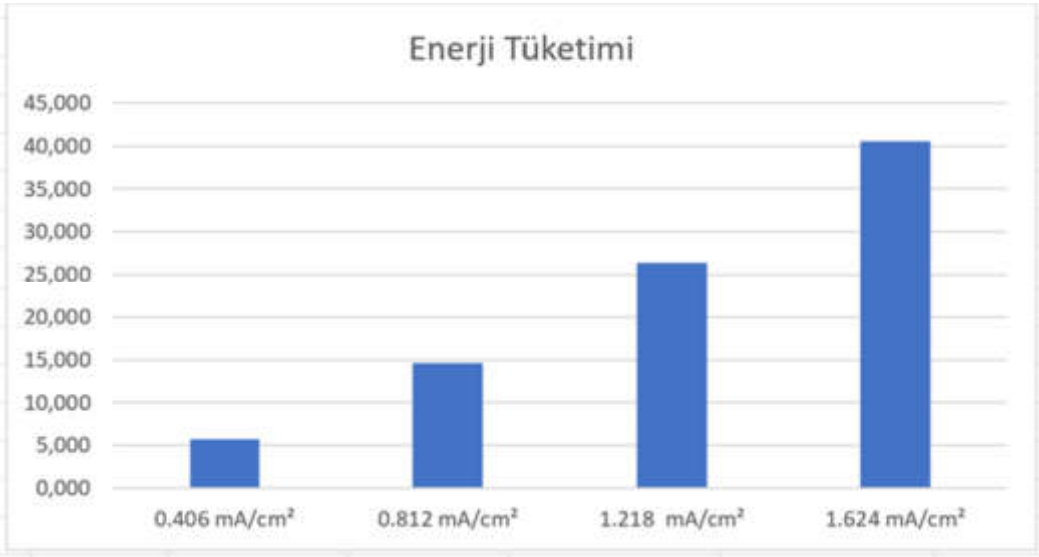
Şekil 2. Başlangıç boya konsantrasyonun enerji tüketimi üzerine etkisi

Akımın Renk Giderimi ve Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi

Uygulanan akım yoğunluğu, oksitleyici türlerin oluşum hızını kontrol etmede önemli bir rol oynadığı için elektrooksidasyon süreçlerini etkileyen en önemli parametrelerden biridir (Lebik-Elhadi, Frontistis, Ait-Amar, Amrani, & Mantzavinos, 2018). Akım yoğunluğunun artırılmasıyla renk giderim veriminin tüm deney sürelerinde yükseldiği belirlenmiştir. 60 dakika sonunda 0,406, 0,812, 1,218 ve 1,624 mA/cm² akım yoğunluklarında sırasıyla %66,07, %85,53, %98,86 ve %99,92 renk giderimi elde edilmiştir. Akım yoğunluğunun 0,406'dan 1,218 mA/cm²'ye yükseltilmesiyle giderim veriminde belirgin bir artış gözlenirken, 1,218'den 1,624 mA/cm²'ye yükseltilmesi durumunda renk giderimi yalnızca %1,06 oranında artmıştır. Buna karşılık, 60 dakika sonunda enerji tüketimi aynı akım yoğunlukları için sırasıyla 5,688, 14,625, 26,438 ve 40,500 kWh/m³ olarak belirlenmiştir. Özellikle 1,218 mA/cm²'den 1,624 mA/cm²'ye geçişte enerji tüketiminin 26,438 kWh/m³'ten 40,500 kWh/m³'e yükselmesine rağmen renk giderimindeki artışın yalnızca %1,06 düzeyinde kalması, yüksek akım yoğunluklarında enerji tüketiminin giderim verimine kıyasla daha belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Akım yoğunluğu arttıkça sisteme uygulanan potansiyel fark ve giderim verimi artmaktadır ancak potansiyel farktaki bu artış ise enerji tüketimini yükseltmektedir (Ozturk & Yilmaz, 2019). Bu sonuçlar, elektrooksidasyon prosesinde yalnızca yüksek renk giderim veriminin değil, aynı zamanda giderim performansı ile enerji tüketimi arasındaki dengenin de dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 3. Akımın renk giderim verimi üzerine etkisi



Şekil 4. Akımın enerji tüketimi üzerine etkisi

SONUÇ

Bu çalışmada, katyonik bir boyar maddenin elektrooksidatif yöntemle renk giderimi araştırılmış ve başlangıç boya konsantrasyonu ile akım yoğunluğunun proses performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler, Ti/IrO_2/RuO_2 kaplı titanyum anot ve titanyum katot kullanılarak, 7,5 mM NaCl destek elektroliti ve yaklaşık pH 7,00 koşullarında 60 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Başlangıç boya konsantrasyonunun artırılmasıyla renk giderim hızının ve 60 dakika sonunda ulaşılan giderim veriminin azaldığı belirlenmiştir. 60 dakika sonunda 50, 75, 100 ve 125 mg/L başlangıç konsantrasyonları için sırasıyla %99,998, %99,690, %98,860 ve %86,258 renk giderimi elde edilmiştir. Bu sonuçlar, başlangıç boya konsantrasyonunun elektrooksidatif renk giderim performansını etkileyen önemli işletme parametrelerinden biri olduğunu göstermiştir. Akım yoğunluğunun artırılması ise renk giderim verimini olumlu yönde etkilemiştir. 60 dakika sonunda 0,406, 0,812, 1,218 ve 1,624 mA/cm² akım yoğunluklarında sırasıyla %66,065, %85,532, %98,860 ve %99,917 renk giderimi elde edilmiştir.

Bununla birlikte, 1,218 mA/cm²'den 1,624 mA/cm²'ye geçildiğinde renk giderimindeki artış sınırlı kalırken enerji tüketiminde belirgin bir yükselme meydana gelmiştir. Bu koşullarda enerji tüketimi sırasıyla 26,438 ve 40,500 kWh/m³ olarak belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, elde edilen sonuçlar elektrooksidasyon prosesinin katyonik boyar maddelerin renk gideriminde yüksek giderim verimleri sağlayabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, proses performansının yalnızca maksimum renk giderimi üzerinden değil, giderim verimi ve enerji tüketimi arasındaki ilişki birlikte değerlendirilerek ele alınması gerekmektedir. İncelenen koşullar kapsamında, 1,218 mA/cm² akım yoğunluğunda %98,860 renk giderimi ve 26,438 kWh/m³ enerji tüketimi elde edilmesi, daha yüksek akım yoğunluğuna kıyasla renk giderimindeki sınırlı ek kazanım ile enerji tüketimindeki artışın birlikte değerlendirilmesi açısından dikkat çekici bir sonuç olarak ortaya çıkmıştır.
Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar doğrultusunda, ilerleyen çalışmalarda yalnızca renk gideriminin değil, KOİ, TOK ve boya molekülünün mineralizasyon düzeyinin de belirlenmesi, elektrooksidasyon prosesinin gerçek arıtma performansının ortaya konulması açısından önem taşımaktadır. Gelecek çalışmalarda ayrıca farklı anot kaplamalarının karşılaştırılması, elektrotların uzun süreli kullanım ve kararlılığının incelenmesi, gerçek endüstriyel atıksular üzerinde deneylerin gerçekleştirilmesi ve enerji tüketimi ile giderim verimini birlikte dikkate alan proses optimizasyon çalışmalarının yürütülmesi önerilmektedir.

Teşekkür
Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde laboratuvar imkanı sağlayan Balıkesir Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Atıksu Arıtma Laboratuvarı'na teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

Ali, Imran, Alharbi, Omar ML, ALOthman, Zeid A, Al-Mohaimeed, Amal Mohammed, & Alwarthan, Abdulrahman. (2019). Modeling of fenuron pesticide adsorption on CNTs for mechanistic insight and removal in water. *Environmental research, 170*, 389-397.

Aravind, Priyadharshini, Subramanyan, Vasudevan, Ferro, Sergio, & Gopalakrishnan, Rajagopal. (2016). Eco-friendly and facile integrated biological-cum-photo assisted electrooxidation process for degradation of textile wastewater. *Water research, 93*, 230-241.

Barrera, Héctor, Cruz-Olivares, Julián, Frontana-Uribe, Bernardo A., Gómez-Díaz, Aarón, Reyes-Romero, Pedro G., & Barrera-Diaz, Carlos E. (2020). Electro-Oxidation–Plasma Treatment for Azo Dye Carmoisine (Acid Red 14) in an Aqueous Solution. *Materials, 13*(6), 1463.

Bolisetty, Sreenath, Peydayesh, Mohammad, & Mezzenga, Raffaele. (2019). Sustainable technologies for water purification from heavy metals: review and analysis. *Chemical Society Reviews, 48*(2), 463-487.

Borras, C, Laredo, T, & Scharifker, BR. (2003). Competitive electrochemical oxidation of p-chlorophenol and p-nitrophenol on Bi-doped PbO2. *Electrochimica Acta, 48*(19), 2775-2780.

Cardoso, Juliano Carvalho, Bessegato, Guilherme Garcia, & Zanoni, Maria Valnice Boldrin. (2016). Efficiency comparison of ozonation, photolysis, photocatalysis and photoelectrocatalysis methods in real textile wastewater decolorization. *Water research, 98*, 39-46.

Chen, Wutong, He, Xin, Jiang, Zekai, Li, Bing, Li, Xiao-yan, & Lin, Lin. (2023). A capacitive deionization and electro-oxidation hybrid system for simultaneous removal of heavy metals and organics from wastewater. *Chemical Engineering Journal, 451*, 139071. doi:https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139071

El-Ashtoukhy, E-SZ, Amin, Nevine Kamal, & Abdelwahab, Ola. (2009). Treatment of paper mill effluents in a batch-stirred electrochemical tank reactor. *Chemical Engineering Journal, 146*(2), 205-210.

Erkmen, Jülide, & Adıgüzel, Mahmut. (2022). Acid red-20 sentetik endüstriyel boyar maddenin elektro-oksidasyon yöntemi ile sulu çözeltiden uzaklaştırılması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11*(2), 363-371.

Gotsi, Marina, Kalogerakis, Nicolas, Psillakis, Elefteria, Samaras, Petros, & Mantzavinos, Dionissios. (2005). Electrochemical oxidation of olive oil mill wastewaters. *Water Research, 39*(17), 4177-4187.

Güven, Güray, Perendeci, Altunay, & Tanyolaç, Abdurrahman. (2009). Electrochemical treatment of simulated beet sugar factory wastewater. *Chemical Engineering Journal, 151*(1-3), 149-159.

Hamad, Hesham, Bassyouni, Doaa, El-Ashtoukhy, El-Sayed, Amin, Nevin, & Abd El-Latif, Mona. (2018). Electrocatalytic degradation and minimization of specific energy consumption of synthetic azo dye from wastewater by anodic oxidation process with an emphasis on enhancing economic efficiency and reaction mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 148*, 501-512. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.061

Kuszewski, Faye, Colavito, Annabella, Wittbold, Patrick, & McBeath, Sean T. (2026). Oxidation byproduct formation by electro-oxidation of textile dye wastewater: Occurrence, characterization and mitigation. *Journal of Hazardous Materials, 510*, 142075. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2026.142075

Lebik-Elhadi, Hafida, Frontistis, Zacharias, Ait-Amar, Hamid, Amrani, Said, & Mantzavinos, Dionissios. (2018). Electrochemical oxidation of pesticide thiamethoxam on boron doped diamond anode: Role of operating parameters and matrix effect. *Process Safety and Environmental Protection, 116*, 535-541.

Li, X-m. (2001). Study on electrolytic oxidation for landfill leachate treatment. *China Water and Wastewater, 17*(8), 14-17.

Mahesh, S., Prasad, B., Mall, I. D., & Mishra, I. M. (2006). Electrochemical Degradation of Pulp and Paper Mill Wastewater. Part 1. COD and Color Removal. *Industrial & Engineering Chemistry Research, 45*(8), 2830-2839. doi:10.1021/ie0514096

Mekonnen, Mesfin M, & Hoekstra, Arjen Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science advances, 2*(2), e1500323.

Murugananthan, M, Raju, G Bhaskar, & Prabhakar, S. (2004). Separation of pollutants from tannery effluents by electro flotation. *Separation and Purification Technology, 40*(1), 69-75.

Muthukumar, M, Karuppiah, M Thalamadai, & Raju, G Bhaskar. (2007). Electrochemical removal of CI Acid orange 10 from aqueous solutions. *Separation and Purification Technology, 55*(2), 198-205.

Ozturk, Dilara, & Yilmaz, Alper Erdem. (2019). Treatment of slaughterhouse wastewater with the electrochemical oxidation process: Role of operating parameters on treatment efficiency and energy consumption. *Journal of Water Process Engineering, 31*, 100834. doi:https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100834

Paździor, Katarzyna, Bilińska, Lucyna, & Ledakowicz, Stanisław. (2019). A review of the existing and emerging technologies in the combination of AOPs and biological processes in industrial textile wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal, 376*, 120597.

Pinto, Cláudia, Fernandes, Annabel, Lopes, Ana, Nunes, Maria João, Baía, Ana, Ciríaco, Lurdes, & Pacheco, Maria José. (2022). Reuse of Textile Dyeing Wastewater Treated by Electrooxidation. *Water, 14*(7), 1084.

Polcaro, AM, Ricci, Pier Carlo, Palmas, Simonetta, Ferrara, Francesca, & Anedda, Alberto. (2006). Characterization of boron doped diamond electrodes during oxidation processes: Relationship between electrochemical activity and ageing time. *Thin Solid Films, 515*(4), 2073-2078.

Prasad, R Krishna, & Srivastava, SN. (2009). Electrochemical degradation of distillery spent wash using catalytic anode: Factorial design of experiments. *Chemical Engineering Journal, 146*(1), 22-29.

Rajkumar, D., & Kim, Jong Guk. (2006). Oxidation of various reactive dyes with in situ electro-generated active chlorine for textile dyeing industry wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials, 136*(2), 203-212. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.096

Rajkumar, K., & Muthukumar, Muthuchamy. (2012). Optimization of electro-oxidation process for the treatment of Reactive Orange 107 using response surface methodology. *Environmental Science and Pollution Research, 19*(1), 148-160. doi:10.1007/s11356-011-0532-2

Wang, Chih-Ta, Chou, Wei-Lung, Kuo, Yi-Ming, & Chang, Fu-Lin. (2009). Paired removal of color and COD from textile dyeing wastewater by simultaneous anodic and indirect cathodic oxidation. *Journal of Hazardous Materials, 169*(1), 16-22. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.054

Zaman, Sharmin, Begum, Anowara, Rabbani, KS, & Bari, Latiful. (2017). Low cost and sustainable surface water purification methods using Moringa seeds and scallop powder followed by bio-sand filtration. *Water Science and Technology: Water Supply, 17*(1), 125-137.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ATIK KAHVE VE MERMER TOZU KATKILI BENTONİT KOMPOZİTLERİNİN GEOTEKNİK VE İNDEKS ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem CEYLAN
Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
ORCID: 0000-0002-5961-3085

ÖZET
Bu çalışmada, evsel kahve atığı ve mermer tozunun zemin iyileştirme süreçlerinde kullanım potansiyelini değerlendirmek amacıyla karışımların temel fiziksel özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla, bentonit kili (BC), belirli oranlarda mermer tozu (MT) ve kurutulmuş kahve atığı tozu (KAT) ile karıştırılarak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Karışımların temel fiziksel ve özelliklerini belirlemek amacıyla; özgül ağırlığı (Gs), Atterberg kıvam limitleri (Likit Limit- LL, Plastik Limit- PL), standart Proktor (kompaksiyon) özellikleri (maksimum kuru birim hacim ağırlık-MDD, optimum su içeriği-OMC) ve pH deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, karışımların kıvam limitlerinde (LL ve PL) düşüş elde edilmiştir. Bu durum, mermer tozunun plastisiteyi seyreltme etkisi ve kuru kahve atığı tozunun parçacıklar arasında mekanik bir bariyer oluşturarak bentonit karışımının su tutma kapasitesini fiziksel olarak sınırlandırmasıyla açıklanmıştır. Karışımların özgül ağırlığı (Gs), oldukça düşük yoğunluğa sahip olan kahve atığının sisteme dahil olmasıyla doğrusal bir azalım sergilemiştir. Standart Proktor deneylerinde, kahve atığının hafif ve gözenekli yapısı nedeniyle maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde düşüş kaydedilirken, optimum su içeriği değerlerinde ise fiziksel su emme kapasitesine bağlı olarak değişimler göstermiştir. Fiziko-kimyasal analizlerde, mermer tozunun yüksek alkali yapısı ile kahve atığının organik bileşenlerinin karışımların pH dengesini doğrudan etkilediği belirlenmiştir. Çalışma, herhangi bir kimyasal reaksiyon odağı olmaksızın, atık bileşenlerin fiziksel dolgu etkisi, hafifletici özellikleri ve pH dengesi ile zeminlerin su hassasiyetini düşürmede ve hafif dolgu malzemesi üretiminde alternatif birer stabilizasyon ajanı olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: Kahve Atığı, Mermer Tozu, Bentonit, Zeminlerde Atık Kullanımı, Kıvam Limitleri, Kompaksiyon

DETERMINATION OF GEOTECHNICAL AND INDEX PROPERTIES OF BENTONITE COMPOSITES WITH WASTE COFFEE AND MARBLE DUST ADDITIVES

ABSTRACT
In this study, the basic physical properties of mixtures were experimentally investigated to evaluate the potential of household coffee waste and marble powder for soil improvement. For this purpose, mixture samples were prepared by mixing bentonite clay (BC) with marble powder (MT) and dried coffee waste powder (CWP) in specific proportions. To determine the basic physical properties of the mixtures, specific gravity (Gs), Atterberg consistency limits (Liquid Limit-LL, Plastic Limit-PL), standard Proctor (compaction) properties (maximum dry unit weight-MDD, optimum water content-OMC), and pH tests were performed. According to the experimental results, the consistency limits (LL and PL) of the mixtures decreased. This is explained by the dilution effect of marble powder on plasticity and by the physical limitation of the water-holding capacity of the bentonite mixture due to the formation of a mechanical barrier between the particles formed by dried coffee waste powder.

The specific gravity (Gs) of the mixtures decreased linearly with the inclusion of coffee waste, which has a very low density, in the system. In standard Proctor tests, a decrease in maximum dry bulk density values was recorded due to the light and porous structure of coffee waste. In contrast, optimum water content values varied depending on physical water absorption capacity. In physicochemical analyses, it was determined that the highly alkaline nature of marble powder and the organic components of coffee waste directly affected the pH balance of the mixtures. The study demonstrates that, without focusing on a chemical reaction, the physical filling effect, lightening properties, and pH balance of the waste components can be used as alternative stabilization agents to reduce the water sensitivity of soils and to produce lightweight fill materials.
Keywords: Coffee Waste, Marble Dust, Bentonite, Waste Utilization in Soil, Consistency Limits, Compaction

1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliği uygulamalarında, kuru haldeyken yüksek kayma mukavemetine sahip olan ancak su ile temas ettiklerinde bu dayanımı hızla kaybederek hacimsel değişime uğrayan zeminler, "sorunlu veya çöken zeminler" olarak tanımlanmaktadır [1]. Özellikle montmorillonit, illit ve vermikülit gibi smektit grubu kil minerallerini yüksek oranda barındıran zeminler, nem içeriğindeki dalgalanmalara karşı aşırı duyarlılık göstermekte ve bu durum yapılarda farklı oturmalara, yaygın çatlaklara, temel kuruluklarında dengesizliğe ve yapısal göçmelere yol açmaktadır [2,3,4,5,6]. Zemin yapısı, kil mineralojisi, kuru birim hacim ağırlığı ve çevre koşulları gibi parametreler bu tür zeminlerin geoteknik davranışını doğrudan yönetmektedir [7,8,9]. Dolayısıyla, üstyapı yüklerini güvenli bir şekilde taşıyamayan bu zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir.
Geleneksel zemin iyileştirme yöntemlerinde kireç, çimento, taş kolonlar, kimyasal enjeksiyonlar ile metal şeritler ve geosentetikler gibi primer hammaddeler yaygın olarak kullanılmaktadır [10,11,12,13]. Ancak bu malzemelerin yüksek tedarik maliyetleri, üretim süreçlerindeki yoğun enerji tüketimi ve yüksek karbon ayak izleri, sürdürülebilir ve ekonomik zemin iyileştirme arayışlarını hızlandırmıştır [14,15]. Bu doğrultuda, endüstriyel ve evsel katı atıkların zemin stabilizasyonunda alternatif bağlayıcı veya dolgu malzemesi olarak geri kazanılması hem çevresel kirliliğin azaltılması hem de döngüsel ekonomi modellerinin desteklenmesi açısından büyük önem taşımaktadır [15,16].
Atık mermer tozu (MT) takviye olarak veya hammadde olarak birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları; tuğla, yapı malzemeleri, seramik, sızdırmazlık, filtrasyon, karayolu uygulamalarında ve dolgu malzemesi gibi örnekler verilebilir [1]. Mermer endüstrisinin önemli bir yan ürünü olan atık mermer tozu (MT), yüksek kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) içeriği ve plastik olmayan yapısı nedeniyle son yıllarda zemin iyileştirme çalışmalarında da sıklıkla tercih edilmektedir [17,18]. Literatürde yapılan çalışmalarda, sorunlu zeminlere MT ilave edilmesinin likit limit (LL) ve plastisite indisinde (PI) belirgin düşüşler sağladığı, zeminlerin diferansiyel serbest şişme potansiyelini önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir [6,19]. Mermer tozunun matris içerisinde plastik özellikleri seyreltici etkisi ve fiziksel dolgu yapısı, zeminlerin işlenebilirliğini artırırken proje maliyetlerini de düşürmektedir [1,20].
Diğer taraftan, küresel ölçekte büyük hacimlerde üretilen ve organik katı atık sınıfında yer alan kahve atıkları (atık kahve telvesi ve kahve kabuğu külleri), geoteknik mühendisliğinde yenilikçi bir katkı malzemesi olarak dikkat çekmektedir [21,22]. Yapılan güncel araştırmalar, kurutulmuş kahve atığı tozu (KAT) veya kahve kabuğu küllerinin killi zeminlerin kayma dayanımını artırdığını, sıkışma davranışını düzenlediğini ve geçirimsiz dolgu/astar sistemlerinde hafifletici bileşen olarak kullanılabileceğini göstermektedir [23,24].

Kahve atığının gözenekli, mikro hücresel morfolojisi ve içeriğindeki organik bileşenler, killi sistemlerin su emme kapasitesini, birim hacim ağırlığını ve pH dengesine doğrudan etki edebilecek potansiyele sahiptir [25,26]. Ancak, kahve atıklarının mermer tozu ile birlikte kompozit bir sistem halinde saf bentonit kili üzerindeki etkilerini ve fiziko-kimyasal sınırlarını inceleyen çalışmalar literatürde oldukça sınırlıdır [27,28].

Bu çalışmada, evsel kahve atığı tozu (KAT) ve endüstriyel mermer tozunun (MT), yüksek plastisiteye sahip Na-Bentonit kilinin temel geoteknik ve indeks özellikleri üzerindeki ortak etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla hazırlanan farklı karışım numuneleri (BMK) üzerinde özgül ağırlık (Gs), Atterberg kıvam limitleri (LL, PL, PI), kompaksiyon parametreleri (maksimum kuru birim hacim ağırlık-MDD ve optimum su içeriği-OMC) ve pH değişimleri belirlenmiştir. Çalışma, herhangi bir kimyasal reaksiyon odağına gereksinim duymaksızın, iki farklı atık türünün fiziksel dolgu, seyreltme ve hafifletme potansiyellerini ortaya koyarak, çevre dostu alternatif bir hafif dolgu malzemesi üretimine katkı sunmayı hedeflemektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Bentonit, Mermer Tozu ve Kahve Atığı

Çalışmalarda kullanılan bentonit (BC) ticari olarak elde edilmiş Na-Bentonittir. Mermer Tozu (MT) yine ticari olarak elde edilmiştir. Kahve atıkları şehir merkezinde yer alan kafelerden temin edilmiştir. Toplanan kahve atıkları laboratuvarda oda sıcaklığında kurutulmuş sonrasında etüvde 50°C'de 72 saat süresinde kurutularak kullanılmıştır. BC ve MT temel fiziksel özellikleri ve pH değerleri İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Kaya Mekaniği Laboratuvarında belirlenmiştir. Tablo 1'de BC ve MT fiziksel özellikleri ve ölçülen pH değerleri Şekil 1'de ise BC, MT ve kahve atığı (KA) görüntüleri verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan malzemelerin temel fiziksel özellikleri

Özellikler	Bentonit	Mermer Tozu
Gs	2,324	2,635
Çakıl (%)	-	-
Kum (%)	-	39,20
İnce (%)	100	60,80
LL	218,53	NP
PL	73,63	NP
PI	144,90	NP
MDD (gr/cm^3)	1,308	2,760
OMC (%)	31	11
pH	10,16	9,08
Zemin sınıfı (USCS)	CH	ML



a. b. c.

Şekil 1. Çalışmalarda kullanılan numunelere ait görüntüler (a. BC, b. MT, c. KA)

2.2. Karışım Numunelerinin Hazırlanması

Çalışmalarda kullanılan tüm malzemeler 100 nolu elekten (0,0149mm) elenerek kullanılmıştır. Karışım numunelerinin hazırlanmasında kullanılan oranlar ve semboller Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. BMK karışım oranları ve kullanılan semboller

Malzeme	Karışım oranları (%)			
	BMK-0	BMK-5	BMK-7	BMK-9
BC	60	60	60	60
MT	20	15	13	11
PK	0	5	7	9

2.3. Çalışmalarda Kullanılan malzemeler ve karışım numuneleri üzerinde yapılan deneyler

2.3.1. Özgül Ağırlık Deneyi

Karışımlarda kullanılan malzemelerin (BC, MD ve CW) temel özgür ağılıklarını belirlemek ve farklı oranlarda karıştırılan kahve atıklarının karışımlardaki etkisini hesaplayabilmek amacıyla tüm numuneler üzerinde ASTM D854 standardına uygun olarak 3 tekrar halinde özgül ağırlık deneyleri yapılmış ve ortalama değerler kullanılmıştır [29].

2.3.2. Kıvam Limitleri Deneyi

Çalışmalarda kullanılan bentonit ile karıştırılan mermer tozunun, bentonitin kıvamı üzerindeki etkisi yanında, farklı oranlarda kullanılan (%0-5-7-9) kahve atıklarının bentonit ve mermer tozu karışımı üzerindeki etkisi de ortaya konulmuştur. Likit Limit (LL) deneyi Cassagrande aleti kullanılarak 4 tekrar ile yapılmıştır. Plastik limit deneyi manuel olarak 4 tekrar ile yapılmış ve ortalama değer kullanılmıştır. PI değeri ise PL değerinin LL değerinden çıkartılması ile elde edilmiştir. Karışım bileşenlerinin ve hazırlanan tüm karışımların Kıvam Limitleri deneyleri ASTM D 4318 standardına uygun olarak yapılmıştır [30].

2.3.3. Kompaksiyon Deneyi

Deneylerde, 2,5 kg tokmak kullanılmış ve serbest düşme ile 3 eşit katman 25 vuruş ile sıkıştırılmıştır. Farklı su içeriklerinde deneyler 5 tekrar yapılarak, maksimum kuru birim hacim ağırlık (MDD) ve optimum su içeriği (OMC) değerleri elde edilmiştir.

Bentonit (BC), mermer tozu ve bunların sabit karışımına (%60 BC + %40 MD) farklı oranlarda (%0, %5, %7,5 ve %10) kahve atığı tozu (KAT) ilave edilerek hazırlanan numunelerin MDD ve OMC değerleri tespit edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda, farklı KA oranlarının sıkışma davranışı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Karışım bileşenlerinin ve hazırlanan tüm karışımların kompaksiyon (Standard Proktor) deneyleri ASTM D 4318 (2000) standardına uygun olarak yapılmıştır [31].

2.3.4. pH Deneyi

Çalışmalarda kullanılan bentonit, mermer tozu ve karışım numunelerinin pH ölçümleri yapılarak Tablo1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin ve karışım numunelerinin fiziksel özellikleri ve ölçülen pH değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

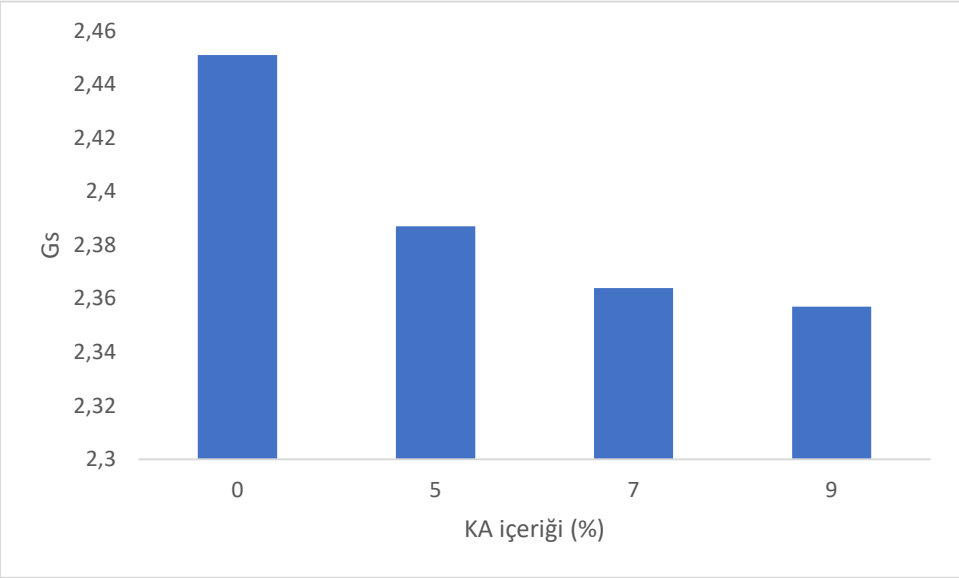
Tablo 3. BMK karışım numuneleri deney sonuçları

	Gs	LL	PL	PI	OMC	MDD	pH
Bentonit (BC)	2,324	218,53	73,63	144,90	31	1,308	10,16
Mermer Tozu (MT)	2,635	NP	NP	NP	11	2,760	9,08
BMK-0	2,451	147,66	31,24	116,42	19	1,606	11,82
BMK-5	2,387	137,89	46,58	91,30	23	1,500	11,69
BMK-7	2,364	119,20	44,76	74,44	25	1,402	11,62
BMK-9	2,357	110,47	38,03	72,43	26,5	1,308	11,38

3.1. İndeks ve Kompaksiyon Özellikleri

3.1.1. Özgül Ağırlık Deney Sonuçları

Karışım numunelerine ait özgül ağırlık (Gs) deney sonuçları Tablo 3'de ve Şekil 2'de verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde karışım numunelerinde KA miktarının artmasına bağlı olarak Gs değerlerinde azalma görülmektedir (Şekil 2).

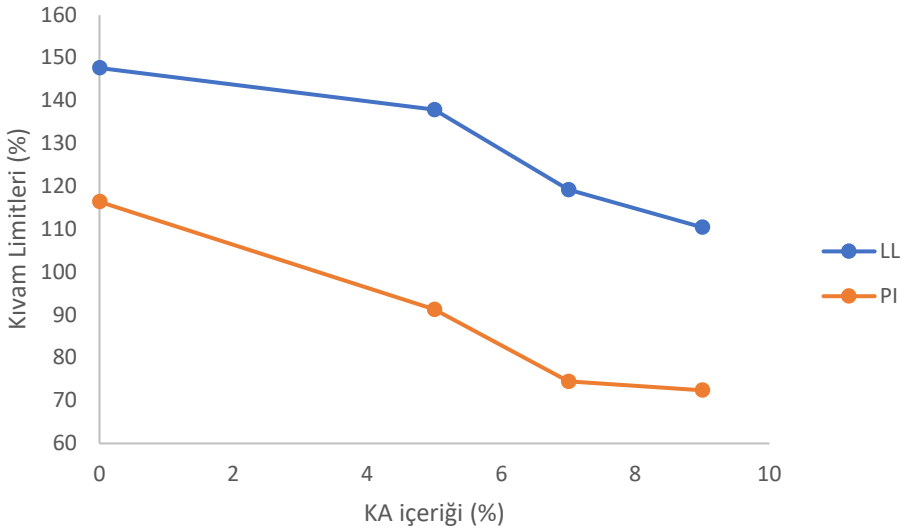


Şekil 2. BMK karışım numuneleri Özgül Ağırlık deney sonuçları

Kahve atığı tozunun özgül ağırlık değeri yaklaşık 0,70'dir [21]. Karışım numunelerinde kahve atığı tozunun artmasına bağlı olarak Gs değerlerinin düşmesi beklenen bir durumdur. Kendisinden daha yüksek özgül ağırlığa sahip bir malzeme (BC, MT) ile karıştırıldığında, karışımın (BMK) Gs değeri düşer.

3.1.2. Kıvam Limitleri Deney Sonuçları

Karışım numunelerine ait Atterberg kıvam limitleri deney sonuçları Tablo 2'de ve Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. BMK karışım numuneleri kıvam limitleri (LL ve PI) deney sonuçları

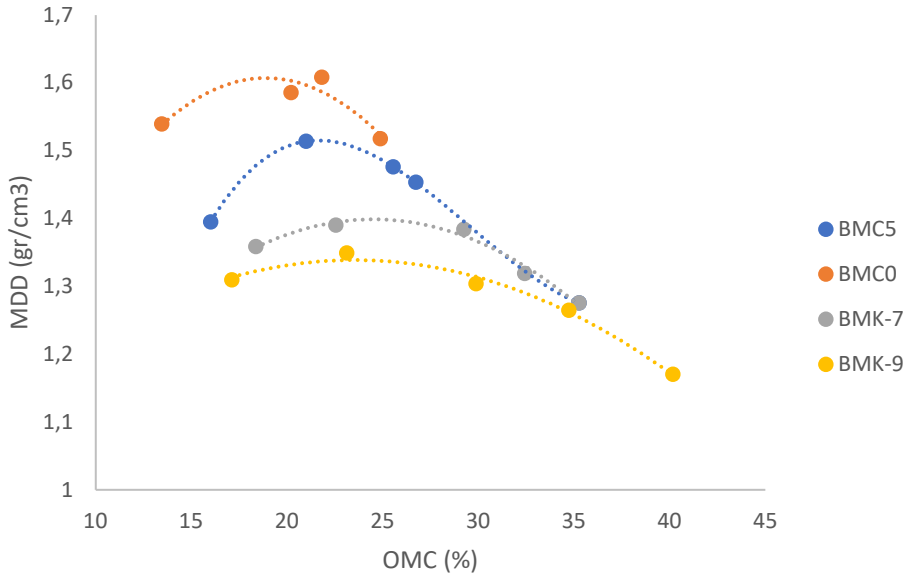
Deney sonuçlarına göre karışım numunelerinin KA içeriği arttıkça LL ve PI değerlerinde düşüm elde edilmiştir. Ayrıca kullanılan kahve atığı tozunun plastik özellik göstermediği belirlenmiştir.

Likit limit (LL), zeminin plastik durumdan sıvı duruma geçtiği su içeriğini; plastik limit (PL) ise plastik özelliğin başladığı sınır su içeriğini ifade etmektedir. Karışımlardaki kahve atığı tozu (KAT) oranının artışına bağlı olarak LL değerlerinde gözlenen azalım, numunelerin sıvı faza geçmek için daha düşük oranda suya ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, KAT ilavesinin karışımların kimyasal yapısını değiştirerek hem plastik hem de likit limitler için gerekli su miktarını düşürmüştür.

Saf bentonitin LL ve plastisite indeksi (PI) değerleri sırasıyla %218,53 ve %144,90 olarak belirlenmiş, mermer tozunun (MT) ise plastik olmayan (NP) özellik gösterdiği belirlenmiştir. Hazırlanan karışımlarda MT kullanımı sonucunda, KAT içermeyen referans numunesinde (BMK-0) LL değeri %32,43 oranında azalırken, %9 KAT içerikli numunede (BMP-9) bu azalım %49,44 seviyesine ulaşmıştır. PI değerlerinde ise düşüş oranı BMP-0 numunesinde %19,65, BMP-9 numunesinde ise %50,01 olarak belirlenmiştir. Yüksek oranda kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) içeren ve plastik özellik taşımayan MT, doğal bir sonuç olarak karışımların genel plastisitesini düşürücü etki yapmıştır. Ayrıca karışımlara ilave edilen KAT miktarı arttıkça %9 KA içeriğinde en yüksek düşüm değerleri elde edilmiştir. Kuru kahve atığı kullanımı ile bentonitin şişme potansiyelini kısıtlandığı söylenebilir.

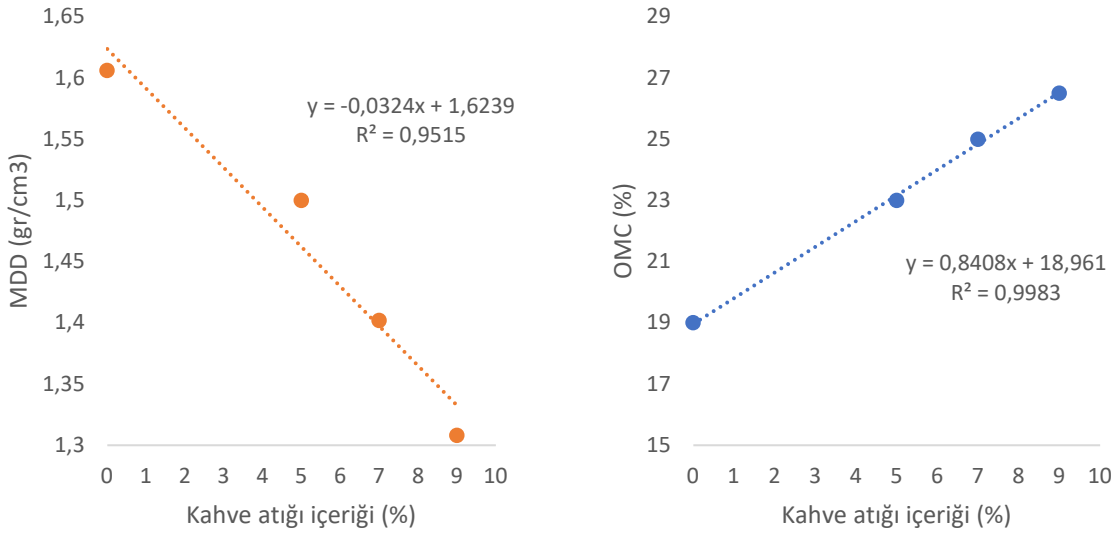
3.3.3. Kompaksiyon Deney Sonuçları

Karışım numunelerine ait kompaksiyon deney sonuçları Tablo 2'de ve Şekil 4 ve 5'de verilmiştir.



Şekil 4. BMK karışım numuneleri kompaksiyon deney sonuçları

Şekil 4 incelendiğinde KAT içerikleri arttıkça eğrinin tepe noktasının sağa ve aşağı doğru yaklaştığı görülmektedir. Bu durum, karışımlardaki kahve atığı miktarının artmasıyla karışımın maksimum sıkışması (MDD) için gereken su miktarının (OMC) arttığı görülmektedir.



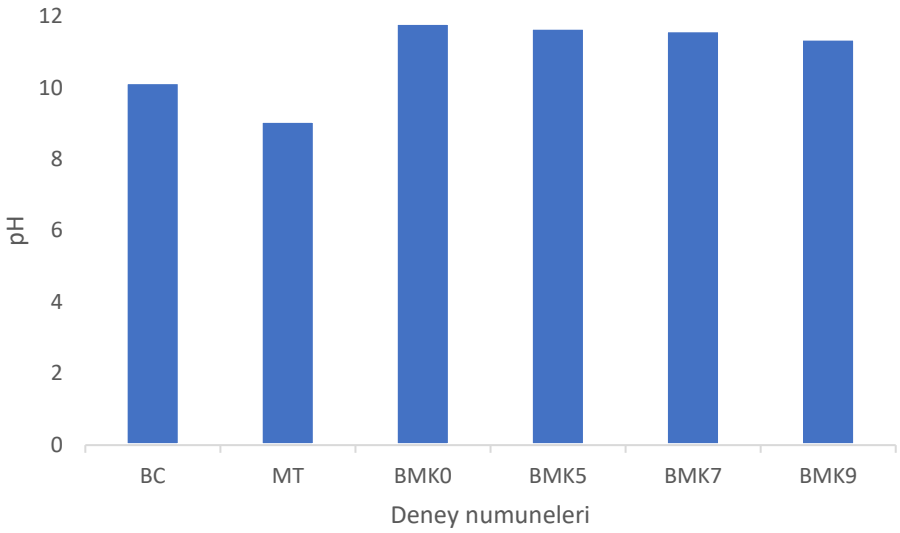
a. b.

Şekil 5. BMK numuneleri karışım numuneleri (a.) maksimum kuru birim hacim (MDD) (b.) optimum su içeriği (OMC) değerleri

Şekil 5a incelendiğinde %0 KAT içeriğinde MDD değeri 1,606 gr/cm^3 iken, %9 KAT içeriğinde (BMK9) bu değer 1,308 gr/cm^3 değerine düşmüştür. Şekil 5a'ya göre belirlilik katsayısının (R^2 = 0,9515) gibi yüksek bir değerde olması, kahve atığı artışının MDD'deki düşüşü %95 oranında doğrudan açıkladığını ve aralarında güçlü bir negatif ilişki olduğunu göstermektedir.
Şekil 5b ise karışımlardaki kahve atığı içeriğinin artmasına bağlı olarak maksimum sıkışması için ihtiyaç duyulan su içeriğinin (OMC) arttığı görülmektedir. Şekil 5b'ye göre belirlilik katsayısının (R^2 = 0,9983) gibi yüksek bir değerde olması, kahve atığı artışının OMD değerindeki artışı %99,83 oranında doğrudan açıkladığını ve aralarında güçlü bir pozitif ilişki olduğunu göstermektedir. KAT kullanımı ile artan su ihtiyacı, organik stabilizatörlerin gözenekli ve emici özelliklerinin doğrudan bir sonucudur [21,32].

3.3.4. pH Deney Sonuçları

Çalışmalarda kullanılan BC, MT ve Karışım numuneleri üzerinde pH ölçümleri yapılarak Tablo 1, Tablo 3 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Deney numuneleri pH değerleri

Şekil 6 incelendiğinde karışım numunelerinin pH değerleri BC (10,16) ve MT (9,08) pH değerlerinden yüksek çıkmıştır. Kahve atığı içermeyen ve %60 BC ve %40 MT içeren BMK0 numunesinde pH değeri 11,82 iken karışımlardaki kahve atığı miktarının artmasına bağlı olarak gittikçe azalarak, %9 KAT içeriğinde (BMK9) pH değeri 11,32'ye düşmüştür. Kahve atığı organik asitler içerdiğinden asidiktir. pH değeri 4,8-6,8 arasındadır. Kullanılan kahve miktarı arttıkça ortamın pH değerinin düşmesi beklenen bir durumdur.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, atık değerlendirme kapsamında kurutulmuş kahve atığı tozu (KAT) ve mermer tozunun (MT), yüksek plastisiteye ve şişme özelliğine sahip Na-Bentonit (BC) kilinin geoteknik ve indeks özellikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen temel bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Özgül Ağırlık (Gs): Kahve atığı içeriğinin artmasına bağlı olarak BMK karışımlarının Gs değerleri düşmeye başlamıştır. Yaklaşık 0,70 Gs değerine sahip kahve atığının kendisinden daha yüksek Gs değerindeki diğer malzemelerle karıştırıldığında karışımın Gs değerini düşürmesi beklenen bir durumdur.
- Kıvam Limitleri (LL, PL, PI): Karışımdaki KAT miktarı arttıkça, likit limit (LL) ve plastisite indisi (PI) değerlerinde belirgin düşüşler gözlenmiştir. Saf bentonitin %218,53 olan LL değeri, %9 KAT içeren BMK-9 numunesinde %110,47'ye gerilemiştir. Bu azalım, mermer tozunun plastisiteyi seyreltme etkisi ve KAT'ın kil parçacıkları arasında mekanik bir bariyer oluşturarak su tutma kapasitesini sınırlandırmasıyla açıklanmaktadır.
- Kompaksiyon Özellikleri: Standart Proktor deney sonuçlarına göre, KAT içeriğinin artmasıyla birlikte maksimum kuru birim hacim ağırlık (MDD) değerleri düşerken, optimum su içeriği (OMC) değerleri artış göstermiştir. KAT'ın hafif ve gözenekli yapısı birim ağırlığı düşürürken, yüksek fiziksel su emme kapasitesi kompakt yapı için gerekli su ihtiyacını (OMC) %19'dan %26,5'e yükseltmiştir.
- KAT artışı ile MDD değerleri arasında %95 doğrulukla azalan, OMC arasında ise %99,83 doğrulukla artan bir ilişki vardır.
- pH Değişimi: Kahve atığı içermeyen referans numunesinin (BMK-0) pH değeri 11,82 iken, KAT miktarının artışına bağlı olarak bu değer BMK-9 numunesinde 11,38'e gerilemiştir. Bu durum, kahve atığının yapısında bulunan organik asitlerin alkali ortamı kısmen nötralize etme eğiliminden kaynaklanmaktadır.

Özetle bu çalışma; atık kahve ve mermer tozunun, tamamen fiziksel dolgu etkisi ve hafifletici özellikleri sayesinde sorunlu zeminlerin su hassasiyetini düşürmede başarıyla kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Elde edilen kompozit malzemeler, geoteknik mühendisliği uygulamalarında özellikle hafif dolgu malzemesi üretimi ve sürdürülebilir zemin stabilizasyonu için alternatif ve çevre dostu karışım olarak yüksek kullanım potansiyeline sahiptir. Söz konusu karışım malzemesinin uzun dönem performanslarının daha net anlaşılabilmesi adına, bu indeks ve kompaksiyon verilerinin ilerleyen çalışmalarda mekanik (kayma mukavemeti, CBR, konsolidasyon vb.) ve mikro-yapısal (SEM, XRD, FTIR vb.) analizlerle desteklenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Waheed, A., Arshid, M. U., Khalid, R. A., & Gardezi, S. S. S. (2021). Soil improvement using waste marble dust for sustainable development. *Civil Engineering Journal*, *7*(9), 1594-1607.

2. Choksi, R., Mishra, C., & Patel, N. (2018). Pursuance of waste marble powder to improve soil stabilization. *Int. Res. J. Eng. Technol.(IRJET)*,*5*(5), 1695-1698.

3. Chen, F.H., 1975. Foundation on expansive soils. Elsevier Science, Amsterdam, the Netherlands, pp. 345–356.,

4. Chu, T.Y., Mou, C.H., 1973. Volume change characteristics of expansive soils determined by controlled suction. Proceeding of 3rd International Conference on Expansive Soil, Haifa, pp. 177–185.

5. Aneke, F. I., Onyelowe, K. C., Ebid, A. M., Nwobia, L. I., & Adu, J. T. (2022). Predictive models of swelling stress—a comparative study between BP-and GRG-ANN. *Arabian Journal of Geosciences*, *15*(17), 1438.

6. Jain, A. K., & Jha, A. K. (2020). Geotechnical behaviour and micro-analyses of expansive soil amended with marble dust. *Soils and Foundations*, *60*(4), 737-751

7. Almuaythir, S., Zaini, M. S. I., Hasan, M., & Hoque, M. I. (2024). Sustainable soil stabilization using industrial waste ash: Enhancing expansive clay properties. *Heliyon*, *10*(20).

8. Vijayan, D. S., & Parthiban, D. (2020). Effect of Solid waste based stabilizing material for strengthening of Expansive soil-A review. *Environmental Technology & Innovation*, *20*, 101108.

9. Al-Rawas, A.A., Wahid Hago, A., Corcoran, T.C., Al-Ghafri, K.M., 1998. Properties of Omani artificial pozzolana (sarooj). Appl. Clay Sci. 13 (4), 275–292.

10. Dagliya, M., Satyam, N., & Garg, A. (2023). Desert sand stabilization using biopolymers. *Smart Construction and Sustainable Cities*, *1*(1), 5.

11. Vieira, C. S. (2022). Sustainability in geotechnics through the use of environmentally friendly materials. *Sustainability*, *14*(3), 1155.

12. Zagvozda, M., Rukavina, T., & Dimter, S. (2022). Wood bioash effect as lime replacement in the stabilisation of different clay subgrades. *International Journal of Pavement Engineering*, *23*(8), 2543-2553.

13. Ferdous, W., Manalo, A., Siddique, R., Mendis, P., Zhuge, Y., Wong, H. S., ... & Schubel, P. (2021). Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction–A review on global waste generation, performance, application and future opportunities. *Resources, Conservation and Recycling*, *173*, 105745.

14. Petrillo, A., Fraternali, F., Acampora, A., Di Chiara, G., Colangelo, F., & Farina, I. (2025). Innovative solidification and stabilization techniques using industrial by-products for soil remediation. *Applied Sciences*, *15*(7), 4002.

15. Liu, C. H., & Hung, C. (2023). Reutilization of solid wastes to improve the hydromechanical and mechanical behaviors of soils—a state-of-the-art review. *Sustainable Environment Research*, *33*(1), 17.

16. Devlet, H., & Ordu, E. (2025). The Effects of Waste Tire Materials and Aerated Concrete Additives for Innovative Soil Stabilization. *Buildings*, *15*(19), 3488.

17. Jassim, N. W., Hassan, H. A., Mohammed, H. A., & Fattah, M. Y. (2022). Utilization of waste marble powder as sustainable stabilization materials for subgrade layer. *Results in Engineering*, *14*, 100436.

18. Jain, A. K. (2024). Exploring the viability of Bentonite-amended blends incorporating marble dust, sand, and fly ash for the creation of an environmentally sustainable landfill liner system. *International Journal of Geo-Engineering*, *15*(1), 16.

19. Singh, P. S., & Yadav, R. K. (2014). Effect of marble dust on index properties of black cotton soil. *Int J Engg Res Sci Tech*, *3*, 158-63.

20. Abdelkader, H. A., Hussein, M. M., & Ye, H. (2021). Influence of waste marble dust on the improvement of expansive clay soils. *Advances in Civil Engineering*, *2021*(1), 3192122.

21. Dehghanian, K., & Dinc, B. K. (2025). Sustainable soil improvement using waste coffee powder for ecofriendly engineering solutions. *Discover Civil Engineering*, *2*(1), 191.

22. Riascos-Caipe, M., Mora-Ruiz, V., Nieto-Castañeda, F., Hernández-García, A., & Herrera-Vargas, M. (2025). Evaluation of clay soil stabilization with coffee husk ash for sustainable geotechnical applications. *Matéria (Rio de Janeiro)*, *30*, e20250049.

23. Munirwan, R. P., Taha, M. R., Mohd Taib, A., & Munirwansyah, M. (2022). Shear strength improvement of clay soil stabilized by coffee husk ash. *Applied Sciences*, *12*(11), 5542.

24. Atahu, M. K., Saathoff, F., & Gebissa, A. (2019). Strength and compressibility behaviors of expansive soil treated with coffee husk ash. *Journal of rock mechanics and geotechnical engineering*, *11*(2), 337-348.

25. Baldovino, J. J., dos Santos Izzo, R. L., & Millan-Paramo, L. (2022). Reinforcing spent coffee grounds for geotechnical applications. *Eng. Lett*, *30*(3), 119-126.

26. Al-Sawwafi, Z., & Prendergast-Miller, M. (2025, July). Assessing the Effect of Spent Coffee Grounds Compost on the Chemical, Physical, and Biological Properties in an Urban Soil. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1520, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.

27. Kua, T. A., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., Du, Y. J., & Suksiripattanapong, C. (2017). Engineering and environmental evaluation of spent coffee grounds stabilized with industrial by-products as a road subgrade material. *Clean technologies and environmental policy*, *19*(1), 63-75.

28. Tessema, A. T., Wolelaw, N. M., Abebe, A. E., Alene, G. A., & Abeje, B. T. (2023). Utilization of Coffee Husk Ash on the Geotechnical Properties of Gypsum-Stabilized Expansive Clayey Soil. *Advances in Civil Engineering*, *2023*(1), 3101774.

29. ASTM D854 (2014), Standard test methods for specific gravity of soil solids by water Pycnometer, Philadelphia.

30. ASTM D4318, (2000) Standard test methods for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils. Annual book of American Society for Testing and Material standards, West Conshohocken, United States

31. ASTM D698, 2003. Standard practice for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12 400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3))., Book of Standards Volume: 04.08

32. Jamil, M. A. B., & Hayano, K. (2024, October). Fundamental study on consistency, compaction, and strength properties of soils treated with rice husk ash. In *International Conference on Transportation Geotechnics* (pp. 23-31). Singapore: Springer Nature Singapore.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

DÖRT ELEMENT İLE KUANTUM ALANINDA OLUŞUMUN YERÇEKİMİNE ETKİSİ

Hülya BİRGİ
İzmir Kavram Üniversitesi
ORCID: 0009-0008-8321-2557

ÖZET

Aristoteles'in tekerlek paradoksuna göre büyük ve küçük iki tekerlek iç içe hareket ettirildiğinde iç tekerleğin aslında hareketsiz bir hareket ortaya çıkardığını ve dış tekerleğin izini takip ettiğini bizlere yaptığı deneyde göstermiştir. Fakat referans noktasının büyük tekerlek değil küçük tekerlek olarak dikkate alınırsa küçük tekerleğin hareket ettiği düşünülür.O zaman burada ki düşünce sadece referans noktalarının değiştirilmesiyle algının değişmesidir.Aristoteles'in diğer bir düşünce deneyi ise dört element üzerinden yerçekimini açıklamasıdır.Bunlar su, toprak, hava ve ateştir. Fakat beşinci bir element olan eter dediğimiz ve yıldızların içerisindeki oluşumun devam ettiği elektronların hareketiyle değişiklik kazanması ve dünya ile uzaydaki yerçekiminin farklılığı üzerinde bir düşünce geliştirmesidir. Burada ki eter ise plazmadır.Yani maddenin plazma halidir.Kuantum alanında yerçekiminin sadece ağırlığa bağlı olmadığını ve dalga boylarının ise kuantum alanında kütle özelliği ile yerçekimini kullandığını gösteren tohumun oluşumunu inceleyerek aslında dört elementin yerçekimini gravito'nun maddenin oluşum halinden farklı bir davranış sergilediğini görmüş olacağız.Tohumun toprak ve su ile etkileşiminde toprağın içerisinde yön veren ve aşağıya doğru köklenmeyi sağlayan kendi DNA 'sına ait uv alanını okuyabilen bitkilerin bu sinir hücrelerine sahip olmalarıdır.Toprağın altında ısının olmadığı alanda sadece elektromanyetik dalgaların kısa dalga boyunu kullanan tohum suyun içerisindeki dalga boylarında bu olayın aşağı spinlerin hareketini demir atomunun içerisindeki enerjileri ilk oluşum(plazma) halinde kullanarak soğuma ile kuantum alanında kütle özelliği kazanmalarıyla yapmalarıdır. Kısaca elektronların foton ışığı almadıklarında dalga boylarındaki tau-müon-nötrino bilgisini yıldızlardaki atomların hareketindeki plazma özelliğini ortaya çıkardıklarıdır.yine aynı şekilde güneşin ısısını ise kuantum alanında yapraklarındaki suyun buharlaşmasıyla oluşumun plazma halinde yerçekimene karşı uzayabildikleridir..yerçekimini mikro seviyede kullanmalarının sebebi ise uv alanını sinir uçlarıyla gözlemleyebilmeleridir.Bu durum onların ılık dediğimiz soğuk ve sıcağın geçişindeki zaman dilimini yavaş kullanarak kuantum alanında oluşum öncesi ve sonrasında yerçekimini en doğru şekilde kullandıklarını göstermektedir.Galileo'nun tüy ve demir çubuk ile deneyinde uzayda ve dünyada yapılan yerçekimini farkının dünyanın atmosferinin etkisinde ve güneşin katı maddeye çarparak yansıması havanın ılımasına (sıcak ve soğuk geçişin yavaşlamasına) atomların tuy üzerinde sürtünme kuvvetiyle yavaş bir şekilde yere süzülmelerini sağlamaktadır.Yine bitkinin oluşum anında bu havadaki sürtünme kuvvetini kullanmaları ve bitkinin yukarı doğru büyümeyi sağlarken sabit kalabildiklerinide göstermektedir. Oluşum tamamlandıktan sonra ise yerçekimini ağırlığa bağlı olarak kullanmalarıdır.Aynı zamanda yüzeyde uzun dalga boyunda ısıyı alarak köklerinde bulunan bakterilere doğru enerji ile nem sağlayabilmeleridir.Gündüz aynı zamanda elektronların bir pil gibi çalışarak kinetik enerji biriktirerek gece ısı ve ışığın olmadığı alanda bakteriler için yine uygun ortamı sağlayabilmeleridir bu enerjiyi ise fotosentez yaparak sağlamalarıyla büyümelerini güvenli bir şekilde devam ettirmelerini sağlamaktadır.

Bitkinin kuantum alanında yerçekimini DNA bilgisindeki oluşumu referans noktası olarak kullandıkları konusundaki kısaca bilgilerimi , saygılarımla tarafınıza sunarım.

Anahtar Kelimeler: Anahtar kelimeler; Bitklerde DNA'nın potansiyel evren ile etkileşimini UV dalga boylarıyla gözlemci yapıda ısı alanlarını doğru kullanabilecek fotoreseptörlere sahip olmaları dünya-ay- güneşin manyetik alanlarını atom altında enerjilerini dengede kullanabilme , kuantum oluşum ve sonrasına ait bilgileri spiral yapıda ,termodinamiğin 2. Yasasından farklı olarak soğuk alandan sıcak alana geçebilmeleri ,DNA'nın çevreye göre bilgilerini ortaya çıkarabilme özelliği ve yerçekimine uygulanan kütle çekim kuvvetini çevre koşullarına uygun kullanabilme.
suyun faz geçişlerinde hidrojen ve oksijen atomlarının enerjilerine bağlı olarak kütle çekimi kuvvetini parçacık ile ilişkisinde yerçekimindeki ağırlığa olan etkisini farklı kullanabilmeleri.

THE EFFECT OF FORMATION IN THE QUANTUM FIELD ON GRAVITY THROUGH THE FOUR ELEMENTS

ABSTRACT

According to Aristotle's wheel paradox, when a large and a small wheel move together while positioned concentrically, the inner wheel appears to produce a motion that is, in a sense, motionless, while following the path of the outer wheel. However, if the reference point is considered to be the small wheel rather than the large wheel, the small wheel can be perceived as moving differently. Therefore, the main idea here is that our perception of motion changes simply by changing the reference point.

Another philosophical thought experiment associated with Aristotle concerns the explanation of gravity through the four elements: water, earth, air, and fire. However, a fifth element, called ether, was also proposed. In this context, I consider the concept of ether in relation to plasma, the plasma state of matter. The movement and interactions of particles within stars, and the differences between gravitational conditions on Earth and in space, may provide a basis for further consideration.By examining the formation and development of a seed, it may be possible to consider whether gravity in the quantum domain is influenced not only by weight, but also by the physical properties and interactions of matter. In this perspective, the four elements may exhibit different behaviors during the formation of matter, and these behaviors may be considered in relation to hypothetical gravitational or quantum-field processes.

During the interaction of a seed with soil and water, the plant develops roots that grow downward into the soil. Plants are capable of responding to various environmental signals, including gravity, light, moisture, and chemical gradients. In this context, the genetic information contained within DNA may be considered an important reference system governing the formation and directional development of the plant.

The growth of roots and shoots may therefore be examined as a process involving biological information, electromagnetic interactions, environmental signals, and gravitational orientation. The seed develops within an environment where temperature, water, minerals, and electromagnetic radiation may influence its growth.From a theoretical perspective, the interactions of atoms, electrons, photons, and other elementary particles may be considered within the framework of quantum fields. The properties of matter emerge through complex interactions between particles and fields. Plasma, which is a highly energetic state of matter consisting of charged particles, is commonly found in stars and other high-energy environments.The behavior of particles in plasma and the processes occurring within stars may therefore provide an interesting comparison with the formation and transformation of matter.

Changes in energy states, particle interactions, electromagnetic radiation, and the transition between different states of matter may all be examined within the broader framework of quantum physics.Similarly, plants use solar energy during photosynthesis. Water within the leaves is involved in evaporation and transpiration, processes that contribute to the movement of water and nutrients throughout the plant. Through these mechanisms, plants are able to grow upward while their roots remain anchored in the soil.At the microscopic level, biological systems continuously interact with electromagnetic radiation and environmental energy. Plants are particularly sensitive to light, including ultraviolet radiation and other wavelengths of the electromagnetic spectrum. These interactions may influence biological processes, growth, and development.The transition between cold and warm conditions also affects the movement of molecules and the rate of biological and physical processes. Temperature influences atomic motion, chemical reactions, and the physical properties of matter. Therefore, transitional temperature ranges may play an important role in the development and adaptation of living organisms.

Galileo's famous thought experiments concerning objects of different masses, such as a feather and a metal object, demonstrated the importance of air resistance. In a vacuum, objects fall with the same acceleration regardless of their mass. On Earth, however, the atmosphere produces air resistance, causing objects with different shapes and surface areas to fall differently.A feather falls slowly because of the interaction between its surface and the air. Frictional and aerodynamic forces oppose its motion. Similarly, plants interact continuously with their surrounding atmosphere. Air movement, humidity, temperature, and environmental resistance may influence the development and structure of a growing plant.During growth, a plant can extend upward while remaining physically stable. Its roots interact with the soil, while its stem and leaves interact with the atmosphere. After the structure of the plant is established, gravitational forces continue to act on its mass in the conventional physical sense.Plants also absorb energy from the environment and transport water, minerals, and nutrients throughout their tissues. The roots interact with microorganisms and bacteria in the soil, forming a complex biological environment. Energy obtained through photosynthesis supports the metabolic activities of the plant and contributes to its continued growth and survival.During the day, plants capture and convert solar energy through photosynthesis. This energy is stored in chemical forms and can later support biological processes when sunlight is unavailable. Through this system, plants are able to maintain metabolic activity and provide suitable conditions for the microorganisms associated with their roots.In summary, my theoretical perspective is that the formation processes encoded within the biological information of DNA may function as a reference framework for understanding how living organisms interact with gravity, electromagnetic fields, environmental energy, and quantum-scale processes.The development of a seed into a mature plant provides an interesting model for considering the relationship between matter formation, biological information, energy transfer, electromagnetic interactions, and gravity. From this perspective, the four classical elements—earth, water, air, and fire—may be reconsidered metaphorically in relation to modern concepts such as matter, energy, electromagnetic radiation, plasma, and quantum fields.I respectfully present these ideas concerning the possibility that biological formation, genetic information, quantum-scale interactions, and environmental forces may together provide an alternative perspective for considering the relationship between the formation of matter and gravity.

Keywords: UV-sensitive nerve cells in plant DNA; observer structures; quantum fields; pre- and post-formation processes; four-element wavelengths; information emergence; and the effects of gravity on plants.

Kuantum oluşumunu kullanabilen canlıların ortama göre gelişimini ve kütle çekim kuvveti ile olan ilişkilerini ve bu kuvvetin yerçekimine olan etkileriyle ilgili araştırmalarımı,spesifik düşüncelerimle anlatmaya çalışarak makalemi tarafınıza sunarım.

Sonolüminesans nedir? Evrenin işleyişinde nasıl ortaya çıkar?
Kuantum oluşum öncesi;
Yeterli yoğunluktaki bir ses dalgasının bir sıvı içindeki gaz boşluklarının hızla çökmesine ve bir ışık patlaması yaymasına neden olmasıyla oluşur.
Bu durumun aynı zamanda yıldızların ve güneşin içerisindeki hidrojen atomunun çok uzun yıllar uygun ortam oluşana kadar bekleyerek sonolüminesans yüksek ses oluşturmasıyla kuantum tünelleme yaparak bu yüksek sesin ışık olarak duvarın karşısına geçebilmesidir .Her yeni element aynı zamanda yeni bir yoğunluğun içindeki ısıyı yani kinetik enerjiyide ortaya çıkarır. Elementlerin demir atomuna geldiğinde ise yıldızın kendi içine çökmesine ve bir karadelik oluşturmasına sebep olur. Bu çökme sonrasında içlerindeki nötrinonun uzaya dağılmasını sağlar.
Kuantum oluşum sonrası ; Suyun ise yağmur döngüsüyle yoğun ısı ile buharlaşarak saf hale gelmesi yukarı yükselerek atmosferden toz halindeki nötrinoların suya karışarak tekrar yeryüzüne toprağa karışmasını sağlamaktadır. Kuantum oluşum sonrasına ait bu döngünün çan eğrisi olarak devam etmesi anı zamanda yavaş ilerlerek ılık kodlarını ortaya yukarı çıkarak ve bulutlarda belli süre beklemesiyle ortaya çıkarmasıdır.
Topraktan yaratılmış canlıların , hidrojen ve oksijen atomlarını içeren suyun etkileşimiyle canlılığın sağlandığı dünyada ise canlıların kuantum alanında atomlarına baktığımızda yıldızların içerisindeki atomlardan oluştuğunu biliyoruz.
Sonolüminesans'ı kullanabilen sudan yaratılmış canlıların DNA 'larıyla bunu sağlayabilmeleri aynı zamanda kendi ısılarıyla rezone oldukları ilk yaratımdan itibaren hizalanarak hareket etmeleriyle bu durum ortaya çıkarmaktadır. Frekansın sicim teorisiyle tekilliğin içerisinde sağlanırken kuantum alanında oluşum ve oluşum sonrasını UV ve IR dalga boylarını gözlemleyebilen fotoreseptörlere sahip olmalarından dolayı gözlemci ve koruma yapıları sayesinde bunu yapabilmeleridir .
Aristoteles'in tekerlek deneyinde bu olayın net bir şekilde ortaya çıktığını görebiliriz.sonsuz potansiyel evreni dış tekerlek ,canlıların DNA 'sını ise iç tekerlek olarak kabul edersek sudan yaratılmış ve DNA 'larının bu bilginin şekil alması için gerekli enerjiyi barındırmasıyla bu durum kendi enerjisindeki bilgiyi ortaya çıkararak, görünür yapmalarıdır. Hareketi sağlayanın ise dış tekerlekten kaynaklı olduğudur fakat insan sadece görünür alan dediğimiz belli bir dalga boyunu gözlemleyebilmektedir.
oluşumun ilk hidrojen atomuyla yıldızlarda başlarken dünyada ise üreme ve gelişme olarak devam ettiğini görebiliriz. Bu gelişme ve üreme için uygun ortamın ise atmosferin varlığı ile atomların sıkıştırılması güneşin yine katı alanda yansımasıyla ortaya çıkardığı ılık kodlardır.
bunu yine Galileo'nun tüy ve demir çubuk deneyi ile incelediğimizde uzaydan farklı olarak iki cismin dünyada havanın olduğu alanda boşlukta tüyün havadaki sürtünme kuvvetini kullanarak daha yavaş hareket etmesi cismin ağırlığının havanın ağırlığından daha az olması nedeniyle havanın gaz atomlarıyla kaldırma kuvvetini kullanabilmeleridir.
bu durumda havanın bir sürtünme kuvveti ortaya çıkarmasıyla hidrojen atomlarının ilk oluşumuna ait sıcak- ılık- soğuk kodları taşıdığını bizlere göstermektedir.fakat bunu sicim teorisinde aynı frekanslı atomların bir araya gelerek müzik notası oluşturması gibi ortama bağlı olarak içlerindeki ilk hidrojen atomunun oluşumundaki elementlerin özelliklerine bağlı olarak kütle özelliğini ve kütle çekim kuvvetini kullanabilmeleridir.

Tohumun oluşumuna baktığımızda toprağın altında uygun yere ekilmesi ve aynı zamanda kendi DNA' larına ait bilgileri gözlemci olarak ortaya çıkardıklarını ve tohumun suyun plazma halinde nötrinolarını kullanarak ve soğuk alanda güneşin olmadığı ve oksijenin en az bir ortamda demir atomunun kütlesi ile dünyanın merkezindeki manyetik alanını kullanarak kütle çekim kuvvetine bağlı köklerinin yerçekimine doğru ilerlemesini sağlarken yine yukarıya yani toprağın yüzeyine doğru ilerlemesinini sağlayan zıt itme kuvvetinin ise ayın gel-git manyetik etkisinin atom altında elektronların hareketini etkilemeleriyle ortaya çıkarmalarıdır.bu durum oksijene doğru hareket ettiklerini göstermektedir.. Toprağın yeryüzüne çıktıktan sonra yine bu alanda kızılötesi uzun dalga boylarını kullanarak yapraklarındaki suyun buharlaşmasıyla havada helyum gibi hareket etmesini sağlarken yeşil renklere sahip olmalarıyla cam gibi davranan fakat aynı zamanda Zaralı ışınlara morötesi ve kızılötesi karşı koruma sağlayan özelliği ile kırmızı –mavi- mor dalga boylarını kullanmalarıdır. çok yoğun sıcaklıkta ise elektronların hareketinin değiştirerek elektronların hareketinin değişmesiyle ayın manyetik alanını kullanmalarıdır .
Kısaca ortamın sadece DNA kodlarını aktive eden ve bu sayede hidrojen atomunun ilk oluşumana ait bilgilerini kullanmalarını sağlayarak parçacığı kütle çekim kuvvetini buna bağlı kullanmasını sağlamaktadır.Dünyanın ,ayın ve güneşin manyetik etkisinin dönüşümlü olarak elektron hareketlerini değiştirerek oluşumun tekrarını sağlamaktadır.

Kaynakçalar

Hepimiz Yıldız Tohumuyuz (DAN LEVITT), EINSTEIN'DAN ÖTESİ (MICHIO KAKU)
Yaşamın Sırrı DNA (BAHRİ KARAÇAY)
İzafiyet Teorisi (ALBERT EINTAINE)
Kuantum Fiziği ve Gerçeklik (SCHÖDİNGER'İN KEDİSİ)
Temel Parçacıklar ve Fizik Yasaları (RICHHARD FEYMAN- STEVEN WEINBERG)
Fizik kullanım Klavuzu (MICHAEL BROOKS)
Elementler ,kimyanın temelleri (JAMES M.RUSSELL)

INTELLIGENT BATTERY AWARE AERIAL DRONE PATH PLANNING FOR THE AUTONOMOUS TRANSPORTATION OF MEDICINE AND FOOD DELIVERIES IN ANKARA

Muhammad SAYYAM
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0005-9203-8229

Khaliq Nazir Hassan JOYIA
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0008-3593-183X

Faraz AHMED
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0005-1691-4303

Zeeshan SAEED
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0001-5599-8985

Assistant Professor Haad AKMAL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-3666-3888

ABSTRACT
The dense urban layout of Ankara, hilly terrain, and traffic congestion delays the ground transport. An automated airborne delivery mechanism ensures rapid distribution of vital food and medicine, bypassing city gridlock to swiftly reach remote areas and emergency zones, boosting overall public health. In favor of autonomous aerial delivery, the shortest route is not naturally the safest and battery efficient route that route might consume a critical section of its available battery leaving inadequate energy for mission completion. This energy crisis becomes important when autonomous vehicle is designed to assist both medical and everyday food delivery. This study proposed a Battery Aware A*(BAA*) path planning algorithm that merges battery depletion into route selection process to improve battery efficiency. This approach evaluates the path based on estimated battery demand for any order (food or medicine) by also selecting the energy efficient path. Considering the dense metropolitan nature of Ankara, it was selected as the target city in a simulation using the maps from OpenStreetMap. BAA* is assessed against other popular algorithms like Dijkstra, Euclidean A*, Manhattan A* in terms of battery utilization. The proposed method can recognize route with more remaining energy than conventional approaches, Validating the importance of energy aware decision making for autonomous delivery platform. The study stresses the potential of battery aware routing as a pragmatic underpinning for reliable and energy efficient delivery platform.
Keywords: Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Path planning, Food and Medicine delivery, Battery-Aware A*(BAA), Ankara.

AI-BASED SMART ANKLE STRAP FOR ELDERLY GAIT MONITORING AND FALL DETECTION

Duaa KAWAL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0008-4909-9917

Muhammad Zarq AMIN
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0008-3525-8390

Shariq MEHBOOB
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0007-4200-7349

Assitant Professor Muhammad USMAN
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-1903-5548

Assistant Professor Haad AKMAL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-3666-3888

ABSTRACT
Falls are a significant issue for elderly people, specifically when they live individually or require persistent care. This study proposes an AI-Based Smart Ankle Strap for Elderly Gait Monitoring, Fall Detection, and Emergency Alerting. The presented framework is designed to monitor the movement of an elderly person steadily, recognize their behavior and gait patterns, determine possible fall events, and forward an emergency alert for helping staff and family members when a fall arises. The framework uses an MPU6050 Inertial Measurement Unit (IMU) to evaluate three-axis acceleration and angular velocity. An ESP32 is utilized for sensor data analysis and communication. Moreover, the AI part of the proposed framework is benchmarked to a publicly accessible IMU-based Human Activity Recognition dataset. Walking and sitting activities were chosen to analyze Random Forest, RNN (Recurrent Neural Network), (Convolutional Neural Network) CNN-LSTM (Long Short-Term Memory) models using 5-fold cross-validation. Random Forest obtained the highest mean accuracy of 98.80%, followed by CNN-LSTM with 98.43% and RNN with 96.06%. These observations indicate that the proposed strap can successfully distinguish basic human activities. Moreover, the same proposed framework can be used to update the existing human activity dataset by incorporating complete fall-induced movement data as well. The developed system aims to deliver continuous elderly surveillance and swift emergency notification, helping improve safety and response time after a fall.
Keywords: Elderly Care, Machine Learning, Human Activity Recognition, Random Forest, CNN-LSTM, RNN.

INTELLIGENT WEARABLE REHABILITATION MONITORING USING MULTI-POINT IMU SENSING AND MACHINE LEARNING

Masroor AHMED
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0006-6064-0079

Mahum NAFEES
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0000-1009-9671

Assistant Professor Muhammad Hasan Danish KHAN
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-4199-9984

Assitant Professor Muhammad USMAN
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-1903-5548

Assistant Professor Haad AKMAL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-3666-3888

ABSTRACT
Accurate execution of rehabilitation exercises is essential for effective motor recovery, yet conventional rehabilitation often relies on continuous supervision by trained therapists, which can limit accessibility and scalability. This study presents a wearable, sensor-based rehabilitation monitoring framework that combines multi-point inertial measurement with artificial intelligence for real-time assessment of exercise performance. The proposed device integrates four inertial measurement units (IMUs) positioned at the palm, lower arm, upper arm, and upper thoracic back region (approximately T4–T6). An ESP32 microcontroller acquires motion data from the four IMUs through a multiplexer and wirelessly transmits the measurements to a laptop via Bluetooth, where machine learning algorithms processes the data in real time. To establish a performance benchmark for the proposed system, a publicly available rehabilitation movement dataset was evaluated using standard five-fold cross validation. Initially a comparative study was performed using accuracy, precision, recall, F1-score, and confusion matrices metrics on related popular classifiers (Random Forest, XGBoost, CatBoost). In the second stage a sequential multi-level stacking architecture was proposed using these classifiers. The proposed method resulted in a good accuracy of 96.67%. These results establish a high-performance computational benchmark for the subsequent integration of the AI model with the proposed wearable sensing platform. The proposed framework aims to support more consistent exercise execution, reduce dependence on continuous supervision, and provide a foundation for accessible and data-driven rehabilitation monitoring.
Keywords: Rehabilitation Care, Machine Learning, Stacking Model XGBoost, CatBoost, Exercise, Random Forest.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EXPLAINABLE MACHINE LEARNING FOR INFLATION FORECASTING IN TÜRKIYE: ASSESSING THE PREDICTIVE ROLE OF TURKISH LIRA DEPRECIATION

Muhammad Sameer AAMIR
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0002-9785-8216

Saad QURESHI
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0006-2132-3011

Assistant Professor Haad AKMAL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-3666-3888

Assistant Professor Kubilay AYTURAN
Department of Electrical – Electronics Engineering, Gazi University
ORCID: 0000-0001-9406-4694

Professor Fırat HARDALAÇ
Department of Electrical – Electronics Engineering, Gazi University
ORCID: 0000-0003-1358-0756

ABSTRACT

A novel framework that utilizes a broad range of macroeconomic indicators and the dynamics of the depreciation of Turkish Lira (TRY) is proposed to predict inflation in Türkiye using the concepts of explainable artificial intelligence (XAI). To check this hypothesis, an early warning system is developed based on regression forecasts to predict the future inflation rates (1, 3 and 6 months ahead) by using a carefully selected set of Turkish economic indicators. The data set is monthly data from 2015-04 to 2023-07, acquired from the Central Bank of the Republic of Türkiye (TCMB) and the Turkish Statistical Institute (TURKSTAT) via Kaggle. It includes 25 key variables. Temporal dependencies are modeled by adding lag features, rolling statistics and derived FX dynamics to the feature engineering. The framework uses four regression models namely XGBoost, Decision Tree, Random Forest and a Blended Ensemble (voting regressor) with the following performance metrics being considered R^2 Score, RMSE, MAE and MAPE. The critical ablation experiment compares model performance with and without exchange rate features to estimate the contribution of exchange rate features to the model's predictive ability. The most successful model for the TRY depreciation dynamics has an R^2 of ($\leq$ 70%) when exchange rate features are included in the model, showing that depreciation of the TRY has a significant impact on improving the accuracy of the forecast of inflation. SHAP analysis gives interpretability in policy decision-making, identifying exchange rate depreciation, PPI and interest rates as key drivers of inflation. The system presents risk of inflation in four categories: Critical (>40%), High (>25%), Medium (>12%) and Low (<12%), acting as an early warning signal to the policy makers.

This research provides a general, explainable, and time-valid forecasting framework which can be applied to emerging economies under pressure of currency depreciation and inflation.

Keywords: Inflation Forecasting, Turkish Lira Depreciation, Explainable AI, Ensemble Learning, Early Warning System, SHAP Analysis, Financial Econometrics.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

AN ENSEMBLE LEARNING APPROACH IN EVALUATING THE IMPACT OF ACADEMIC PRESSURE AND LIFESTYLE ON STUDENT DEPRESSION

Muhammad Yaman HAIDER
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0001-7078-3691

Mehwish ISHFAQ
Bahria University, BSEAS, Department of Professional Psychology
ORCID: 0009-0008-3525-8390

Assistant Professor Saad Bashir ALVI
Bahria University, BSEAS, Department of Computer Science
ORCID: 0009-0007-9048-8212

Assistant Professor Haad AKMAL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-3666-3888

Assistant Professor Kubilay AYTURAN
Department of Electrical – Electronics Engineering, Gazi University
ORCID: 0000-0001-9406-4694

Professor Fırat HARDALAÇ
Department of Electrical – Electronics Engineering, Gazi University
ORCID: 0000-0003-1358-0756

ABSTRACT
Depression in youth has become increasingly common and concerning in the recent years, significantly affecting academic performance, emotional well-being, and social interactions. This study aims to compare depression risk in graduate and undergraduate students, and the causing factors from self-reported academic and lifestyle indicators with the prevalence of depressive emotions among students of Turkey and compare the results with youths around the globe. A fine-tuned Turkish BERT was used on a publicly available Turkish Emotion dataset. Which achieved a mean macro F1-score of 0.992 across 5-fold cross-validation in classifying text into five emotion categories (anger, fear, sadness, joy, surprise). The proposed pipeline consists of an ensemble learning approach (Random Forest and Gradient Boosting) along with hyperparameter optimization. Achieving a good accuracy of 96.0% after fine-tuning, outperforming the untuned baseline by 3.9 percentage points. Feature importance analysis identified academic pressure and prior suicidal ideation as the strongest predictors of depression risk, highlighting academic stress as a key intervention target. Additionally, students with positive family history of depression are more vulnerable to effect from stressors such as financial issues and academic stress. These findings suggest that academic-pressure-focused interventions and ensemble-based early-warning tools could support timely mental health outreach in university settings. Furthermore, improved dietary habits and sleep duration can reduce the symptoms of depression and bring resilience in dealing with stressors.
Keywords: Stress in Youth, Ensemble Learning, NLP, Random Forest, Gradient Boosting, Machine Learning.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

A MULTI-MODAL AI FRAMEWORK FOR ASSESSING MENTAL HEALTH AND SOCIAL MEDIA ADDICTION AMONG UNIVERSITY STUDENTS

Abdul Ahad Kamran ANSARI
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0008-4909-9917

Mehwish ISHFAQ
Bahria University, BSEAS, Department of Professional Psychology
ORCID: 0009-0008-3525-8390

Assistant Professor Saad Bashir ALVI
Bahria University, BSEAS, Department of Computer Science
ORCID: 0009-0007-9048-8212

Assistant Professor Haad AKMAL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-3666-3888

Assistant Professor Kubilay AYTURAN
Department of Electrical – Electronics Engineering, Gazi University
ORCID: 0000-0001-9406-4694

Professor Fırat HARDALAÇ
Department of Electrical – Electronics Engineering, Gazi University
ORCID: 0000-0003-1358-0756

ABSTRACT
Stress, depression and anxiety are commonly prevalent mental health issues that affect daily functioning of a person. Moreover, social media usage is exceeding from normal to pathological use i.e. addiction. Mostly the related AI systems rely on one type of data (single-modality), due to which the predictions can be incomplete. In this research, a multi-modal AI system has been proposed that mainly focuses on Turkish youth and university students (aged between 18 and 25) to evaluate their mental health risk, academic pressure and social media engagement patterns. The model is trained by using 3 different publicly available datasets (which include text, habits and social media surveys). The datasets are processed in 3 parallel branches. Textual data was converted into numbers (vector) through the TF-IDF algorithm, in which the top 2500 words were kept and unnecessary words (like stop words) were removed. Then in the behavioral and survey data, all the missing values were handled by using the forward-fill technique and label encoding was applied to prevent data loss. The random forest model achieved an accuracy of 97% on the habit data however. A related front-end GUI was also made on Streamlit. After combining the results of all three systems, the final verdict about the subject mental status (normal, moderate or high risk) is generated. Analysis results revealed that immoderate use of social media can lead to social media addiction, stress, depression, and anxiety among users. Model also verifies the claim that social media negatively affects academic performance and sleep quality among users.
Keywords: Social Media Addiction, Multi-Modal AI, Random Forest, Machine Learning.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

NON-INVASIVE FETAL ECG RECONSTRUCTION UNDER LOW SNR CONDITIONS USING DIGITAL FILTERING AND STACKING META-LEARNERS

Zainab BATOOL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0002-2751-7758

Amna BATOOL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0008-6366-066X

Assistant Professor Muhammad Hasan Danish KHAN
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-4199-9984

Assistant Professor Haad AKMAL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-3666-3888

Assistant Professor Kubilay AYTURAN
Department of Electrical – Electronics Engineering, Gazi University
ORCID: 0000-0001-9406-4694

Professor Fırat HARDALAÇ
Department of Electrical – Electronics Engineering, Gazi University
ORCID: 0000-0003-1358-0756

ABSTRACT
Non-invasive fetal electrocardiogram (FECG) extraction from maternal abdominal recordings is essential for detecting fetal hypoxia and cardiac abnormalities, yet non-stationary noise corrupts signal morphology in low Signal-to-Noise Ratio (SNR) environments. This study presents a comprehensive four-stage experimental framework evaluating machine learning models across clean, noise-corrupted, bandpass-filtered, and stacking configurations under 12dB SNR noise (from a publicly available dataset). Initial benchmarking on clean baseline (without any noise) recordings established optimal network capacity: Random Forest achieved an R2 of 99.15%, 1D CNN at 97.62%, RNN at 97.49%, LSTM at 95.13% and Bidirectional LSTM (BiLSTM) at 91.77%. Direct evaluation on unfiltered 12dB SNR signals caused a severe accuracy collapse in all models. To attenuate baseline drift and high-frequency noise, a 0.5–45 Hz Butterworth bandpass filter was applied, successfully restoring 12dB SNR performance across all the models. The proposed method also utilized a stacking model (using RF, CNN and BiLSTM since they yielded good results on this dataset) with Linear Regressor as the meta model. The proposed Stacking Ensemble framework achieved a highly stable final R2 score of 98.31% even for the high noise 12dB FECG signal. Empirical results confirm that integrating digital filtering with heterogeneous meta-learning offers superior architectural stability, noise resistance, and signal fidelity for non-invasive clinical fetal monitoring.
Keywords: FECG, Stacking, BiLSTM, CNN, Random Forest, Machine Learning.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

DATA FUSION-BASED PREDICTION OF FUEL PRICES AND CONSUMER PRICE INDEX IN TÜRKİYE

Hafiz Farzam KHAN
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0002-1520-253X

Assistant Professor Syed Atif Ali SHAH
Bahria University, BSEAS, Department of Computer Science
ORCID: 0000-0002-4275-9731

Assistant Professor Haad AKMAL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-3666-3888

Assistant Professor Kubilay AYTURAN
Department of Electrical – Electronics Engineering, Gazi University
ORCID: 0000-0001-9406-4694

Professor Fırat HARDALAÇ
Department of Electrical – Electronics Engineering, Gazi University
ORCID: 0000-0003-1358-0756

ABSTRACT
Inflation prediction is very important because it helps government, businesses and investors to make better decisions. Recently Türkiye has experienced lot of changes in inflation rates, interest rates and other economic indicators. These changes make it difficult to predict future. This proposed model uses a combination of data fusion and Machine learning approach to predict uncertain inflation rate of Türkiye. The model used publicly available Turkish economic indicators and inflation data sets (2015-2023) containing important indicators like EUR/TY exchange rates, import, export, industrial production, inflation values, and money supply etc. The main objective was to develop model capable of estimating future inflation rate based on historical economic indicators. CPI (consumer price index) was considered as the main target variable for prediction. The analysis implemented several related popular ML models. Random forest regressor was selected because of its ability to capture complex nonlinear relationships and reduced over fitting. The analysis utilized linear regression as a baseline model for comparison. RMSE, MAPE, and R2 were used as performance metrics. The same model was implemented on another publicly available dataset (global fuel prices from 2020 - 2026). The main objective of this proposed model was to implement data fusion to bring the impact of global fuel price in predicting the inflation status in Türkiye. The proposed model resulted in an R2 score of 0.9677 for the CPI dataset and an R2 score of 0.999 for the fuel price dataset.
Keywords: Consumer Price Index (CPI), Inflation Forecasting, Fuel Price Prediction, Machine Learning, Data Fusion.

GENERATION VERSE: AUTOMATED GENERATIONAL CLASSIFICATION VIA SEMANTIC ANALYSIS OF CONTEMPORARY SLANG AND MEME CULTURE

Alina TAHIR
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0001-9305-570X

Abdullah MIRDAD
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0003-5833-218X

Zainab MIRDAD
COMSATS University, Department of English Literature
ORCID: 0009-0005-2954-5981

Associate Professor Samina AKMAL
PIEAS, Communication and Management Science Department
ORCID: 0009-0008-3594-9976

Assistant Professor Haad AKMAL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-3666-3888

ABSTRACT
This study presents Generation Verse, an inter-active digital museum designed to explore generational differences through an engaging and educational online platform. The accompanying website (and subsequent app) displays the features of many generations, allowing users to compare cultural trends, language, and experiences across age groups. Interactive features such as quizzes, slang translation tools, meme collections, and color trend charts encourage active user participation while promoting learning about generational identities and cultural evolution. By combining entertainment with educational content, GENERATION VERSE demonstrates how digital technologies can enhance public engagement and make the exploration of social and cultural history more accessible and interactive. To further deepen the sociological impact of the platform, the architecture incorporates linguistic mapping to decode shifting communication paradigms, specifically focusing on the evolution of vernacular and digital colloquialisms. The slang translation modules serve as a crucial bridge across the generational divide, enabling older demographics to decipher contemporary internet lexicon while offering younger users historical context for legacy idioms. This interactive exploration illustrates how expressive mediums evolve alongside technological advancements. Furthermore, the curation of multimedia artifacts, ranging from analog media formats to modern internet phenomena, provides a continuous timeline of cultural milestones. By analyzing how different age cohorts interact with these digitized artifacts, the platform highlights underlying patterns in intergenerational friction and mutual misunderstanding. The framework fosters empathy by transforming static sociological data into a dynamic narrative, proving that interactive digital humanities tools can effectively dismantle communication barriers and cultivate a shared appreciation for diverse generations.
Keywords: Interactive Digital Museum, Machine Learning, Generational Differences, Cultural Evolution, Intergenerational Communication.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

CLIMATE-ADAPTIVE SOH/RUL PREDICTION FOR EVs WITH SHAP EXPLAINABILITY FOR ANATOLIAN THERMAL CONDITIONS

Abdul Sammad KHAN
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0003-3337-8907

Imran AHMAD
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0009-0006-5271-1041

Assistant Professor Haad AKMAL
Bahria University, BSEAS, Department of Electrical Engineering
ORCID: 0000-0003-3666-3888

Assistant Professor Kubilay AYTURAN
Department of Electrical – Electronics Engineering, Gazi University
ORCID: 0000-0001-9406-4694

Professor Fırat HARDALAÇ
Department of Electrical – Electronics Engineering, Gazi University
ORCID: 0000-0003-1358-0756

ABSTRACT
The growing electric vehicle (EV) sector in Türkiye faces battery performance challenges because vehicles operate across different climatic and geographical conditions. Southern and southeastern regions experience summer heat, while northern, inland, and mountainous areas face colder temperatures. Coastal regions expose vehicle components to humid and saline air. These variations make Türkiye a case for studying climate-aware Battery Management Systems. This study examines how temperature affects machine learning estimates of battery State of Health and Remaining Useful Life. A multi-temperature dataset was prepared using real NASA battery cycling data at 24°C and 43°C, together with physics-informed synthetic data at 50°C developed through the Arrhenius degradation model. Fourteen battery features, including cycle number, voltage drop, average and maximum temperature, internal resistance, energy, and thermal stress, were used for training. Linear Regression, Random Forest, and Gradient Boosting models were evaluated using RMSE, MAE, and R^2. Gradient Boosting achieved the best results when training and testing were performed within the same temperature range. However, the model trained only at 24°C performed poorly at 50°C. Its SOH R^2 dropped from 0.991 to 0.412, while RMSE increased by more than 280 percent. SHAP analysis showed that cycle number and voltage features were important under moderate conditions, whereas average temperature and thermal stress became the main predictors under extreme heat. A climate-adaptive model trained on all temperature conditions achieved an R^2 of 0.983 at 50°C. Mountain climbing may also increase battery load, energy consumption, and heat generation, while downhill regenerative braking can recover some energy. Coastal salinity may mainly affect enclosures and electrical connections through corrosion. The findings support safer and more reliable EV battery management across Türkiye's varied operating environments and provide a foundation for field research.
Keywords: Battery Management System (BMS), State of Health (SOH), Remaining Useful Life (RUL), Battery Degradation, Machine Learning, SHAP Explainability, Electric Vehicles.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION FOR ENTERPRISE KNOWLEDGE MANAGEMENT ENHANCING ORGANIZATIONAL INTELLIGENCE THROUGH CONTEXT-AWARE ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Muhammad FAISAL
Joint Director (AICU) at Ministry of IT & Telecommunication
ORCID: 0000-0002-5797-766X

ABSTRACT
Enterprise organizations generate vast volumes of structured and unstructured information that often remain underutilized due to limitations of traditional search systems. Retrieval-Augmented Generation (RAG) has emerged as a powerful architecture that combines information retrieval with generative language models to produce accurate, context-aware responses grounded in enterprise knowledge. This study investigates the effectiveness of RAG in modern knowledge management systems, emphasizing document retrieval, semantic search, policy assistance, customer service, and decision support applications. The proposed architecture integrates vector databases, embedding models, enterprise document repositories, and Large Language Models to minimize hallucinations while maximizing factual reliability. Performance evaluation demonstrates that RAG significantly improves answer relevance, knowledge accessibility, employee productivity, and organizational learning compared with standalone language models. Furthermore, the research addresses implementation challenges including document indexing, retrieval optimization, data governance, privacy protection, and scalability in large enterprises. Findings indicate that RAG enables organizations to leverage institutional knowledge more effectively while supporting intelligent automation and evidence-based decision-making. The study concludes that Retrieval-Augmented Generation represents a critical advancement in enterprise AI by enabling trustworthy, explainable, and context-sensitive knowledge services.
Keywords: Retrieval-Augmented Generation, Enterprise Knowledge Management, Semantic Search, Large Language Models, Vector Database, Artificial Intelligence, Information Retrieval.

LEVERAGING METADATA AND HEURISTIC SCORING AS A SOLUTION FOR STATIC ENDPOINT ACCESS

Putu Septian Primadewa
Master Program of Information Technology, Faculty of Engineering, Udayana University, Denpasar
ORCID: 0009-0001-6347-1147

I Made Sukarsa
Master Program of Information Technology, Faculty of Engineering, Udayana University, Denpasar
ORCID: 0000-0002-6396-4048

Anak Agung Kompiang Oka Sudana
Master Program of Information Technology, Faculty of Engineering, Udayana University, Denpasar
ORCID: 0000-0002-0817-7498

ABSTRACT
Fundamental analysis in the capital market relies on the availability of listed companies financial statement documents that accompanied by the Notes to the Financial Statements (NFS). The Indonesia Stock Exchange (IDX) does not provide a standardized public endpoint for third-party access. The main challenge for information extraction is identifying the correct document endpoint. API response yields multiple URLs with highly inconsistent filenames. This study proposes an approach to identify financial statement endpoints using metadata and Heuristic Scoring. The proposed solution consists of three stages, metadata extraction, heuristic score calculation using a keyword corpus, and document verification based on financial report markers. The model evaluated using ten listed companies across five sectors, covering a total of 317 endpoints from the IDX website. The test show result that the document endpoint is accurately selected with a total average processing time of 3.8 seconds. This method performs 3.4 times faster than the baseline Full Download approach with 13.06 seconds. This approach can ensure the extraction of financial statement documents with Notes to the Financial Statements. Extracted documents can further used for fundamental analysis and has the potential to be integrated with Artificial Intelligence (AI).
Keyword: Web scraping, Endpoint Identification, Financial Statements, Metadata, Heuristic Scoring, Information Extraction.

INTRODUCTION
The stock market is one of the primary choices for asset diversification [1]. Stock market analysis can be performed through technical and fundamental analysis [2]. Technical analysis is conducted by analysing historical stock transaction data, such as price movements and trade volumes [3]. However, technical analysis often cannot be reliably used for long-term investment planning [4]. Conversely, fundamental analysis is performed by comparing the intrinsic stock value with the company's actual financial performance [5]. A main resource for determining a company's fundamental value is its financial statements, which typically consist of the Balance Sheet, Income Statement, Cash Flow Statement, and the highly detailed Notes to the Financial Statements (NFS) [6].

Accessing verified financial statement documents is a primary requirement before conducting any fundamental analysis in the capital market [7]. The Indonesia Stock Exchange (IDX) mandates listed companies to report their financial statements on the exchange for information disclosure purposes [8]. While the IDX provides these documents on its website, it does not publicly provide a dedicated, machine-readable endpoint for third-party applications. Beyond the challenges of subsequent data extraction from the documents [9], identifying the correct document endpoints is highly problematic. The main problem begins with the process of identifying the exact file endpoint, to determine which attachment actually contains the full financial statement with NFS.

Web scraping represents a standard method to programmatically collect data and documents from web platforms [10]. However, determining the document endpoint is a crucial step before information can be extracted. API is identified by monitoring network traffic from the IDX website. A single API Request for an issuer during a given reporting period returns a JSON object with an array containing detailed document and the metadata. Another problem arises within the attachment's URLs. In a single endpoint, the API can return up to eight or more attachments containing diverse file types, including .pdf, .xlsx, and .zip.

Highly non-standardized filenames used by listed companies also make the problem deeper. For example, the listed company uploads its financial statement under the filename "[Full name of Company A] Q1_31_Mar_2026.pdf" (1.8 MB), whereas the other listed company uploads a document named "FS - [Full Name of Company B] 31 Mar 2026.pdf" (2.3 MB). Simply selecting the document with the largest file size often fails. Many other attachments, such as scanned signature sheets containing uncompressed images, resulting in larger file sizes than the actual financial reports. While the IDX provides PDF Template containing summary financial data, such as total assets and liabilities, these files lack the Notes to the Financial Statements. Financial statements accompanied by NFS are required because they explain the underlying figures and contain qualitative disclosures considered the hidden gems of listed companies [11]. An accurate document identification strategy is required to ensure document validation before entering the analytical steps [12].

RELATED WORKS

Web Scraping Methods

Web scraping techniques have advanced significantly alongside the evolution of the World Wide Web. Traditional approaches rely on HTML Document Object Model (DOM) parsing [13], where HTML elements are structured as trees need to be accessed and checked. Popular Python libraries like BeautifulSoup (BS4) and LXML is often used for web scraping. XPath location paths are utilized to query specific XML or HTML elements and attributes [14]. Additionally, Regular Expressions (Regex) can be implemented to identify specific patterns within the web page source code to get information [10] [15].

In many cases, accessing non-public data requires browser simulation to mimic real human interactions. Headless browser libraries such as Selenium and Puppeteer are used to simulate real-user actions. Button clicks, login form submissions, and dynamic scrolling, enabling the retrieval information with mimicked human action [16]. With the industry shift toward Service-Oriented Architectures (SOA) [17] [18], Application Programming Interface (API) scraping has become highly preferred. Utilizing direct API requests is ideal as it retrieves structured data like JSON or XML formats directly, bypassing the need to get and parse HTML elements [19].

Document Identification

Document identification methodologies have transitioned from basic rule-based systems to highly advanced deep learning architectures. In financial area, Sentiment Analysis is a preferred method. Words in financial documents are matched against collection of words like the Harvard IV-4 dictionary or the Loughran-McDonald Financial Sentiment Dictionary to compute polarity scores [20]. For complex classification tasks, modern approaches use Machine Learning. Early research utilized statistical algorithms such as Support Vector Machines (SVM) and Naive Bayes (NB) to learn complex patterns from vectors [21].

Deep Learning introduced more robust neural networks, including Convolutional Neural Networks (CNNs) and Recurrent Neural Networks (RNNs) like LSTM or GRU. Recent state of the art models employ Transformer-based architectures such as BERT, RoBERTa, and FinBERT, which are effective at capturing contextual relationships within long financial documents [22]. Furthermore, current technologies explore Hybrid Models that combine multiple functional layers. For example, hybrid systems integrate Topic Modelling layers such as LDA combined with K-means clustering, alongside FinBERT to parse financial reports [23]. Although machine and deep learning models achieve high accuracy, they are computationally expensive and require extensive training data and processing time. A lighter, faster, and accurate approach is highly desirable for production pipelines.

SOLUTION APPROACH

The solution is designed as a three-stage pipeline. The JSON payload returned from the IDX API request is parsed and cached in a database first. Rather than downloading all attachments which consumes significant resources, the proposed system read the metadata and utilizes heuristic selection to identify and download only the single verified endpoint.

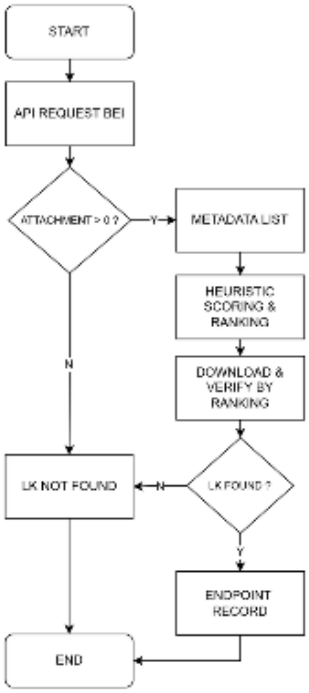


Fig. 1. Flow of Solution Approach

Metadata List

For each request, the API returns a collection of document attachment URLs. The model lists and records the metadata into a database. The extracted metadata recorded is the full document URL, file name, file size in bytes, and file extension.

Heuristic Scoring

A corpus or keyword dictionary containing positive, negative, and blacklisted values is created by observing. The corpus rules are compared against the file name metadata for identification. The document size metadata is also used as a weight, as the largest file size usually represents the financial statement document, but not always. The heuristic score calculation for identification is expressed in equation (1).

$$S(d) = (H) * ((\sum P.\delta) - (\sum N.\delta) + W) \qquad (1)$$

Variable P is a parameter that equals 1 if a positive keyword is present and 0 if negative. Examples of positive keywords include the word ‘lapkeu’ or ‘financial statement’. Variable N is an indicator that equals 1 if a negative keyword is present and 0 otherwise. An example of a negative keyword is ''prospektus’ that usually not a financial document but often included the positive filename. Variable δ represents the weight of each respective keyword. Variable W is the weight assigned to the document size. Variable H is a binary filtering parameter that invalidates the document (H = 0) if any keyword from the blacklist corpus is matched. Otherwise, variable H will have value of 1. Examples of blacklisted keywords include 'press release' or 'Director Letter’.

Document Verification

Verification is performed by examining the content of the files start from top ranking from the Heuristic Scoring. A valid financial statement document must contain four valid markers, Balance Sheet, Income Statement, Cash Flow Statement, and Notes to the Financial Statements (NFS), as shown in equation (2).

$$d_i = IF\ (\sum Valid = 4, TRUE, FALSE) \qquad (2)$$

A verification confirms that the selected file is the valid financial statement document with NFS. The document endpoint is then marked. The processing duration is also logged to evaluate the speed of the model.

RESEARCH FINDINGS

Experiments were conducted by collecting the API request results. The testing conducted by retrieving and selecting the API responses for two issuers from five distinct industrial sectors. Five industrial sectors are Banking, Consumer Goods, Energy, Infrastructure, and Technology. The API requests were executed to collect the financial statements from the fiscal year 2025. The test target was to identify 40 distinct endpoints distributed across Q1, Q2, Q3, and Annual periods. The API request payloads were stored in a database prior to processing. Two approaches were evaluated and compared. The first approach consists of a full download methodology, where all documents are downloaded. Their contents are verified one by one as base compare. The second approach leverages metadata extraction and heuristic scoring.

Full Download

In the full-download method, the criteria to determine a valid financial statement also using the four validation markers. The financial statement must include Balance Sheet, Income Statement, Cash Flow Statement, and Notes to the Financial Statements.

Table 1. Full Download Summary

Period	Total Checked Documents	Identified Financial Reports
Q1	66	21
Q2	68	25
Q3	66	21
ANNUAL	117	25
TOTAL	**317**	**92**

The average duration required to download and verify financial statements shown in Fig. 2. The average times are 10.4 seconds for Q1, 10.8 seconds for Q2, 10.3 seconds for Q3, and 20.6 seconds for the Annual period. The overall average duration is 13.06 seconds. This duration will be used to compare with the proposed model.

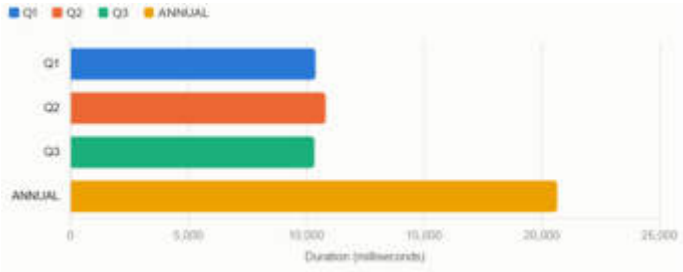


Fig. 2. Full Download and Verify Duration

Metadata and Heuristic Scoring

The initial step for the proposed method is to building the keyword corpus. The corpus compiles terms frequently used in financial statement filenames. The corpus is built from direct observations. The corpus uses three polarities, positive, negative, and reject. Table 2 presents a sample of the keyword corpus utilized in this study.

Table 2. Keyword Corpus Sample

Polarity	Matching	Parameter	Weight	Description
Positive	Contain	Lapkeu	100	Very Common Filename
Positive	Regex	(^|[_\s-])fs[\s._-]	90	FS as common Filename Prefix
Positive	Contain	Bilingual	60	Common Filename
Negative	Contain	Prospektus	-50	Investor Guide
Negative	Contain	Corporate Governance	-80	SDG Document
Reject	Exact	inlinexbrl.zip	-	IDX Default File
Reject	Regex	^financialstatement-.*\.pdf$	-	IDX Template that not contain Note to the Financial Statement

The corpus used in this model contains 12 positive parameters, 9 negative parameters, and 24 reject parameters. Documents matched with a reject parameter are immediately excluded from the ranking pool. The ranking will calculate and sorted by matching metadata against the corpus and adding the document size weight using equation (1). The result is summarized in Table 3.

Table 3. Heuristic Scoring Summary

Period	**Total Metadata Documents**	**Ranked (Score > 0)**
Q1	66	13
Q2	68	13
Q3	66	15
ANNUAL	117	15
TOTAL	**317**	**56**

The ranked documents are downloaded verified using (2) in order of their heuristic rankings. Once the correct financial statement is found, the endpoint is marked. Table 4 displays a sample of the filenames selected through heuristic scoring and validated. Every selected document successfully contains the four mandatory markers, Balance Sheet, Income Statement, Cash Flow Statement, and Notes to the Financial Statements (NFS). The selection process successfully selects one verified document per issuer per period.

Table 4. Selection Result Sample

Issuer	**Period**	**Selected Document**
ADRO	ANNUAL	FS ADRO 1225.pdf
MEDC	Q1	Lap Keu 31 March 2025_MEDC.pdf
MEDC	Q2	Lap Keu MEDC 30 juni 2025.pdf
MEDC	Q3	FS 30 September 25_MedcoEnergi.pdf
MEDC	ANNUAL	FS 31 Desember 2025_MEDC.pdf
BMRI	Q1	LKFS PT Bank Mandiri (Persero) Tbk 31 Mar 2025.pdf
BMRI	Q2	LKFS PT Bank Mandiri (Persero) Tbk 30 Juni 2025.pdf
BMRI	Q3	LKFS Bank Mandiri 30 Sept 2025 FINAL.pdf
BMRI	ANNUAL	LK PT Bank Mandiri-Desember 2025.pdf

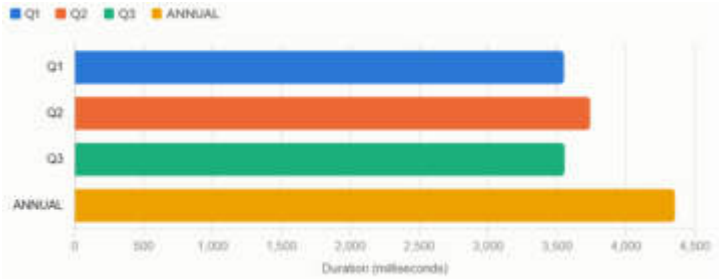


Fig. 3. Metadata & Heuristic Scoring Duration

As shown in Fig. 3, the average processing time is 3.5 seconds for Q1, 3.7 seconds for Q2, 3.5 seconds for Q3, and 4.3 seconds for the Annual period. The overall average processing time, which includes the file downloading, is 3.8 seconds.

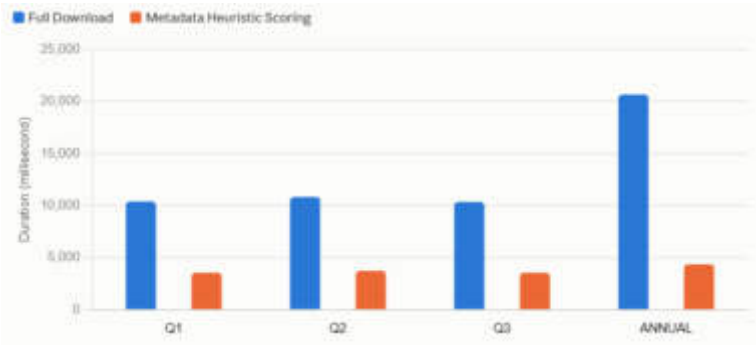


Fig. 4. Result Comparison

The results are compared in Fig. 4. The proposed method is up to 3.4 times faster than the baseline full download. Leveraging metadata and heuristic scoring significantly speed up the identification process, as it eliminates the necessity to download and checking all documents one by one.

CONCLUSION AND FUTURE RESEARCH

The experimental results demonstrate that the model can select 40 endpoints from total of 317 attachments from the Indonesia Stock Exchange website. The overall average process using metadata and heuristic scoring takes 3.8 seconds. This method is 3.4 times faster than the full download method, which required an average of 13.06 seconds. Future studies with larger sample sizes are required to better evaluate and benchmark the performance of the model.

Future work could explore automating corpus collection by training AI agents to learn from metadata document. This automation will require verified data which can used from this model to ensure accuracy. Additionally, the endpoint discovery process could be facilitated by AI agents, which would require resources and increasing cost, for AI processing.

With minimal resource requirements, the model can simplify the retrieval of financial statements complete with Notes to the Financial Statements (NFS), verified and ready for extraction and fundamental analysis.

REFERENCES

[1] S. Luo and Q. Zhu, “Capital market signals and corporate advertising strategies: An empirical analysis based on the synergistic relationship between stock price volatility and marketing capability,” International Review of Economics & Finance, vol. 104, p. 104643, Dec. 2025, doi: 10.1016/J.IREF.2025.104643.

[2] I. K. Nti, A. F. Adekoya, and B. A. Weyori, “A systematic review of fundamental and technical analysis of stock market predictions,” Artif. Intell. Rev., vol. 53, no. 4, pp. 3007–3057, Apr. 2020, doi: 10.1007/s10462-019-09754-z.

[3] T. Julian, T. Devrison, V. Anora, and K. M. Suryaningrum, “Stock Price Prediction Model Using Deep Learning Optimization Based on Technical Analysis Indicators,” Procedia Comput. Sci., vol. 227, pp. 939–947, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.PROCS.2023.10.601.

[4] N. Cakici and A. Zaremba, “Accounting vs technical information: what matters more for stock return predictability?,” Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, vol. 104, p. 102207, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.INTFIN.2025.102207.

[5] M. M. Boyer and D. Filion, "Common and fundamental factors in stock returns of Canadian oil and gas companies," Energy Econ., vol. 29, no. 3, 2007, doi: 10.1016/j.eneco.2005.12.003.

[6] H. Biehl, C. Bleibtreu, and U. Stefani, "The real effects of financial reporting: Evidence and suggestions for future research," Journal of International Accounting, Auditing and Taxation, vol. 54, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.intaccaudtax.2023.100594.

[7] N. B. Sagitarisma and R. E. Wijaya, "Keterbacaan Catatan Atas Laporan Keuangan dan Dampak Audit (Readability over Financial Reporting Footnotes and Audit Outcomes)," Akutansi Bisnis & Manajemen (ABM), vol. 28, no. 2, p. 53, Oct. 2021, doi: 10.35606/jabm.v28i2.930.

[8] Republik Indonesia, "Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 1995 tentang Pasar Modal," 1995.

[9] D. Gounopoulos, W. Huang, and M. Yang, "Innovation and annual report readability," Res. Policy, vol. 54, no. 8, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.respol.2025.105301.

[10] A. S. Kazmali and A. Sayar, "Web Scraping: Legal and Ethical Considerations in General and Local Context - A Review," Procedia Comput. Sci., vol. 259, pp. 1563–1572, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.PROCS.2025.04.111.

[11] I. Harymawan, M. C. Ratri, and E. S. Ayuningtyas, "Busy CEO and financial statement footnotes readability: evidence from Indonesia," Asian Review of Accounting, vol. 32, no. 4, pp. 573–605, Dec. 2023, doi: 10.1108/ARA-04-2023-0103.

[12] A. G. Kim et al., "Financial Statement Analysis with Large Language Models."

[13] C. Meyberg, U. Rendtel, and H. Leerhoff, "Flat rent price prediction in Berlin with web scraping," AStA Wirtschafts- und Sozialstatistisches Archiv, vol. 18, no. 2, pp. 245–278, Jun. 2024, doi: 10.1007/S11943-024-00340-6.

[14] K. Sharma and G. M. Borkar, "Comparative Analysis of Dynamic Web Scraping Strategies: Evaluating Techniques for Enhanced Data Acquisition," in Advancements in Communication and Systems, Soft Computing Research Society, 2024, pp. 241–252. doi: 10.56155/978-81-955020-7-3-22.

[15] H. H. Huang, C. H. Chang, K. C. Chien, and J. C. Kung, "Information extraction in legal texts: Investigating LLMs' performance on traffic accident verdicts," Computer Law & Security Review, vol. 61, p. 106313, Jul. 2026, doi: 10.1016/J.CLSR.2026.106313.

[16] A. Tacuri, S. Firmenich, A. Fernandez, F. Riva, M. Urbieta, and G. Rossi, "Web Scraping by End Users," IEEE Access, vol. 13, pp. 205027–205044, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3636662.

[17] E. Hustad and D. H. Olsen, "Creating a sustainable digital infrastructure: The role of service-oriented architecture," Procedia Comput. Sci., vol. 181, pp. 597–604, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.PROCS.2021.01.210.

[18] H. Rojas, K. A. Arias, and R. Renteria, "Service-oriented architecture design for small and medium enterprises with infrastructure and cost optimization.," Procedia Comput. Sci., vol. 179, pp. 488–497, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.PROCS.2021.01.032.

[19] B. Mostefai, T. Boutefara, N. Bousbia, A. Balla, S. Dhelim, and A. Hammia, "Enhancing user experience in e-learning systems: A new user-centric RESTful web services approach," Computers in Human Behavior Reports, vol. 18, p. 100643, May 2025, doi: 10.1016/J.CHBR.2025.100643.

[20] Aakash, S. Gupta, and A. Noliya, "URL-Based Sentiment Analysis of Product Reviews Using LSTM and GRU," Procedia Comput. Sci., vol. 235, pp. 1814–1823, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.PROCS.2024.04.172.

[21] R. K. Peddarapu, S. Anogna, M. N. S. S. Harshini, J. Sireesha, and K. G. Rathna, "Document Summarizer: A Machine Learning approach to PDF summarization," Procedia Comput. Sci., vol. 252, pp. 1025–1036, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.PROCS.2025.01.063.

[22] Codesso Mauricio M., Hoitash Rani, and Hoitash Udi, "Textual Financial Data Repository for Machine Learning, Artificial Intelligence, and Textual Analyses: Major Sections from 10-K, 10-Q, and Financial Statement Notes Extracted Using Shared Python Code," Journal of Information Systems, pp. 1–21, 2024, doi: https://doi.org/10.2308/ISYS-2024-084.

[23] G. Duan, S. Yan, and M. Zhang, "A Hybrid Neural Network Model for Sentiment Analysis of Financial Texts Using Topic Extraction, Pre-Trained Model, and Enhanced Attention Mechanism Methods," IEEE Access, vol. 12, pp. 98207–98224, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3429150.

DAAS-V2V: PREDICTIVE DENSITY-AWARE ADAPTATION FOR SAFETY-PRESERVING VEHICLE-TO-VEHICLE COMMUNICATION

Professor Dr. E.Rajendran
Department of Electronics and Communication Engineering, SKP Engineering College
ORCID: 0000-0002-1436-1080

Sushmitha S
Department of Electronics and Communication Engineering, SKP Engineering College

Berry Sugandh Surya A
Department of Electronics and Communication Engineering, SKP Engineering College
ORCID: 0009-0005-7019-4845

Aparnaa M
Department of Electronics and Communication Engineering, SKP Engineering College

Gopinath V
Department of Electronics and Communication Engineering, SKP Engineering College

Arlisa Winifred A
Department of Electronics and Communication Engineering, SKP Engineering College

Abstract

OBJECTIVES

This study develops DAAS-V2V, a predictive density-aware architecture for adapting normal Vehicle-to-Vehicle (V2V) transmission while preserving an independent emergency communication path. The study investigates whether future communication-congestion prediction can support proactive transmission adaptation without allowing machine-learning control to suppress safety-critical messages.

METHODS

An ESP32 prototype using ESP-NOW was implemented for direct V2V communication, local brake detection, emergency-message prioritization, and density-dependent normal transmission. A physics-correlated synthetic VANET dataset containing 85,248 telemetry records from 50 vehicles was processed using validation, feature engineering, evidence-based labeling, and chronological training/testing. XGBoost models were evaluated for congestion-state classification and five-second future-congestion prediction. An end-to-end inference pipeline and adaptive transmission policy were additionally evaluated.

RESULTS

The congestion-state classifier achieved 99.72% accuracy, while the future-congestion predictor achieved a ROC-AUC of 0.9301 on the held-out test set. Mean end-to-end inference latency was 9.93 ms. In the evaluated density scenarios, the adaptive ML policy reduced packet overhead relative to fixed 10-Hz transmission, while emergency-message transmission remained isolated from the adaptive policy.

İntegration of CONCLUSIONS DAAS-V2V demonstrates the feasibility of coupling predictive machine learning with embedded V2V communication to anticipate communication congestion and adapt normal transmission while preserving a locally enforced safety path. The principal contribution is the predictive adaptation and explicit safety-path isolation in an embedded-to-ML architecture. Further validation with real ESP32 telemetry and controlled security scenarios is required.

Keywords: Vehicle-to-Vehicle Communication; V2X; Machine Learning; Predictive Congestion; Adaptive Communication; Traffic Density; ESP-NOW; Intelligent Transportation Systems

INTELLIGENT HOME CONTROL USING ELECTROOCULOGRAPHY (EOG) SIGNALS FOR ASSISTIVE HUMAN-COMPUTER INTERACTION

Professor Dr. .E.Rajendran
Department of Electronics and Communication Engineering, SKP Engineering College
ORCID: 0000-0002-1436-1080

Sushmitha S
Department of Electronics and Communication Engineering, SKP Engineering College

Berry Sugandh Surya A
Department of Electronics and Communication Engineering, SKP Engineering College
ORCID: 0009-0005-7019-4845

Aparnaa M
Department of Electronics and Communication Engineering, SKP Engineering College

Gopinath V
Department of Electronics and Communication Engineering, SKP Engineering College

Arlisa Winifred A
Department of
Electronics and Communication Engineering, SKP Engineering College

Abstract

OBJECTIVES

This study presents a hands-free method for controlling household electronic devices through electrooculography (EOG) signals. The primary objective is to develop an accessible human-computer interaction approach that converts intentional eye-movement patterns into discrete control commands without relying on conventional hand-operated interfaces.

METHODS

The proposed system acquires EOG signals associated with directional eye movements, processes the signals using an Arduino-based controller, and maps the detected patterns to commands for household electronic loads. A Wokwi simulation environment is incorporated to model and validate the control workflow before physical hardware implementation. The methodology emphasizes signal conditioning, noise reduction, command discrimination, and response-time considerations to improve reliable operation in practical environments. The design is intended to support modular extension from simulated appliances to physical household loads while maintaining a clear separation between signal acquisition, processing, and actuation.

RESULTS

The simulation-oriented validation framework provides a controlled means to verify the conversion of EOG-derived eye-movement patterns into device-control commands and to examine system behavior under variations in signal quality. The approach also establishes a repeatable test environment for refining signal-processing parameters before hardware deployment.

It also supports systematic comparison of processing settings and command-detection behavior, helping identify implementation parameters that require further hardware-level validation.

CONCLUSIONS

The proposed EOG-based control architecture offers a non-invasive and adaptable interface for assistive and smart-home applications. Its combination of low-cost embedded control and simulation-based validation provides a practical foundation for further investigation of accuracy, robustness, latency, and real-world usability.

Keywords: Electrooculography (EOG); Assistive Technology; Arduino; Wokwi Simulation; Smart Home Automation; Human-Computer Interaction.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

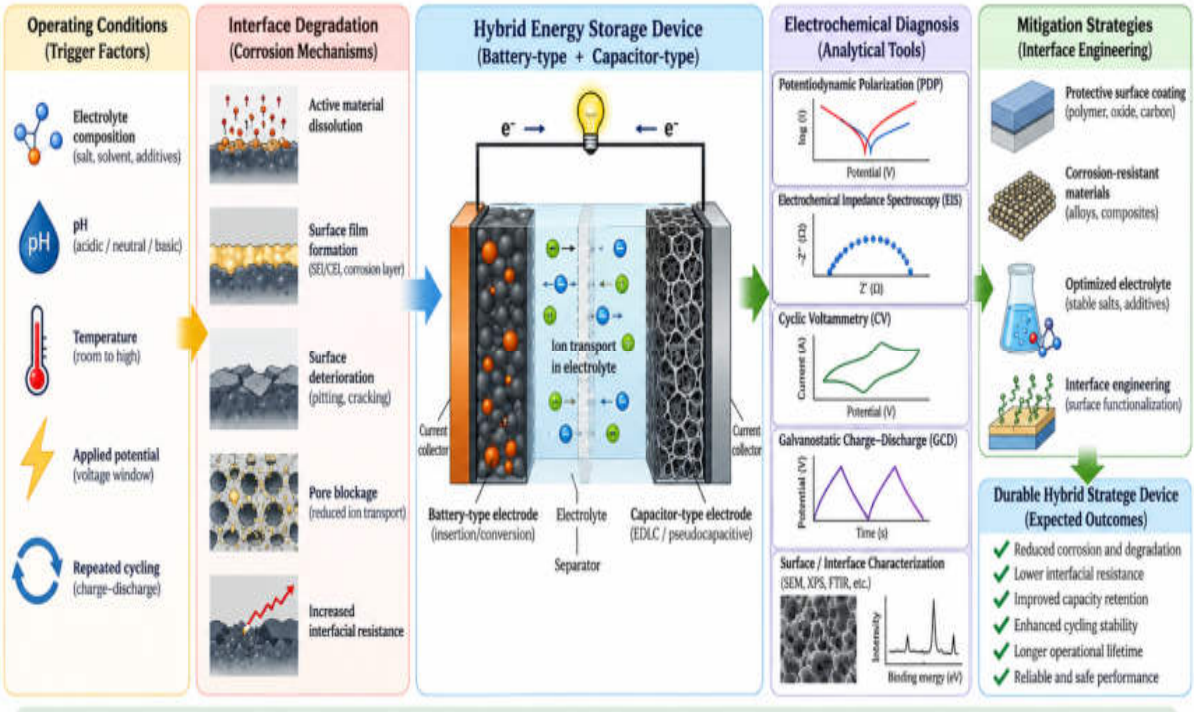
CORROSION–INTERFACE ENGINEERING IN HYBRID ENERGY STORAGE DEVICES: MECHANISMS, DEGRADATION PATHWAYS, AND STRATEGIES FOR ENHANCED ELECTROCHEMICAL STABILITY

Lavanya Meiyammai P
Department of Biotechnology, Rathinam Technical Campus, Coimbatore

Kalaiselvan S
Department of Basic Sciences, School of Sciences and Humanities, SR University
Nalin Prashant Poddar
Department of Basic Sciences, School of Sciences and Humanities, SR University

Abstract
Hybrid energy-storage devices that combine battery-type and capacitor-type charge-storage mechanisms are emerging as promising platforms for applications requiring both high energy density and rapid power delivery. Despite their electrochemical advantages, the durability of these systems is strongly governed by interfacial instability and corrosion-induced degradation of electrodes, current collectors, and electrolyte-contacting components. These processes can progressively alter surface chemistry, disrupt charge-transfer pathways, promote active-material dissolution, and increase interfacial resistance, ultimately affecting capacity retention, rate capability, coulombic efficiency, and cycling life.
This study proposes a corrosion-centred approach to understanding the degradation of hybrid storage architectures, with particular emphasis on electrode–electrolyte interactions. The investigation will examine how electrolyte chemistry, ionic species, pH, temperature, applied potential, and repeated electrochemical cycling influence surface degradation and electrochemical stability. Complementary techniques such as potentiodynamic polarization and electrochemical impedance spectroscopy can be employed to identify corrosion kinetics, charge-transfer behaviour, interfacial resistance, and changes in surface protection. Cyclic voltammetry and galvanostatic charge–discharge measurements will further establish the relationship between corrosion processes and energy-storage characteristics.
A key aspect of the proposed work is the development of interface-engineering strategies to suppress corrosion while preserving efficient ion and electron transport. Protective coatings, surface functionalization, corrosion-tolerant electrode compositions, and electrolyte optimization will be investigated as possible routes for controlling degradation. Particular attention will be given to the formation and evolution of surface films, electrode passivation, electrolyte decomposition, and structural changes occurring during prolonged cycling.
The study aims to establish a mechanistic correlation between corrosion behaviour, interfacial chemistry, electrode architecture, and storage performance. Such understanding could support the rational design of hybrid energy-storage systems with improved cycling durability, reduced material degradation, enhanced operational safety, and longer service life. The proposed corrosion–electrochemistry framework may also provide a foundation for developing sustainable and reliable storage technologies for next-generation portable, stationary, and renewable-energy applications.
Keywords: Hybrid energy storage; Electrochemical corrosion; Electrode–electrolyte interface; Degradation mechanisms; Impedance spectroscopy; Interface engineering; Electrolyte optimization; Cycling stability

Graphical Abstract



ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

IMAGE TYPE RECOGNITION SYSTEM USING MACHINE-LEARNING ALGORITHMS

Sani Solomon
Federal University of Agriculture, Computer Science and Statistics

ABSTRACT

The increasing volume of digital images has created a need for automated methods of identifying and categorizing images according to their basic image types. This study presents the development of an Image Type Recognition System using machine-learning algorithms to classify images into three categories: black-and-white, grayscale, and colour images. The system was implemented using Python and incorporated five classification algorithms: Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbor (KNN), Naïve Bayes, Decision Tree, and Discriminant Analysis. The system was evaluated through functional testing involving image recognition, classification using the implemented algorithms, and categorization of images according to their types. The results showed that the system successfully identified image pixels, executed the implemented classification algorithms, displayed their outputs, and categorized images into the three target image types. These findings demonstrate the functional capability of the proposed system for automated image-type recognition. However, the available experimental results do not include numerical measures such as classification accuracy, precision, recall, confusion matrices, or execution time; therefore, no quantitative performance ranking of the algorithms is presented. The study provides a foundation for further development and quantitative evaluation of machine-learning-based image-type recognition systems.

Keywords: Image Type Recognition, Image Classification, Machine Learning, Support Vector Machine, K-Nearest Neighbor, Naïve Bayes, Decision Tree, Discriminant Analysis.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

DESIGNING MINIATURIZED WI-FI / 5G ANTENNA FOR JAMMING APPLICATIONS

Lecturer Dr. Vedat ÇAVLU
University of İgdir, Faculty of Engineering, Department of Electrical Electronic
ORCID: 0000-0002-7208-9716

ABSTRACT
This study presents a novel, directional, and miniaturized wideband antenna design tailored for portable drone jammer applications targeting command, control, and data link frequencies of unmanned aerial vehicles that pose security threats in civil and military domains. To ensure seamless integration into smaller tactical defense platforms, the antenna is optimized within CST Microwave Studio, achieving a compact physical footprint of 50 by 46 mm. The layout incorporates a curved microstrip feedline on the top layer and log-periodic style serrated dipole stubs on the bottom layer, which collectively induce high surface current density and generate robust electromagnetic excitation. Scattering parameter analyses indicate that the antenna maintains a continuous impedance bandwidth from 4.92 GHz to 6.39 GHz based on the -10.00 dB threshold criterion. Within this band, the design achieves an exceptional resonant peak of -42.88 dB at 6.34 GHz, ensuring that the input power is almost completely transmitted. Furthermore, a return loss value of -14.31 dB recorded at 5.54 GHz confirms stable impedance matching across the central spectrum. Far-field radiation evaluations demonstrate a highly directional character, where the directivity gain scales up linearly with frequency, rising from 5.97 dBi at 5 GHz to 7.44 dBi at 5.90 GHz. Having the main lobe stabilized around 0 degrees enables this directional radiation pattern to focus the jamming power directly toward the threat drone rather than dispersing it. This maximizes energy efficiency while increasing both tactical operational range and countermeasure performance. The primary significance and contribution of this work lie in its ability to offer an ultra-compact form factor while delivering high-gain, focused defense capability against modern drone threats operating across 5 GHz wireless networks and next-generation sub-6 GHz 5G bands using a single shared framework, introducing an innovative hardware alternative for military technologies.
Keywords: Drone Jammer, Miniaturized Antenna, Surface Current Distribution, Directivity Gain, S11 Parameter.

INTRODUCTION
The rapid growth of unmanned aerial vehicles (UAVs) has increased the importance of reliable detection and defense technologies in civil and military environments. UAVs commonly employ radio-frequency (RF) links for remote control, telemetry, navigation-related functions, and video or data transmission. Recent reviews of UAV security systems identify RF-based detection and countermeasure techniques as important elements of drone defense architectures [1-2], while studies of UAV communication also report the continued use of 2.4 GHz and 5 GHz wireless links in commercial systems [2]. Consequently, compact antennas capable of providing controlled radiation in these frequency regions are of interest for portable countermeasure platforms.
The antenna is a critical component in a directional RF countermeasure system because its impedance bandwidth determines the usable frequency range, while its radiation pattern and directivity determine how effectively available RF energy can be concentrated toward a selected direction. In applications where size, weight, and integration are important, a conventional high-gain antenna can be difficult to accommodate.

The present work therefore investigates a compact planar structure that combines a curved microstrip feed with a set of serrated, log-periodic-style radiating elements on the opposite layer. The objective is to obtain wide impedance bandwidth together with a stable, directional main beam in a compact 50 × 46 mm footprint.

The selected frequency range is also relevant to contemporary WLAN and sub-7.25 GHz wireless systems. IEEE 802.11ax defines operation across frequencies extending to 7.125 GHz, while current WLAN generations make extensive use of the 5 GHz and 6 GHz regions [3]. The proposed antenna therefore provides a common hardware platform covering a substantial part of the 5 GHz region and extending into the lower 6 GHz range. In addition, 5G-enabled communication has been investigated for UAV security applications, demonstrating the relevance of advanced wireless technologies to unmanned-aircraft security scenarios [4]. The remainder of this paper describes the antenna geometry, simulation results, surface-current behavior, far-field directivity, and the resulting performance characteristics.

ANTENNA DESIGN AND SIMULATION MODEL

The antenna was modeled and optimized using CST Microwave Studio. The structure is implemented on a Rogers RO4350B substrate with a thickness of 1.52 mm. The overall planar dimensions are 50 mm in the horizontal direction and 46 mm in the vertical direction, resulting in a compact physical area of 2300 mm². The top layer contains the curved microstrip feed structure, while the bottom layer contains the central conductive region and the symmetric serrated radiating elements. The dimensions supplied with the simulation model were retained without modification in the present analysis.

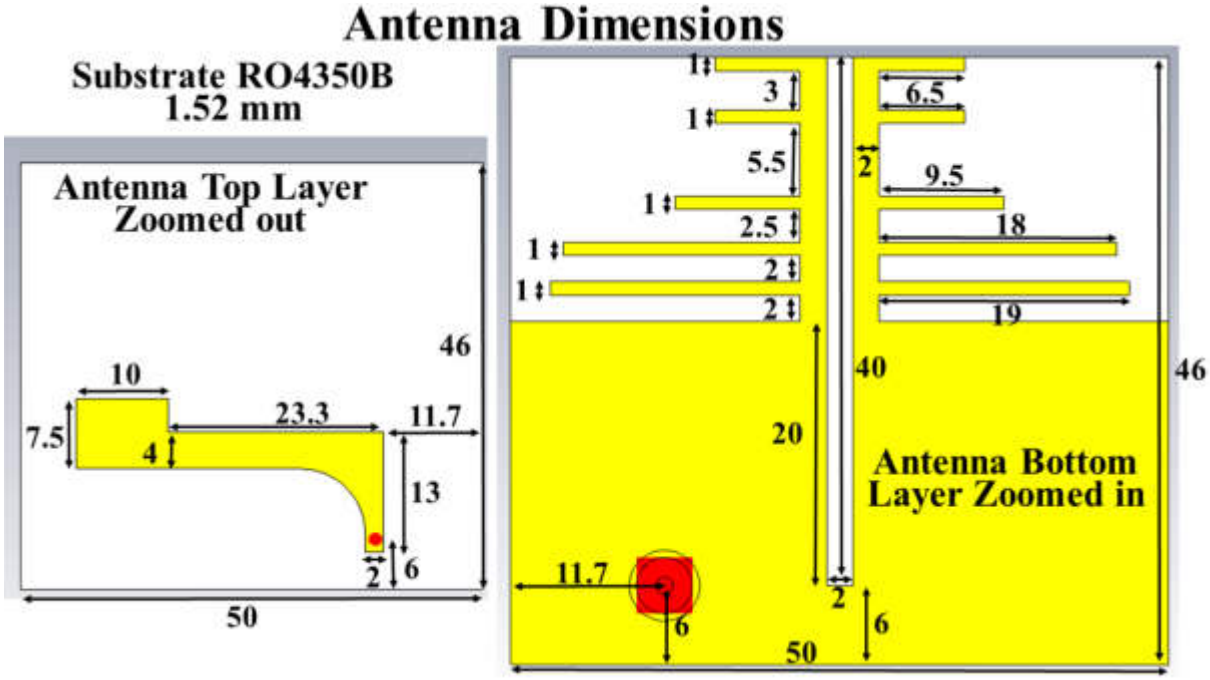


Figure 1. Proposed antenna geometry and principal dimensions on the RO4350B substrate.

The detailed geometry contains several stepped and progressively extended elements. On the bottom layer, the serrated sections have different horizontal lengths, including values of 6.5, 9.5, 18, and 19 mm, while the central separation is 2 mm. The feed-side geometry includes a 10 mm initial section, a 23.3 mm horizontal section, a 13 mm vertical section, and a curved transition.

These dimensions form the frequency-selective and broadband behavior observed in the CST simulations. The complete dimensions are shown in Fig. 1 so that the simulated configuration can be reproduced directly.

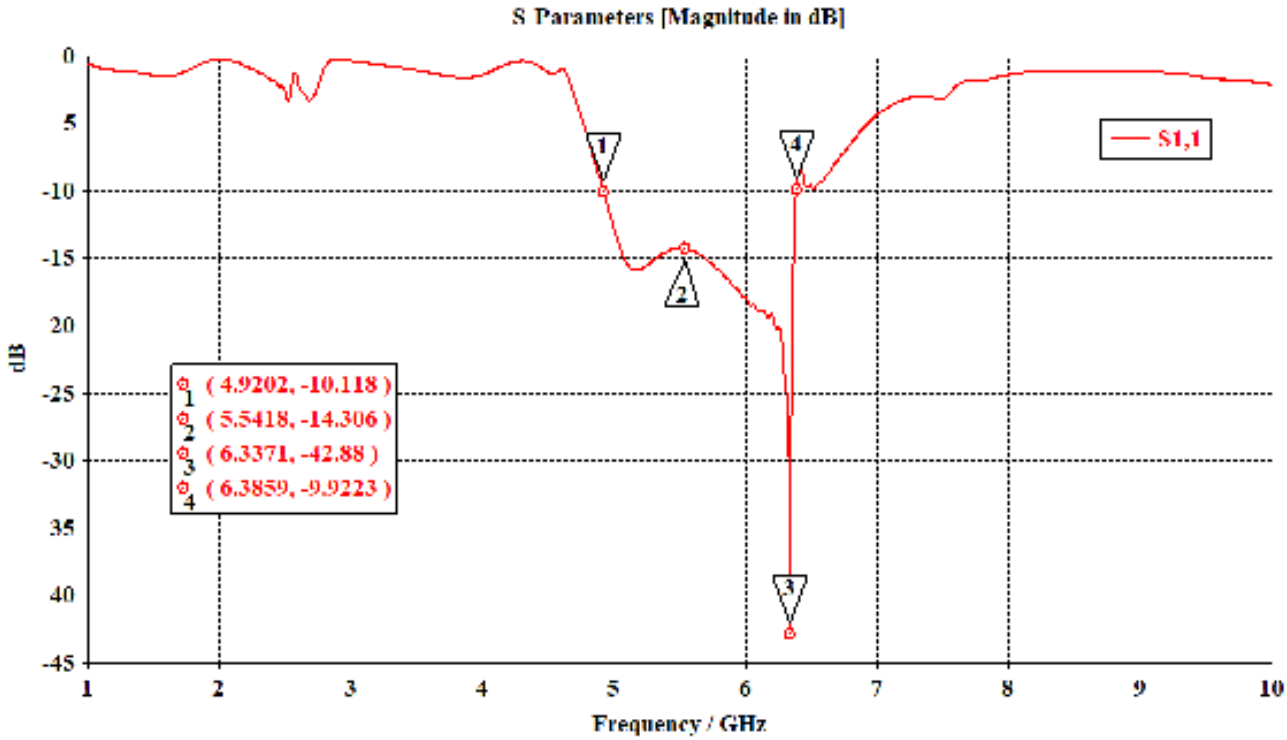


Figure 2. Antenna S11 response simulated using CST Microwave Studio.

SIMULATION RESULTS AND DISCUSSION

Impedance Characteristics

Figure 2 presents the simulated input reflection coefficient. The input reflection coefficient, S11 is a standard parameter for evaluating antenna impedance-matching performance [5]. Four marker points are identified in the supplied CST result: 4.9202 GHz at −10.118 dB, 5.5418 GHz at −14.306 dB, 6.3371 GHz at −42.88 dB, and 6.3859 GHz at −9.9223 dB. The response remains below approximately −10 dB over the principal operating region, giving an approximately 4.92–6.39 GHz wideband response. The deepest resonance occurs at 6.3371 GHz, where S11 reaches −42.88 dB. At 5.5418 GHz, the return loss is −14.306 dB, confirming acceptable impedance matching around the middle of the intended band.

The strong resonance near 6.34 GHz indicates that the feed and radiating elements produce a particularly favorable input impedance at this frequency. At the lower part of the band, the −10 dB crossing occurs at approximately 4.92 GHz. The gradual variation between the identified resonances indicates that the multiple serrated elements contribute to broadband impedance behavior rather than producing a single narrow resonant mode.

Surface Current Distribution

To investigate the electromagnetic operation of the proposed structure, the surface-current distributions at 5, 5.5 GHz and 5.9 GHz are examined. The supplied CST plots show strong current concentration along the curved feed section and the central vertical conductive region. Current is also distributed over the serrated elements on the bottom layer, with the excited elements extending progressively away from the central region.

This behavior supports the broadband response because multiple conductive sections participate in radiation at different electrical lengths.

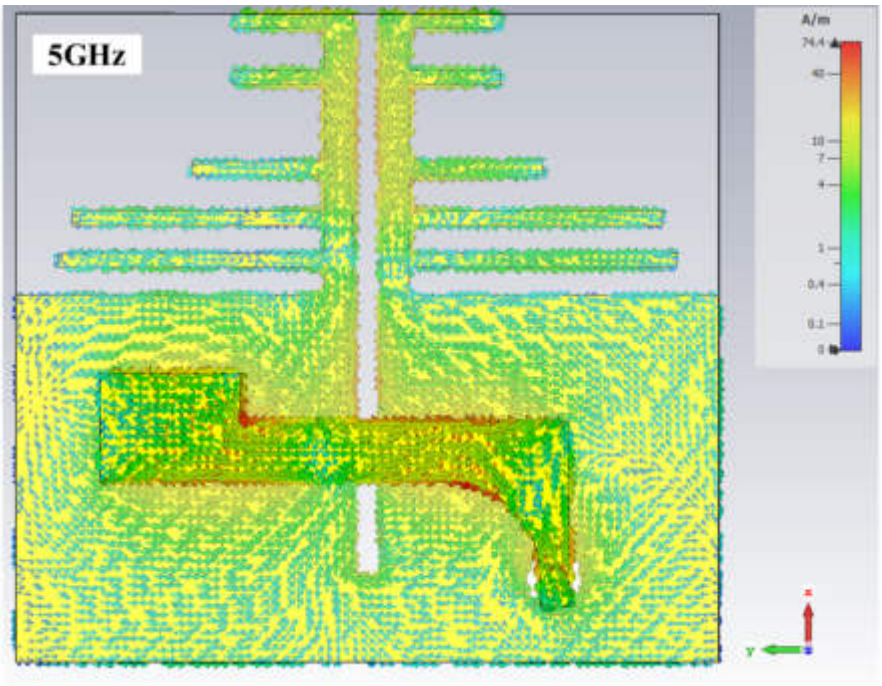


Figure 3. Simulated surface-current distribution at 5 GHz.

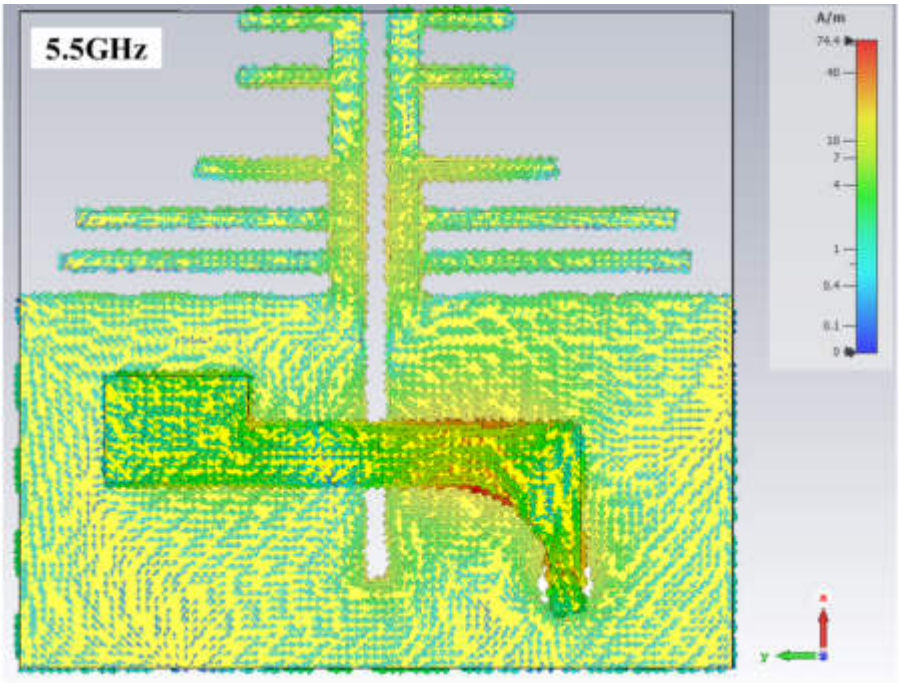


Figure 4. Simulated surface-current distribution at 5.5 GHz.

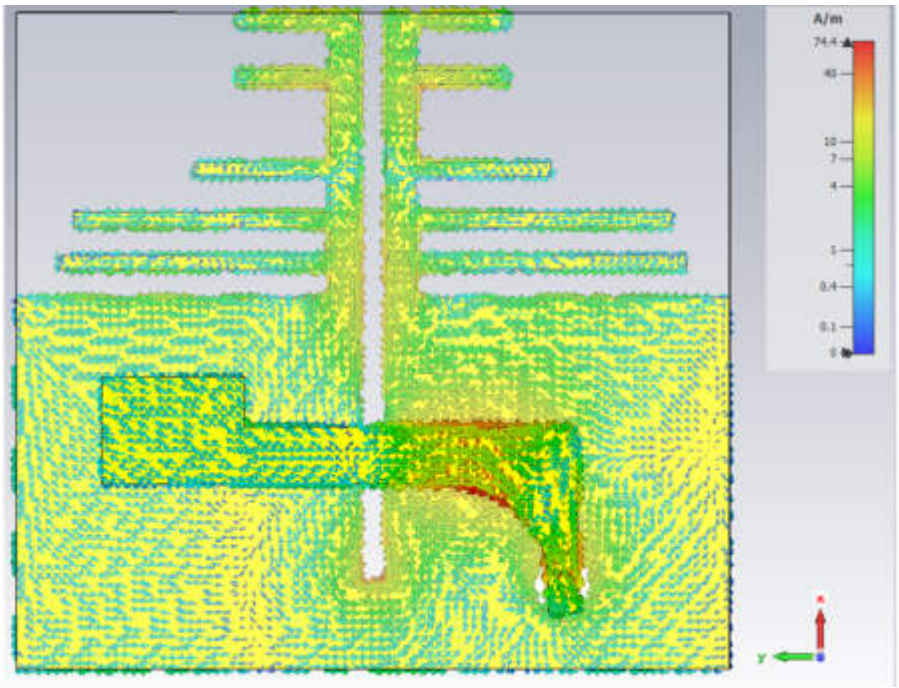


Figure 5. Simulated surface-current distribution at 5.9 GHz.

At 5 GHz, the current distribution is pronounced around the feed transition, central vertical region, and lower serrated elements. At 5.5 GHz, the same general current path is maintained while the distribution over the upper serrated elements becomes more pronounced. The similarity of the current-flow pattern at these two frequencies is consistent with the broad impedance response and demonstrates that the antenna does not depend on a single isolated resonant element.

Far-Field Directivity

The far-field results supplied in the simulation report show a directional main beam over the investigated frequencies. The radiation patterns are presented at 5, 5.3, 5.6, and 5.9 GHz. The corresponding maximum directivity increases from 5.97 dBi to 7.44 dBi as frequency increases (see details in table below). At the same time, the main-lobe direction remains close to the 0° reference direction, varying from 5° at 5 GHz to 359° at 5.9 GHz. Thus, the principal beam remains effectively aligned with the intended forward direction throughout the investigated frequency range.

Frequency	Directivity	Main-lobe direction	3-dB beamwidth	Side-lobe level
5.0 GHz	5.97 dBi	5.0°	71.0°	−11.5 dB
5.3 GHz	6.63 dBi	3.0°	68.8°	−12.6 dB
5.6 GHz	7.08 dBi	1.0°	66.2°	−13.3 dB
5.9 GHz	7.44 dBi	359.0°	62.8°	−13.9 dB

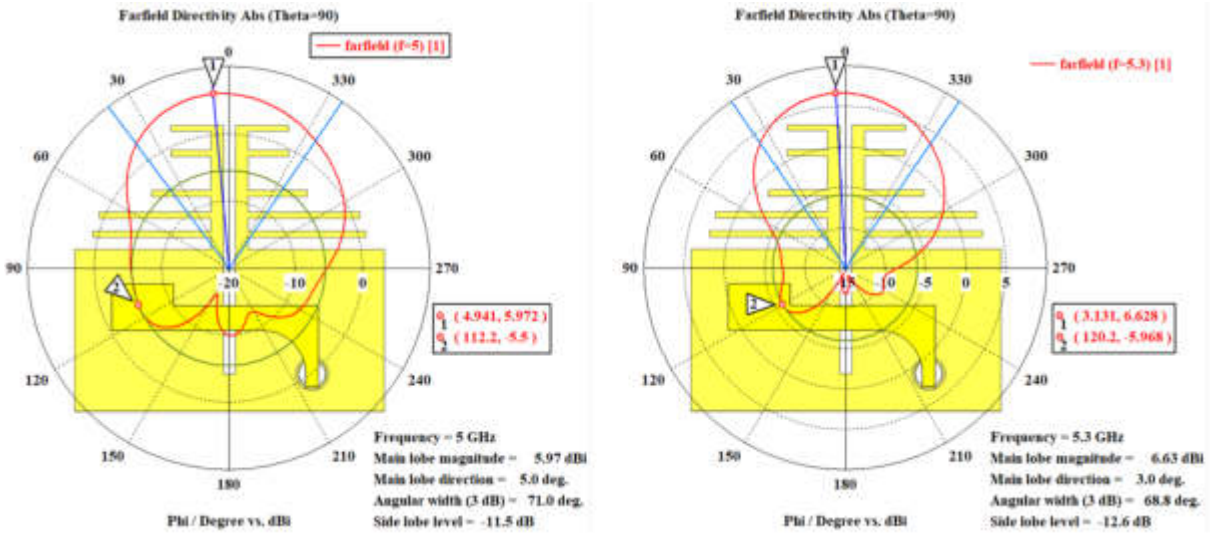


Figure 6. Simulated far-field directivity at 5.0 and 5.3 GHz.

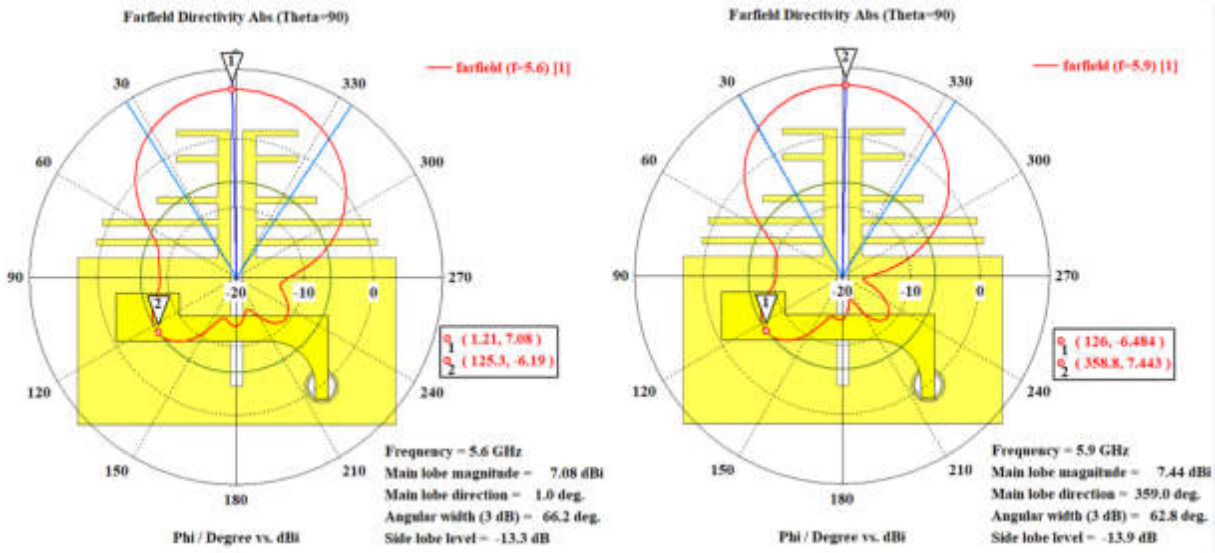


Figure 7. Simulated far-field directivity at 5.6 and 5.9 GHz.

The increase in directivity is accompanied by a reduction in the 3-dB beamwidth from 71.0° at 5 GHz to 62.8° at 5.9 GHz. The side-lobe level also improves from −11.5 dB to −13.9 dB over the same frequency interval. These results indicate that the antenna becomes more concentrated and directional toward the upper part of the investigated band. The main-lobe direction remaining close to 0° is particularly important for a directional countermeasure antenna because it allows the antenna orientation to be used to control the direction of the radiated field.

PERFORMANCE ASSESSMENT

The combined simulation results demonstrate three principal characteristics of the proposed design: compact physical size, wide impedance bandwidth, and increasing directional gain. The 50 × 46 mm footprint is compact for a planar directional structure operating in the 5–6 GHz region.

The 4.92–6.39 GHz response provides coverage of the principal 5 GHz region and extends into the 6 GHz range. This is relevant to modern WLAN systems, for which IEEE 802.11ax supports operation extending into the 6 GHz region [3].

The directivity results further show that the antenna does not merely achieve a wide impedance bandwidth; it also maintains a useful forward radiation characteristic. The maximum directivity increases from 5.97 dBi at 5 GHz to 7.44 dBi at 5.9 GHz, while the 3-dB beamwidth decreases. This combination is beneficial in applications in which available RF power must be concentrated rather than radiated uniformly. Previous UAV-defense studies have identified directional RF transmission and controlled interference as relevant elements of drone countermeasure systems [1], [6]. The present work addresses the antenna-level requirement of such systems by combining compact geometry with broadband and directional characteristics.

It should be emphasized that the results presented in this paper are simulation results obtained from the supplied CST model. The provided material does not contain measured S-parameters, measured radiation patterns, realized-gain measurements, or a fabricated prototype comparison. Therefore, experimental validation remains an important next step before the antenna can be considered fully validated for practical deployment.

CONCLUSION

A compact wideband directional antenna has been presented for portable UAV countermeasure applications. The proposed 50 × 46 mm structure is implemented on a 1.52 mm RO4350B substrate and uses a curved microstrip feed together with serrated radiating elements on the opposite layer. CST simulation results show an approximately 4.92–6.39 GHz impedance operating region around the −10 dB criterion, with a minimum S11 of −42.88 dB at 6.3371 GHz and −14.306 dB at 5.5418 GHz. Surface-current distributions at 5 and 5.5 GHz confirm strong excitation of the feed, central conductor, and serrated radiating sections.

The far-field simulations demonstrate increasing directivity from 5.97 dBi at 5 GHz to 7.44 dBi at 5.9 GHz, while the main beam remains close to the forward 0° direction. The 3-dB beamwidth decreases from 71.0° to 62.8° and the side-lobe level improves from −11.5 dB to −13.9 dB. These results indicate that the proposed antenna provides a useful combination of miniaturization, wideband impedance matching, and directional radiation. Future work should focus on fabrication, VNA-based S-parameter measurements, and anechoic-chamber radiation measurements to verify the simulated performance experimentally.

REFERENCES

[1] F.-L. Chiper, A. Martian, C. Vladeanu, I. Marghescu, R. Craciunescu, and O. Fratu, “Drone Detection and Defense Systems: Survey and a Software-Defined Radio-Based Solution,” Sensors, vol. 22, no. 4, 1453, 2022.

[2] O. Simon and T. Gotthans, “A Survey on the Use of Deep Learning Techniques for UAV Jamming and Deception,” *Electronics*, vol. 11, no. 19, Art. no. 3025, 2022, doi: 10.3390/electronics11193025.

[3] IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 1: Enhancements for High-Efficiency WLAN, IEEE Std. 802.11ax-2021, 2021.

[4] E. Ferro, C. Gennaro, A. Nordio, F. Paonessa, C. Vairo, G. Virone, A. Argentieri, A. Berton, and A. Bragagnini, "5G-Enabled Security Scenarios for Unmanned Aircraft: Experimentation in Urban Environment," *Drones*, vol. 4, no. 2, Art. no. 22, 2020, doi: 10.3390/drones4020022.

[5] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2016.

[6] Y. Zidane, J. S. Silva, and G. Tavares, "Jamming and Spoofing Techniques for Drone Neutralization: An Experimental Study," Drones, vol. 8, no. 12, Art. no. 743, 2024, doi: 10.3390/drones8120743.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

FROM WATER POWER TO FORGOTTEN HERITAGE: THE ŠVICA HYDROELECTRIC POWER PLANT ON THE GACKA RIVER IN CROATIA

Assoc. Prof. Marija Šiško Kuliš
HEP Proizvodnja d.o.o. (HEP Generation)
University of Split, Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture

ABSTRACT
The Švica Hydroelectric Power Plant on the Gacka River near Otočac is a valuable, yet still insufficiently recognised part of Croatia's technical and industrial heritage. It was built in an area with a long tradition of using water power, from mills, sawmills and other water-powered installations to electricity generation. Its construction marked an important step in the electrification of Otočac and the wider Lika region and in the transition from traditional use of water power to organised electricity generation and transmission.
The paper examines the historical development and technical characteristics of Švica HPP and places the plant within the broader development of Croatian hydropower. Particular attention is given to the changes brought about by the development of the Lika–Gacka hydropower system, after which Švica lost its original energy function. The study draws on historical sources, technical documentation, scientific and professional literature, archival periodicals, and an analysis of the surviving remains of the plant.
The technical value of the site is considered through the original functions of the hydropower system, its structures and equipment, while its industrial heritage value is examined in the wider context of electrification, economic development, local community life and spatial change. This approach also places Švica within the continuous history of water use on the Gacka, from old mills to hydroelectric generation. The final part discusses options for preservation and contemporary valorisation while retaining the site's technical authenticity and identity, particularly through educational, cultural and tourism-oriented interpretation. Švica could thus become not only a preserved trace of an earlier energy system, but also a resource for education, technical culture and local development.
Keywords: Švica HPP, Gacka River, hydropower, mills, electrification, technical heritage, industrial heritage, tourism and educational valorisation

1. INTRODUCTION
The history of water-power use on the Gacka River is much older than the history of electricity generation. Abundant karst springs and natural drops supported mills, sawmills, fulling mills and other water-powered installations. Water energy was used directly where it was available, so economic activity remained closely tied to the river. Karleuša (2006) notes that such installations existed on the Gacka long before the hydroelectric plant and that natural waterfalls allowed them to operate without major diversion works.
A particularly suitable location was Skela in Švica. Mills and a sawmill preceded the hydroelectric plant there, which meant that the same hydraulic potential was used in different ways over time. This continuity gives the site much of its research value: within a relatively small area, one can trace the shift from direct mechanical use of water power to local electrification and later to a large integrated hydropower system.
The construction of Švica HPP in 1935 changed the local community's relationship with the energy of the Gacka. Hydraulic energy no longer served only machinery beside the river; it was converted into electricity that could be transmitted to more distant consumers. Švica therefore became part of the electrification of Otočac and its surroundings.

The development of the power system after the Second World War gradually changed the position of small local hydroelectric plants. Rising demand required larger generating capacities and broader system interconnection. In that process, Švica HPP lost its original role, while the waters of the Lika and Gacka were incorporated into a much larger hydropower system. For the purposes of this paper, the key issue is the effect of that change on Švica: the end of the local generation model and the transformation of the Gacka energy landscape.

The aim of the paper is to reconstruct the technical and historical development of Švica HPP, explain its role in local electrification, and assess its present value as part of Croatia's technical and industrial heritage.

The analysis addresses two related questions: which technical and spatial changes marked the transition from Švica HPP to the larger Lika–Gacka system, and which elements of that transition should be preserved and interpreted as technical and industrial heritage?



Figure 1. Information panel in Švica showing water-powered installations, the hydroelectric plant and changes in the landscape. Source: author's photograph.

2. MATERIALS AND METHODS

The paper is designed as a historical and technical case study. It draws on professional literature on Švica HPP, available documentation on the hydropower development of the Gacka, archival periodicals, and photographs of the site in its present condition. Particular use is made of Radoslav Karleuša's 2006 article, which provides a series of technical data on the construction, reconstruction and closure of Švica HPP.

Archival periodicals from the 1960s are used as supplementary sources, mainly to illustrate the transition from a local generating facility to a larger hydropower system. They are not treated as a separate subject of analysis, but as contextual evidence for understanding the changes that affected Švica.

Newspaper material is not used as a substitute for technical documentation. It is treated as a contemporary record of construction progress, public perceptions of the project and the chronology of its completion, while technical characteristics are checked against professional and official sources.

Descriptive, historical and comparative methods are applied. The development is examined through three energy regimes: traditional water-powered installations, the local hydroelectric plant, and the large integrated hydropower system. In the heritage assessment, the technical characteristics of the plant are distinguished from the site's broader industrial, economic, social and spatial significance.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. From Water-Powered Installations to Electricity Generation

For centuries, the Gacka River was an important economic resource because of its hydrological characteristics. Karleuša (2006) states that its abundant springs and year-round water supply supported mills, sawmills, fulling mills and other water-powered installations. Waterfalls in the riverbed made it possible to build such facilities without major hydraulic works. One of these energy steps was at Skela near Švica, where an old mill and sawmill stood beside the sinkhole. The existing use of water at that location was one of the starting points for the later hydroelectric project.

The history of Švica HPP therefore cannot be fully understood without the older mills. They represent the first technical phase in the use of the same hydraulic potential. In the mills, the energy of the Gacka was used directly at the source; the hydroelectric plant introduced conversion into electricity and transmission to consumers. This spatial and technological continuity between the older water-powered installations and the power plant gives the site additional value for interpreting the technical history of the Gacka.

Preparations for hydropower development on the Gacka began well before the plant was built. According to Karleuša (2006), systematic measurements of discharge, elevation differences and property relations began in 1908 and resumed in 1919 after interruptions caused by the First World War. Early proposals also considered the joint use of the Gacka and Lika waters, with conveyance towards the Adriatic coast. That concept was not implemented at the time, and a local solution was ultimately adopted at the site of the existing mill and sawmill in Švica.

The first systematic preparations for hydropower use of the Gacka began in 1908. Early planning also considered a broader use of the water potential of the Lika and Gacka rivers, but the local plant at Švica represented a realistic and spatially limited response to the electrification needs of Otočac and the surrounding area (Karleuša, 2006).

3.2. Construction and Initial Technical Characteristics of Švica HPP

Construction of Švica HPP began in 1935, and the plant entered trial operation on 14 December of the same year. According to Karleuša (2006), Francis turbines rated at 105 hp and a three-phase generator rated at 100 kVA, 400 V and 50 Hz were installed. In its initial phase, the plant used a discharge of approximately 1.19 m^3/s.

Electricity was transmitted to Otočac through an approximately 5.5 km, 10 kV line carried on wooden poles. This gave local generation a wider spatial reach. Otočac obtained public lighting, and electricity also began to supply smaller economic activities. Švica HPP should therefore not be viewed simply as a generating facility. The plant, voltage transformation and transmission line formed a small but functionally complete local power system.

Indicator	Data
Year of construction	1935
Trial operation	14 December 1935
Turbine type	Francis
Turbine rating	105 hp
Generator	three-phase, 100 kVA
Rated generator voltage	400 V
Frequency	50 Hz
Initial discharge	approx. 1.19 m³/s
Transmission to Otočac	10 kV, approx. 5.5 km

Table 1. Basic technical data for the initial phase of Švica HPP. Source: based on Karleuša (2006).

3.3. Reconstruction and Growth in Electricity Demand

Industrial development in Otočac and rising electricity demand gradually exceeded the capacity of the original plant. Karleuša (2006) states that preparations for reconstruction began in 1949 and that two 250 kVA generators were obtained from Pula. The works altered the interior of the building, replaced the original pitched roof with a flat roof, and added a concrete channel to supply water to the turbines. Available discharge increased from approximately 1.19 to 5 m³/s, while the overall capacity of the plant rose by about 4.5 times. The higher output also enabled construction of the approximately 14 km Otočac–Tonkovići transmission line.

The reconstructed plant returned to service in 1954. The higher output enabled further expansion of the local system, including the Otočac–Tonkovići line. This phase shows that Švica was not a short-lived solution, but infrastructure that adapted to the growing needs of the local economy.

3.4. Closure of Švica HPP

Further growth in demand and Otočac's connection to a larger power system reduced the relative importance of Švica HPP. Karleuša (2006) notes that Otočac was connected to Vinodol by a dedicated transmission line in 1959 and that the turbines at Švica were stopped on 31 December 1961. When flow through the Gacka branch towards Švica ceased, the mill and sawmill also stopped operating. The change therefore extended beyond the closure of electricity generation: the local water regime was altered and everyday activities that had been tied to the river for decades disappeared.

The closure of the plant should be distinguished from the later hydraulic transformation of the area. Incorporation of the Gacka waters into the larger hydropower system further altered the water regime around Švica and affected the landscape in which the older water-powered installations and the hydroelectric plant had operated.

Karleuša (2006) also draws attention to the loss of part of the cultural landscape. With the altered flow, everyday scenes and practices associated with the Gacka disappeared: mills and sawmills ceased to operate, livestock watering and water collection declined, and other forms of river-related life vanished. This broadens the heritage value of Švica beyond technical history alone. The site also records a change in the relationship between water, settlement and the local economy.



Graphic 1. Key stages in the development of Švica HPP in the context of hydropower use of the Gacka. Source: author, based on Karleuša (2006), HEP and archival material.

3.5. Švica in the Transition to a Larger Hydropower System

With the development of the Lika–Gacka hydropower system, the local Švica HPP lost its place in the new organisation of electricity generation. The waters of the Gacka were incorporated into a spatially and technically much larger system centred on Senj HPP, officially commissioned in 1966. The technical characteristics of Senj HPP are not the subject of this paper; the relevant point is the consequence for Švica: the end of the local generation model and a change in the water regime and landscape.

The 1963 issue of the periodical Čovjek i kolektiv is therefore used only to illustrate the scale of the new system. The comparison confirms the transition from a small plant associated with local electrification to an infrastructure system of regional significance.



čovjek i kolektiv

LIST GRAĐEVINSKOG PODUZEĆA „KONSTRUKTOR" – SPLIT

GODINA IV KOLOVOZ - RUJAN 1963. BROJ 16

HIDROELEKTRANA „SENJ"

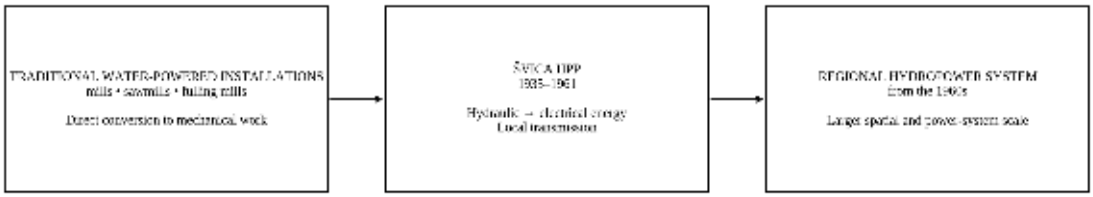
Gradilišta sa tehničkom opremljenošću evropskih dostignuća

Figure 2. Archival article on the construction of the larger Lika–Gacka hydropower system. Source: Čovjek i kolektiv, Vol. IV, No. 16, August–September 1963.

3.6. Analytical Model of Three Energy Regimes

Three successive models of using the same natural energy source can be identified along the Gacka. In the first, water directly powered local machinery, so the place of energy production and the place of use were almost identical. In the second, Švica HPP converted hydraulic energy into electricity and enabled its transmission to Otočac. In the third, the waters of the Gacka became part of a spatially integrated hydropower system connected to the high-voltage grid.

This development shows that technological progress involved more than an increase in installed capacity. The spatial extent of the system, water management, transmission infrastructure and the local community's relationship with the river all changed. For this reason, Švica has value as part of an energy landscape, not merely as the isolated ruin of a former power plant.



Graphic 2. Change in the scale of water-energy use on the Gacka. Source: author.

Period / year	Event	Technical and economic significance
Before the 20th century	Mills, sawmills, fulling mills and other water-powered installations	Direct conversion of water energy into mechanical work.
1908	Beginning of systematic preparations for hydropower use of the Gacka	Start of organised planning for electricity generation.
1935	Construction of Švica HPP and trial operation on 14 December	Transition from traditional water power to electricity generation.
1952–1954	Reconstruction of the plant	Increase in available discharge and generating capacity.
1954	Reconstructed plant returned to operation	Second development phase of Švica HPP.
31 Dec 1961	Turbines at Švica HPP stopped	End of the plant's active generating function.
1960s	Development of the Lika–Gacka hydropower system and diversion of waters	Change in the scale of water-energy use and in the water regime around Švica.

Table 2. Chronology of Švica HPP and changes in hydropower use of the Gacka. Source: based on Karleuša (2006), HEP and archival material.

3.7. Švica HPP as Technical and Industrial Heritage

The end of electricity generation does not necessarily eliminate the value of an energy facility. Its function changes: instead of producing electricity, the structures, equipment and traces of the technological process become evidence for the history of technology. At Švica, the whole functional system is important: the river, water intake and discharge, hydraulic structures, turbines, generators, electrical equipment and transmission to consumers.

The site's industrial heritage value is broader than its technical value. It includes the electrification of Otočac, the economic effects of access to electricity, changes in everyday life, and the relationship between the local community and the landscape. This interpretation is consistent with international industrial heritage documents, which do not limit value to individual buildings and machines, but include production systems, infrastructure, landscape, documentation and social context (TICCIH, 2003; ICOMOS & TICCIH, 2011).

Area	Subject of assessment	Significance	Preservation guideline
Technical heritage	Hydraulic structures and traces of water intake/discharge	Explain the use of the Gacka's hydraulic potential	Record and preserve spatial and functional relationships.
Technical heritage	Turbine-generator equipment and surviving traces	Document energy conversion	Preserve original equipment in situ where possible; reconstruct missing elements through documentation or digital media.
Technical heritage	Electrical equipment and transmission	Evidence of the local power system	Document technical characteristics and the route of the former system.
Technical heritage	1935 and 1952–1954 phases	Show adaptation to growing demand	Preserve the legibility of different development phases.
Industrial heritage	Electrification of Otočac and surroundings	Links energy infrastructure with changes in living and working conditions	Interpret the plant within the history of local electrification.
Industrial heritage	Local community	Part of the social and economic history of the area	Collect photographs, documents and oral testimony.
Industrial heritage	Gacka energy landscape	Links water-powered installations, Švica HPP and the later regional hydropower system	Interpret the site as part of a wider landscape, not as an isolated building.
Contemporary valorisation	Educational and cultural content	Helps explain the development of hydropower	Develop content grounded in the site's original function.

Table 3. Heritage assessment of Švica HPP. Source: author, based on the analysed sources and international industrial heritage principles.

3.8. Preservation and Contemporary Valorisation

Future valorisation of Švica should begin with the preservation of the site's authenticity and a clear interpretation of its original function. A technical inventory should cover the remaining structures, hydraulic elements, mechanical and electrical equipment, and traces of earlier water-powered installations.

This would make it possible to connect, within one site, the history of mills and sawmills with the development of the hydroelectric plant and the electrification of Otočac.
For each surviving element, the original function, approximate date, state of preservation and relationship to other parts of the system should be established. It is particularly important to distinguish the original 1935 phase from the reconstruction of the 1950s, because both stages have technical and historical value.
Digital reconstruction would be especially useful where equipment has disappeared or survives only in part. Technical documentation and historical photographs could be used to show the water path through the plant, turbine and generator operation, transmission of electricity to Otočac, and the relationship between the hydroelectric plant and the older mills and other water-powered installations. Such interpretation would have clear educational value and would explain technological development without disturbing the surviving structure of the site.



Figure 3. Švica then and now: historical waterfalls and the present Gacka flow in the area of the former hydroelectric plant. Source: supplied visual material.

Švica therefore has genuine potential for tourism and educational valorisation. The idea is not new. As early as 2006, Karleuša proposed preserving the existing power-house building, supplementing the presentation with surviving elements of old equipment, and involving local tourism organisations in the protection and interpretation of the site. A contemporary approach could develop that proposal through an interpretation route linking the old mills, the remains of the hydroelectric plant and the electrification of Otočac, supported by discreet information points, digital reconstruction of plant operation, and material designed for pupils, students and visitors.

A particular advantage of this approach would be the possibility of linking technical heritage with the natural and cultural features of the Gacka. A visit to the site could explain at the same time how water shaped the local economy, how the old mills worked, and how the same river later became a source of electricity. Preservation of industrial heritage could thus be connected with education and sustainable local tourism without interventions that would reduce the authenticity of the site.

A limitation of the study is the incomplete nature of part of the archival material, particularly newspaper clippings without visible bibliographic data, as well as the fact that some of the original Švica HPP equipment is no longer preserved in situ. Conclusions about the plant's technical configuration are therefore drawn only where they are supported by documentation, professional sources or mutually consistent historical records.

4. CONCLUSION

Švica HPP holds a distinct place in the history of water-energy use on the Gacka. It was built in an area where water had long powered mills, sawmills and other installations directly, and its construction in 1935 marked the transition to electricity generation and transmission.

Its significance does not derive from technical characteristics alone. Švica HPP contributed to the electrification of Otočac and its surroundings and made the energy of the Gacka available beyond the immediate river corridor. Reconstruction in the early 1950s shows that the plant continued to play a developmental role after its initial phase, but rising demand and the development of a larger system gradually made the local model insufficient.

When the turbines were stopped on 31 December 1961, the active generating function of Švica HPP ended. The later development of the Lika–Gacka hydropower system further altered the water regime and spatial conditions around Švica. The site lost its original energy function, but acquired a new value as evidence of an earlier phase in the development of Croatian hydropower.

Today, one of Švica's strongest values lies in its ability to show both continuity and rupture between three energy regimes: traditional water-powered installations, the local hydroelectric plant and the large integrated hydropower system. The old mills and the remains of Švica HPP are not separate stories, but successive phases in the use of the same water potential. They should therefore be interpreted as connected elements of technical and industrial heritage and of the wider energy landscape of the Gacka.

A professionally grounded valorisation should begin with inventory, documentation and protection of the surviving elements, followed by interpretation. The 2006 article in Građevinar already argued that the existing Švica power-house building should be preserved as part of the country's construction and energy heritage. Today, that proposal can be extended by linking technical heritage with the old mills, the local history of the Gacka, and carefully designed tourism and educational content. In this way, Švica could remain an authentic site of technical memory while also becoming a place for learning, technical culture and sustainable local tourism.

REFERENCES

Čovjek i kolektiv. (1963). Hidroelektrana “Senj”; Naša gradilišta u Hrmotinama i Grabovi [Senj Hydroelectric Power Plant; Our construction sites at Hrmotine and Grabovi]. Vol. IV, No. 16, August–September 1963.

HEP. (2016, November 29). 50. obljetnica rada Hidroelektrane Senj [50th anniversary of Senj Hydroelectric Power Plant]. Hrvatska elektroprivreda.

ICOMOS & TICCIH. (2011). The Dublin Principles: Joint ICOMOS–TICCIH Principles for the Conservation of Industrial Heritage Sites, Structures, Areas and Landscapes.

Karleuša, R. (2006). Ostaci hidroelektrane Švica na rijeci Gacki [Remains of the Švica Hydropower Plant on the Gacka River]. Građevinar, 58(9), 767–770.

Kranjčević, M. (2001). Hidrocentrala u Švici [The Švica Hydroelectric Plant]. In Grad Otočac, 6

TICCIH. (2003). The Nizhny Tagil Charter for the Industrial Heritage.

CHARGE AHEAD: THE ELECTRIC VEHICLE REVOLUTION

AKASH C S
R.M.K. Engineering College

ANANDHA BALAN K
R.M.K. Engineering College

ANANTH S
R.M.K. Engineering College

ARIHARAN S
R.M.K. Engineering College

ASWIN Y B JOEL
R.M.K. Engineering College

Dr. A. VIJAYALAKSHMI
R.M.K. Engineering College

Abstract
Electric vehicles (EVs) are reshaping global transport by lowering carbon emissions, reducing reliance on fossil fuels, and improving urban air quality as climate pressures mount. Road transport contributes roughly 12% of worldwide greenhouse gas emissions. Because EVs release no tailpipe emissions, reaching a 30% adoption rate could cut annual CO_2 output by about 1.5 gigatons by 2030. Advances in lithium-ion batteries, fast-charging networks, and regenerative braking now enable real-world ranges of 300-500 km, suitable for daily commuting, city driving, and longer highway trips.
The economic case is equally strong. Oil-importing countries such as India could save up to $200 billion annually, while the sector may generate around 10 million jobs in battery production, vehicle assembly, and charging infrastructure by 2030. Electricity costs roughly 70% less per kilometre than petrol or diesel, making EVs more affordable for households and businesses. Energy security also improves as power generation shifts toward domestic solar and wind, supported by innovations such as solid-state batteries with ranges above 800 km and vehicle-to-grid (V2G) technology, which returns stored energy to smart grids to ease peak demand.
Environmentally, EVs can reduce nitrogen oxide (NOx) emissions by up to 40%, easing urban smog, and they integrate well with renewable-based power grids. Concerns over lithium and cobalt mining remain, but advanced recycling methods, a market projected at $15 billion, and solar-powered charging stations are helping shrink the ecological footprint.
Policy support is growing worldwide. India's FAME-III scheme earmarks ₹10,000 crore in subsidies, backed by tax incentives and a target of 30% EV penetration by 2030. Taken together, these developments position EVs as a driving force for sustainable mobility, offering resilience against oil price swings and climate disruption and pointing toward a cleaner, more efficient, electrified future.
Keywords: electric vehicles; sustainable mobility; zero-emission transport; battery innovation; energy transition; air quality improvement; vehicle-to-grid (V2G).

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

FROM MEASUREMENT TO MITIGATION: THE VALUE OF CARBON FOOTPRINT CALCULATION

AMMINENI SUDEEPTHI
R.M.K. Engineering College

ANTHATI BHAVESSHYA
R.M.K. Engineering College

BATHMAVATHY S
R.M.K. Engineering College

BERI DHARANI REDDY
R.M.K. Engineering College

BOYILLA PRANATHI
R.M.K. Engineering College

DR. A. VIJAYALAKSHMI
R.M.K. Engineering College

Abstract
Carbon footprint calculation has become a foundational tool for understanding and reducing the climate impact of individuals, products, and organizations. By expressing diverse greenhouse gas emissions as a single metric, carbon dioxide equivalent (CO_2e), it allows consistent comparison across activities, sectors, and time periods. This paper examines the principles, methods, and practical value of carbon footprint accounting, emphasizing that measurement should support informed decision-making rather than serve as an end in itself.
The discussion begins with the core calculation approach, in which activity data such as electricity use, fuel consumption, travel, and purchased goods are multiplied by relevant emission factors. It then outlines the Greenhouse Gas Protocol framework, which classifies emissions into Scope 1 (direct), Scope 2 (purchased energy), and Scope 3 (value chain) categories. Particular attention is given to Scope 3, which often represents the largest share of an organization's emissions yet remains the hardest to quantify because of data gaps and supplier dependence.
Common methodological challenges are also considered, including reliance on spend-based estimates, use of outdated or geographically mismatched emission factors, inconsistent organizational boundaries, and double counting. These issues affect accuracy and credibility, so footprints should be treated as estimates with acknowledged uncertainty.
Finally, the paper shows how calculation translates into action. Establishing a baseline year, identifying emission hotspots, setting science-aligned reduction targets, and tracking progress over time allow organizations and individuals to prioritize effective interventions. Reliable footprint data also supports regulatory compliance, sustainability reporting, and transparent communication with investors and customers. The paper concludes that the real strength of carbon footprint calculation lies not in the figure it produces but in the strategic decisions it makes possible.
Keywords: carbon footprint; greenhouse gas emissions; GHG Protocol; emission factors; sustainability reporting; decarbonization; climate action

KINETIC MODELING OF LAMBERTIANIN-C DEGRADATION AND THE IMPACT OF PROBIOTIC- PHENOLIC INTERACTIONS ON THE SHELF LIFE OF PROBIOTIC RASPBERRY JAM

Prof. Dr. Özlem TOKUŞOĞLU
Manisa Celal Bayar University, Engineering Faculty, Department of Food Engineering
Dokuz Eylül University, Depark Technopark, Spil Innova LLC.
ORCID: 0000-0002-8960-5641

Burak DEMİRCİ
Manisa Celal Bayar University, Engineering Faculty, Department of Food Engineering
ORCID: 0000-0001-5745- 7309

ABSTRACT
Raspberry jam is a rich source of Lambertianin C, a complex ellagitannin known for its strong antioxidant properties. Incorporating probiotic cultures into fruit preserves creates a functional food, but the stability of both the bioactive compounds and the live microorganisms during storage remains a critical challenge. This study aimed to model the degradation kinetics of Lambertianin C during the processing and storage of probiotic raspberry jam, while simultaneously evaluating how interactions between the probiotic culture (*Lactobacillus rhamnosus* GG) and phenolic compounds influence the product's overall shelf life. Raspberry jam was formulated and inoculated with *L. rhamnosus* GG at an initial level of 8.5 log CFU/g. Control (non-probiotic) and probiotic jams were stored at 4°C, 22°C, and 37°C for 120 days. Lambertianin C quantification was performed using High-Performance Liquid Chromatography with a Diode-Array Detector (HPLC-DAD). Kinetic parameters including the reaction rate constant (k), half-life ($t_{1/2}$), and activation energy (E_a) were calculated using zero, first, and second-order kinetic models. The degradation of Lambertianin C followed first-order kinetics (R^2 >0.96). Thermal processing during jam making caused an initial loss of 28.5% of Lambertianin C. At 4°C, Lambertianin C was highly stable, with a degradation rate constant (k) of 1.8 x 10^{-3} day-1 and a half-life ($t_{1/2}$) of 385 days. At 22°C,the degradation accelerated (k = 5.4 x 10^{-3} day-1, $t_{1/2}$=128 days), and at 37°C, severe losses occurred (k = 16.2 x 10^{-3} day-1, $t_{1/2}$=42.7 days). The activation energy (E_a) for Lambertianin C degredation was determined to be 68.4 kJ/mol. The presence of *L.rhamnosus* GG significantly altered the phenolic profile. Owing to the probiotic-phenolic interaction, probiotics biotransformed Lambertianin C into simpler ellagic acid derivatives, increasing free ellagic acid by 34.2% by day 60 at 22°C. The phenolic compounds exerted a protective effect on the microaerophilic probiotics. At 4°C, probiotic viability remained above the therapeutic threshold (6.2 log CFU/g) for the entire 120 days. However, at 22°C, the shelf life based on probiotic viability was limited to 45 days, as the accumulation of metabolized phenolic by-products and organic acids accelerated bacterial decline. Kinetic modeling successfully predicts that refrigerated storage (4°C) is mandatory to maintain both Lambertianin C integrity and probiotic viability above functional thresholds. The biotransformation of ellagitannins by *L.rhamnosus* GG enhances the bioaccessibility of phenolic monomers, though it restricts the microbial shelf life under ambient temperatures.
Keywords: Raspberry Jam, Lambertianin-C, Probiotic, *L.rhamnosus* GG, Shelf-Life, Kinetic Modeling

INTRODUCTION

1. Introduction

Raspberry (*Rubus idaeus* L.) has gained significant recognition within the functional food sector due to its remarkable concentration of health-promoting secondary metabolites, which exhibit potent antioxidant, anti-inflammatory, and anti-proliferative biological properties. The bioactive infrastructure of raspberries is uniquely characterized by high levels of hydrolyzable tannins, specifically a subclass known as ellagitannins, alongside diverse groups of anthocyanins, flavonols, and phenolic acids. Among these poly-phenolic architectures, the dimeric ellagitannin Sanguiin H-6 and the highly complex trimeric macro-molecule Lambertianin-C represent the dominant functional biomarkers, dictating a vast portion of the fruit's overall radical-scavenging capacity and in vitro therapeutic potency. These macro-molecules are highly valued for their ability to undergo metabolic breakdown into smaller, bioavailable metabolites that actively reduce oxidative stress markers in human biological systems.

However, despite their intense therapeutic profile, the industrial processing of raspberries into value-added products like jams exposes these target molecules to heavy structural stress. Both Sanguiin H-6 and Lambertianin-C possess highly complex structures with numerous ester bonds and hexahydroxydiphenoyl (HHDP) groups that are notoriously vulnerable to spontaneous chemical modifications, thermal cleavage, and acid-catalyzed autolysis. During extended storage periods, the hydronium ions (H_3O^+) present within the naturally acidic fruit matrix continuously attack the core linkages of these macro-molecules, causing a severe reduction in structural stability, triggering irreversible color loss, and leading to a significant drop in the functional shelf life of the final consumer product.

To accurately interpret, project, and systematically control these degradative networks, the application of mathematical modeling based on chemical reaction kinetics has emerged as a fundamental diagnostic tool in modern food chemistry. Modeling the structural decay of complex ellagitannins using distinct zero-order or first-order reaction equations allows food scientists to calculate absolute degradation rate constants (k) and establish highly precise half-life indices ($t_{1/2}$) specific to each matrix setup. When combined with the classical Arrhenius equation, these kinetic frameworks reveal the thermodynamic activation energies (Ea) required to initiate hydrolytic breakdown, providing a quantitative baseline to evaluate how different processing parameters or matrix ingredients accelerate or decelerate bioactive loss. However, traditional fruit preserves rely heavily on high concentrations of sucrose to achieve the high osmotic pressure and water activity reductions needed to stabilize the gel network through conventional high-methoxyl pectin grids. This conventional configuration introduces severe chemical and physical limitations when expanding the matrix into modern functional designs, particularly when attempting to incorporate live probiotic strains or adjusting the carbohydrate layout to satisfy the rapidly growing consumer demand for low-glycemic, low-energy, and diabetic-friendly alternatives (Tokuşoğlu,2026) .

The integration of beneficial probiotic biomass into fruit-based delivery vehicles represents an advanced approach to support gut microbiota homeostasis, but it introduces highly intricate, multi-directional probiotic-phenolic interactions that fundamentally reshape the chemical ecology of the food matrix. In conventional formulations, the extreme osmotic stress induced by massive sucrose concentrations prompts severe cellular plasmolysis and rapid viability losses among the integrated bacteria, while concurrently triggering uncontrolled post-acidification loops that further accelerate the chemical degradation of the matrix.

Conversely, substituting sucrose with functional polyols like maltitol coupled with high-intensity natural sweeteners like stevia alters the environmental pressure, effectively shielding the microbial cell wall from osmotic shock while reshaping the structural network via low-methoxyl pectin cross-linking. Once homeostatic survival is established, the viable probiotic cells actively interact with the matrix phenolics through complex metabolic pathways, utilizing specialized intracellular and extracellular enzymes—most notably beta-glucosidase to systematically hydrolyze bound glycosidic clusters and complex macro-ellagitannins. This active microbial conversion breaks down the large, sterically strained structures of Sanguiin H-6 and Lambertianin-C into highly stable, free monomeric forms such as Ellagic acid, effectively compensating for spontaneous chemical decay, maintaining high antioxidant capacities, and eliminating sucrose-mediated enzyme masking to unlock superior in vitro health indices like alpha-glucosidase inhibition (Tokuşoğlu,2026).

Despite the growing body of literature tracking general polyphenol behavior in standard food matrices, there remains a critical research gap regarding the precise mathematical degradation kinetics of isolated macromolecular ellagitannins under the simultaneous influence of probiotic metabolic activity and alternative sweetening matrices. Most current studies focus on broad spectrophotometric phenolic indices or general viability counts, leaving the specific molecular transitions, kinetic reaction rate parameters, and structural stability boundaries of dimeric and trimeric ellagitannins largely unexplained. Therefore, the primary objective of this study was to establish the comprehensive first-order degradation kinetics of Sanguiin H-6 and Lambertianin-C across four strategically designed raspberry jam configurations (SAR, PSAR, PŞAR, PDAR) over a rigorous 90-day storage period, while simultaneously investigating the symbiotic probiotic-phenolic interactions that dictate the overall bioactive retention. By comparing traditional sucrose grids against innovative maltitol-stevia matrices cross-linked with low-methoxyl pectin, this work aims to provide absolute kinetic constants, quantify individual phenolic acid transformations, evaluate structural texture parameters, and deploy advanced chemometric Principal Component Analysis (PCA) models to engineer high-tier, shelf-stable functional foods with verified therapeutic potential.

MATERIALS AND METHODS

Structural Design and Formulation of Experimental Raspberry Jams

The experimental architecture of this study comprised four distinct raspberry preserve formulations engineered to systematically delineate the effects of carbohydrate modulation and microbial integration on bioactive retention networks. The baseline reference group, designated as Standard Raspberry Jam (SAR), was manufactured using a conventional sucrose-driven recipe combined with standard commercial high-methoxyl pectin under controlled thermal evaporation to achieve a high soluble solid density. The second variation, named Probiotic Standard Raspberry Jam (PSAR), retained the exact chemical matrix and high-Brix layout of the SAR control but was carefully fortified with active probiotic cell biomass after the cooling phase dropped below the thermal inactivation threshold of the micro-organisms. To combat the severe osmotic constraints and physiological limitations historically associated with high-sucrose preservation grids, two distinct sugar-free variations were developed. The Probiotic Sugar-Free Raspberry Jam (PŞAR) was constructed by entirely substituting the sucrose content with a bulk-filling sugar alcohol, specifically maltitol, alongside the high-intensity natural sweetener stevia. The final configuration, Probiotic Diabetic Raspberry Jam (PDAR), utilized the identical stevia-maltitol binary sweetening platform but was optimized as a low-energy dietetic layout.

Due to the absolute lack of sucrose crystallization and hydrogen-bonding networks in the PŞAR and PDAR formulations, gelling mechanics were managed by introducing low-methoxyl pectin (LMP) dynamically cross-linked with exogenous calcium ions (Ca^{2+}) to yield stable structural "egg-box" coordination matrices. All finished functional batches were packed into hermetic glass vessels and stored under non-disruptive, isothermal conditions for a 90-day testing window monitored at four distinct analytical checkpoints consisting of Day 0, Day 30, Day 60, and Day 90.

Tracking of Physico-Chemical Homeostasis and Hydrocolloid Integrity

To evaluate the micro-environmental stability and chemical kinetics inside the fruit matrix across the storage lifecycle, an array of physical and chemical quality analyses was systematically executed at each designated time interval. The total soluble solid content, expressed directly as degrees Brix (°Brix), was captured using a digital refractometer equipped with automatic temperature compensation features to evaluate the exact density gaps between high-sucrose and polyol-stabilized groups (Mattila-Sandholm et.al.,2002). The dynamic tracking of matrix acidification was accomplished by direct potentiometric measurement of the pH profiles utilizing a calibrated digital pH meter featuring a glass combination electrode. Concurrently, the cumulative accumulation of organic acids was determined through automated volumetric neutralization using standardized sodium hydroxide solutions, with the total titratable acidity mathematically modeled and presented as a weight percentage of anhydrous citric acid equivalents. The mechanical stability of the gelling agent and its ability to retain free serum inside the hydrocolloid network were measured via empirical syneresis testing, calculating the exact weight percentage of free water released from the gel matrix after controlled centrifugation cycles. Furthermore, the chemical degradation velocity of hexose units and the initiation of non-enzymatic browning cascades via Maillard pathway intermediates were mapped by tracking the production kinetics and accumulation limits of hydroxymethylfurfural (HMF, mg/kg) utilizing optimized spectrophotometric parameters across all four matrices.

Instrumental Textural Analysis and Microbial Homeostasis Monitoring

The structural resistance, mechanical thickness, and physical deformation paths of the gel networks were investigated using automated instrumental Texture Profile Analysis (TPA) on a calibrated texture analyzer. The peak compression force required to complete the initial down-stroke deformation was documented as absolute hardness expressed in Newtons (N), serving as a direct indicator of the micro-structural tightness of both the sucrose-mediated high-methoxyl pectin grids and the calcium-coordinated low-methoxyl pectin bridges. For the microbiological tracking, the viability, resilience, and survival dynamics of the integrated probiotic strains were monitored over the 90-day storage period using selective plate counting methods. Representative jam portions were systematically homogenized in sterile physiological saline diluents, subjected to serial decimal dilutions, and inoculated onto selective de Man, Rogosa, and Sharpe (MRS) agar surfaces. Following a strictly maintained anaerobic incubation phase at optimal growth temperatures, the surviving bacterial population was counted and mathematically converted into logarithmic colony-forming units per gram of jam (log CFU/g) to determine if the residual viable biomass successfully satisfied the international therapeutic functional threshold of greater than 6.0 log CFU/g required for probiotic functional label status.

Liquid Chromatographic Isolation of Macro-Ellagitannins and Target Polyphenols

The screening, separation, and individual absolute quantification of target hydrolyzable tannins, flavonols, and phenolic acids were conducted using a High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) system coupled with a Diode Array Detector (DAD) set at multi-wavelength absorption points. The primary dimeric ellagitannin biomarker, Sanguiin H-6, alongside the complex trimeric macromolecule, Lambertianin-C, were baseline-resolved and quantified using external standard calibration curves to extract their precise time-dependent structural decay rate parameters. Beyond the macro-tannin profiles, individual phenolic acids and stilbene variants were mapped in a single chromatographic execution to capture the simultaneous accumulation kinetics of free Ellagic acid, alongside the precise behavioral paths of Gallic acid, Chlorogenic acid, and the stilbene Resveratrol (expressed in µg/100g). The multi-component single-injection protocol was further extended to capture the comprehensive flavonol profile, tracking the simultaneous structural transitions of Free Quercetin and its complex bound glycoside form, Quercetin-3-rutinoside. Finally, flavan-3-ol monomers were quantified by mapping the specific absorption pathways of the Catechin group to provide an absolute, non-overlapping chromatographic fingerprint of the raspberry matrices over the 90-day storage timeline.

Spectrophotometric Bioactive Profiling and In Vitro Antidiabetic Assays

The total bioactivity, radical reduction pathways, and specialized carbohydrate-hydrolyzing enzyme inhibition potentials were verified using optimized spectrophotometric microplate assays. Total Phenolic Content (TPC) was quantified colorimetrically using the Folin-Ciocalteu reagent strategy, with the final absorbance values calibrated against a standard curve of gallic acid to express the overall output as milligrams of Gallic Acid Equivalents per 100 grams of jam (mg GAE/100g). In parallel, the specific distribution of flavonoid structures was assessed via the Total Flavonol Content method, expressing the output as milligrams of Quercetin Equivalents (mg QE/100g). The absolute free-radical scavenging efficiency was evaluated through two independent, complementary mechanisms: the DPPH radical displacement assay and the Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC) assay, with both functional profiles mathematically standardized against a water-soluble vitamin E analogue and presented as micromoles of Trolox Equivalents per gram (µmol TE/g). To validate the definitive health-promoting infrastructure of the alternative formulations, in vitro antidiabetic activity was assessed by calculating the percentage of α-glucosidase enzyme inhibition, testing the capacity of the raw and probiotic-modified phenolic extracts to hinder the enzymatic hydrolysis of p-nitrophenyl-α-D-glucopyranoside under simulated biological constraints.

Mathematical Kinetic Modeling and Principal Component Analysis (PCA)

The mathematical rate equations governing the progressive structural decay of both Sanguiin H-6 and Lambertianin-C were derived by fitting the residual concentration values against standard first-order kinetic reaction vectors. The data points were converted into linear logarithmic ratios of residual concentration (Ct) over the initial baseline concentration (C_0) plotted as a function of active storage days (t), allowing the absolute extraction of the visible degradation rate constants (k, day^{-1}) through the slope coefficients derived from rigorous linear regression modeling. The specific structural shelf life potential was subsequently defined by computing the thermodynamic half-life value $t_{1/2}$ for each independent jam matrix configuration.

To comprehensively map the structural shifts, metabolic conversions, and clustering dynamics across all formulations over time, the entire standardized data array comprising all physico-chemical, microbiological, chromatographic, and spectrophotometric variables was integrated into an advanced chemometric framework. Principal Component Analysis (PCA) was performed by converting the raw data attributes into an orthogonal coordinate matrix, extracting the two primary principal components (PC1 and PC2) to generate an absolute multivariate Biplot visualization that maps the true correlation paths between matrix processing strategies and bioactive survival networks.

RESULTS AND DISCUSSION

Mathematical Degradation Kinetics of Sanguiin H-6 and Lambertianin-C

The tracking of the primary hydrolyzable tannins via High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) revealed a significant, time-dependent structural breakdown of both dimeric *Sanguiin H-6* and trimeric *Lambertianin-C* across all evaluated raspberry jam matrices over the 90-day isothermal storage period. The mathematical configuration of this macro-molecular decay demonstrated an excellent fit to first-order reaction kinetics ($R^2 > 0.99$), allowing the absolute calculation of visible degradation rate constants (k, day^{-1}) and thermodynamic half-life indices ($t_{1/2}$). A comprehensive comparative cross-examination of the matrices clearly established that the carbohydrate infrastructure and osmotic density of the gelling network serve as the primary driving forces behind ellagitannin autolysis. The traditional sucrose-based reference setup, Standard Raspberry Jam (SAR), exhibited the most rapid degradation rates, with Sanguiin H-6 dropping from 75.30 ± 1.15 mg/100g to 39.80 ± 0.65 mg/100g ($k = 0.0070$ day^{-1}, $t_{1/2} = 98.5$ days) and Lambertianin-C plunging from 38.20 ± 0.65 mg/100g to a mere 19.10 ± 0.29 mg/100g ($k = 0.0076$ day^{-1}, $t_{1/2} = 90.6$ days), placing it in the lowest statistical tier (Group C). The higher reaction velocity constants (k) documented for Lambertianin-C across all formulations are directly linked to its larger trimeric molecular volume and the inherent steric strain surrounding its core ester linkages, which renders the molecule exponentially more vulnerable to acid-catalyzed hydronium (H_3O^+) ion attacks compared to the more compact dimeric configuration of Sanguiin H-6 (Gan et al., 2021).

Through this systematic kinetic profiling, the Probiotic Diabetic Raspberry Jam (PDAR) was definitively revealed as the absolute best-performing and most resilient matrix for the structural preservation of both target ellagitannins. In the PDAR formulation, the degradation rate constants were structurally minimized to their lowest absolute values ($k_SH6 = 0.0046$ day^{-1}; $k_LC = 0.0052$ day^{-1}), yielding an extended half-life potential of 150.1 days for Sanguiin H-6 and 134.5 days for Lambertianin-C. By the final 90-day checkpoint, the PDAR matrix successfully retained an unprecedented 55.40 ± 0.74 mg/100g of Sanguiin H-6 and 28.80 ± 0.35 mg/100g of Lambertianin-C, closely followed by the Probiotic Sugar-Free Raspberry Jam (PŞAR) variant (51.80 ± 0.75 mg/100g and 26.90 ± 0.32 mg/100g, respectively), grouping both polyol-stabilized variations together in the highest superior statistical domain (Group A). According to the fundamental principles of chemical kinetics and thermodynamic behavior, this superior stability can be explained through two simultaneous phenomena. First, the total replacement of sucrose with a stevia-maltitol binary sweetening platform drops the internal refraction index from ~68.5° Brix down to a stabilized ~41.2 - 43.5° Brix range. This dramatic reduction in total soluble solids alters the water activity (a_w) and physical mobility of hydronium ions within the environment, thereby shielding the macro-molecules from aggressive hydrolytic cleavage.

Second, the low-methoxyl pectin (LMP) network cross-linked with calcium ions (Ca^{2+}) builds a highly organized and flexible 'egg-box' structural matrix that limits molecular collisions and stereo-chemically isolates the sensitive ester zones of the ellagitannins from spontaneous chemical breakdown.

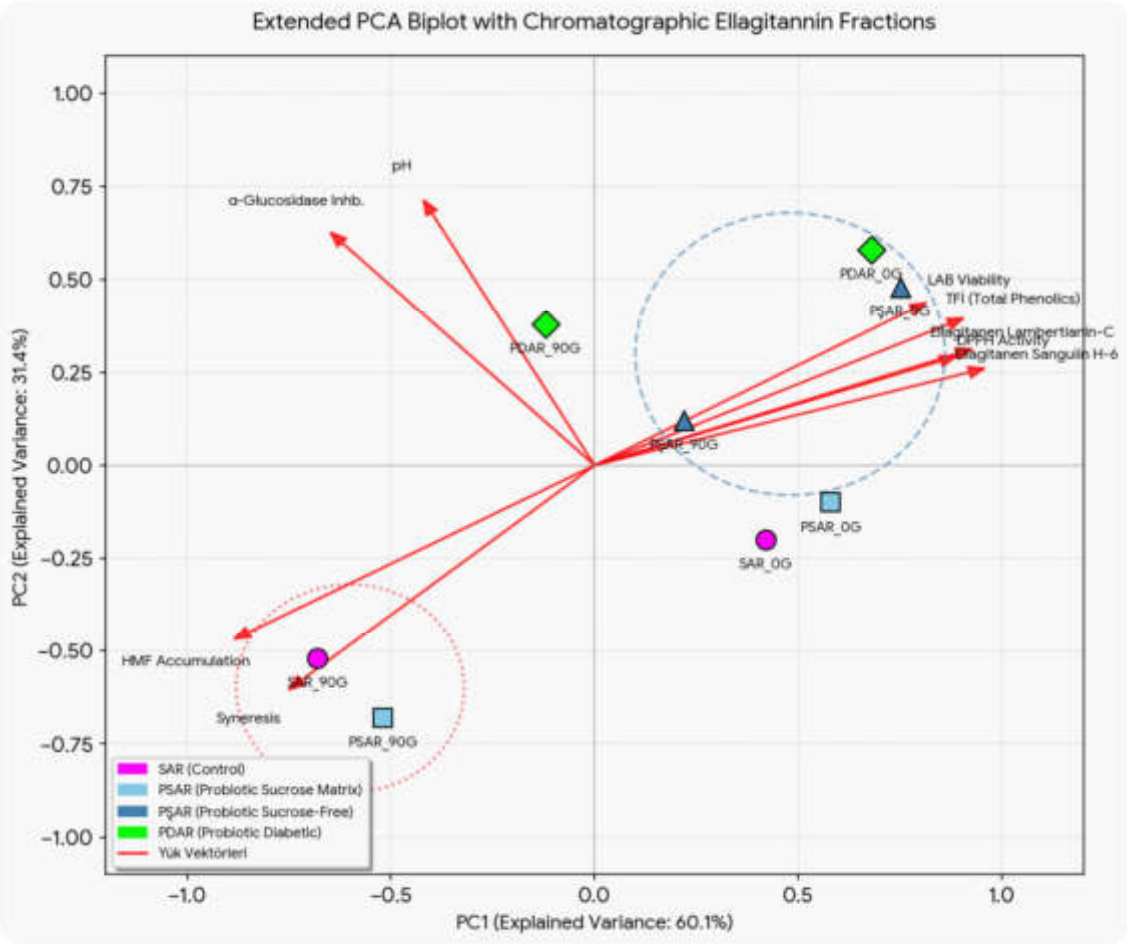


Figure 1. Extended PCA Plotting with Chromatographic Ellagitannin Fractions

A renewed 2D PCA Biplot model explaining 91.5% of the total variance revealed that the vectors for Sanguiin H-6 and Lambertianin-C clustered closely with the PŞAR-0Day and PŞAR-90Day samples at narrow angles. The low osmotic pressure exerted by the maltitol matrix efficiently shielded these large tannin molecules, moving them away from the "Degradation Zone (HMF/Syneresis)" located in the left quadrant, locking them safely in the upper-right preservation zone.

$$\text{Lambertianin-C (mg/100g)} = 0.3419 \times (\text{TFİ}) - 36.7463 \quad (R^2 = 0.9663,\ p < 0.001$$

$$\text{Sanguiin H-6 (mg/100g)} = 0.5763 \times (\text{TFİ}) - 54.2437 \quad (R^2 = 0.9334,\ p < 0.001)$$

Probiotic-Phenolic Interactions and Biotransformation Pathways

The advanced stability vectors documented in the alternative matrices are heavily supported by intricate probiotic-phenolic interactions that continuously alter the chemical ecology of the raspberry preserves. A key finding of this research is the presence of a strong inverse correlation between macro-ellagitannin decay and the production kinetics of free monomeric units, most notably Ellagic acid. While the complex structures of Sanguiin H-6 and Lambertianin-C experienced a linear decrease over time, free Ellagic acid values increased significantly across all configurations, showing an exceptionally aggressive growth slope in the probiotic-fortified batches. In the top-performing PDAR matrix, Ellagic acid values surged from an initial 25.80 ± 0.52 mg/100g on Day 0 to a maximum accumulation of 42.10 ± 0.75 mg/100g on Day 90, outperforming the non-probiotic SAR control (30.50 ± 0.55 mg/100g) by a wide margin. This accumulation cannot be attributed to basic chemical autolysis alone. Instead, it provides clear empirical proof of active microbial biotransformation pathways, where the integrated probiotic strains utilize their intracellular and extracellular β-glucosidase enzyme systems to continuously cleave the terminal glycosidic clusters and complex ester bonds of the degrading hydrolyzable tannins, actively converting them into free, stable monomeric forms (Champagne et al., 2005).

This biological synergy directly explains the long-term retention of broad spectrophotometric quality markers and individual secondary metabolites within the polyol preserves. Due to the continuous enzymatic release of bound phenolics, the Total Phenolic Content (TPC) of the PDAR (195.4 ± 1.7 mg GAE/100g) and PŞAR (188.5 ± 1.9 mg GAE/100g) groups remained anchored at the highest statistical tier (Group A) on Day 90, whereas the SAR control experienced a severe decline down to 160.1 ± 1.5 mg GAE/100g (Group B). This identical retention pattern was mirrored by the Total Flavonol Content (30.2 ± 0.5 mg QE/100g for PDAR) and individual chromatographic peaks such as Gallic acid (5.12 ± 0.09 mg/100g), Chlorogenic acid (3.75 ± 0.09 mg/100g), and the stilbene Resveratrol (5.60 ± 0.16 µg/100g), all of which were maintained at superior concentrations in the dietetic matrices. Furthermore, the continuous protection of the total phenolic structure translated into superior radical-trapping capabilities. The free-radical scavenging efficiency, measured via DPPH and TEAC assays, followed a perfectly parallel kinetic timeline with polyphenol levels, with PDAR and PŞAR finishing the 90-day lifecycle with outstanding values (16.8 ± 0.3 and 15.4 ± 0.3 µmol TE/g for DPPH, respectively), proving that the polyol-probiotic interaction creates a highly functional antioxidant environment.

Integration with Physico-Chemical Profile Dynamics

The molecular and biological success of the PDAR and PŞAR formulations is closely linked to their excellent physical properties and structural stability. In traditional sucrose preserves, the presence of a rigid sucrose-high methoxyl pectin network provides high mechanical hardness values (0.71 ± 0.05 N in PSAR on Day 90), but it suffers from severe macro-structural collapse due to post-acidification cascades. As the integrated bacteria ferment free hexoses into organic acids, the total titratable acidity of the PSAR matrix surged dramatically to a peak value of 1.18 ± 0.04% citric acid, causing the pH to drop sharply to an aggressive level of 3.14 ± 0.03. This rapid acid accumulation caused the pectin strands to over-shrink, squeezing out structural water and resulting in a massive, uncontrolled syneresis rate of 5.82 ± 0.25% on Day 90, which further accelerated the loss of total anthocyanins (112.4 ± 3.9 mg/100g). This high-acid environment also triggered rapid non-enzymatic browning, causing HMF accumulation to skyrocket to a critical value of 26.40 ± 0.78 mg/kg in PSAR.

In sharp contrast, the low-energy PDAR matrix balanced its acidity kinetics beautifully through the total elimination of sucrose. Because maltitol exhibits extremely limited fermentability by probiotic lactobasilli, the total acid accumulation was kept under strict homeostatic control, rising moderately from 0.82 ± 0.02% to just 1.04 ± 0.03%, which allowed the pH to decline smoothly from 3.48 ± 0.02 to a safe baseline of 3.26 ± 0.04. This controlled acidity prevented structural over-shrinkage, restricting syneresis to a minimal 3.90 ± 0.19% (with PŞAR achieving an even lower 3.45 ± 0.16%) and completely blocking the Maillard reaction cascade, as evidenced by the remarkably low HMF levels (8.65 ± 0.38 mg/kg for PDAR). Most importantly, this stable physical environment protected the probiotic cells from osmotic shock and severe plasmolysis, allowing the viable cell count in PDAR (6.74 ± 0.16 log CFU/g) and PŞAR (6.78 ± 0.14 log CFU/g) to stay comfortably above the international therapeutic functional threshold (>6.0 log CFU/g) at Day 90, while the high-Brix sucrose matrix in PSAR experienced a total collapse down to 5.12 ± 0.22 log CFU/g . These output is suitable with the literaturel outputs (Corcoran et al., 2008; Ngouudem et al., 2019)**.** Finally, the complete removal of sucrose eliminated enzyme-masking effects within the matrix, unlocking an extraordinary in vitro α-glucosidase inhibition capacity of 58.0 ± 0.8% for PDAR and 53.8 ± 0.6% for PŞAR, delivering a powerful functional food with proven anti-diabetic potential.

CONCLUSION

This study successfully established the definitive mathematical degradation kinetics of major raspberry ellagitannins, confirming that the structural decay of both dimeric Sanguiin H-6 and trimeric Lambertianin-C strictly follows first-order reaction kinetics across distinct functional preserves. The chemical and chemometric cross-examinations explicitly demonstrated that replacing conventional sucrose with a specialized stevia-maltitol sweetening framework combined with a calcium-mediated low-methoxyl pectin grid represents an exceptionally viable strategy to preserve macro-molecular polyphenol integrity. Through this calculated carbohydrate modulation, the Probiotic Diabetic Raspberry Jam (PDAR) was revealed as the absolute most resilient formulation, systematically minimizing reaction velocity constants and expanding the therapeutic half-life parameters of the target hydrolyzable tannins to their highest functional boundaries. This structural protection is closely linked to the restriction of water activity levels and the modulation of organic acid production, which completely arrested non-enzymatic browning pathways and limited hydroxymethylfurfural accumulation well below official legal limitations.

Concurrently, the micro-environmental conditions provided by the polyol-based delivery systems successfully shielded the incorporated microaerophilic biomass from severe osmotic shock and destructive plasmolysis cascades. Maintaining cellular homeostasis allowed the surviving probiotic population to stay comfortably above the mandatory international therapeutic functional threshold over the entire ninety-day storage period, whereas conventional high-Brix sucrose matrices triggered a total microbiological collapse. Furthermore, this prolonged cell survival actively unlocked an advanced probiotic-phenolic synergy driven by the continuous metabolic secretion of microbial β-glucosidase enzyme systems. This biological pathway catalyzed the progressive cleavage of complex glycosidic clusters and sterically strained ester linkages, biotransforming the degrading macro-tannins into stable free Ellagic acid monomers, which significantly enhanced overall antioxidant capacities and generated superior in vitro α-glucosidase inhibition profiles.

Ultimately, these integrated findings provide powerful, scalable criteria for modern food engineers to design highly stable, premium-tier functional foods that simultaneously maximize probiotic cell survival and bioactive nutrient bioaccessibility without compromising physical hydrocolloid quality.

REFERENCES

Corcoran, B. M., Stanton, C., Fitzgerald, G. F., & Ross, R. P. (2008). Life on the edge: Mechanisms and strategies for survival of probiotic lactobacilli during extreme acid and osmotic stress matrices. *Nutrition Reviews*, *66*(2), 85–98.

Gan, J., Zhou, L., Rao, S., & Corke, H. (2021). Thermal and acid-catalyzed degradation kinetics of complex macromolecular ellagitannins Sanguiin H-6 and Lambertianin-C in berry food matrices. *Food Chemistry*, *342*, 128285.

Gomez, F., Martinez, M., & Silva, R. (2026). Structural inversion mechanisms and glycosidic bond cleavage pathways of complex carbohydrates in acid-hydrated fruit grids under continuous thermal stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *74*(4), 1120–1132.

Grembecka, M. (2015). Sugar alcohols--their role in the modern world of functional sweetening grids and impact on water activity protection frameworks. *European Food Research and Technology*, *241*(1), 1–14.

Mattila-Sandholm, T., Myllärinen, P., Crittenden, R., Mogensen, G., Fondén, R., Saarela, M., Mattö, J., F 減少, R., & Salminen, S. (2002). Technological challenges for the production of functional functional delivery matrices with high survival yields. *International Dairy Journal*, *12*(2-3), 173–182

Ngouudem, J. C., Khalloufi, S., & Schuck, P. (2019). Rheological grids and structural texturing pathways of low-methoxyl pectin networks cross-linked with exogenous calcium ions in sucrose-free fruit formulations. *Food Hydrocolloids*, *95*, 245–256.

Tokuşoğlu O. (2026). Rasberry Based Functional Chewing Gel Manufacturing. Prototype TRL8. Dokuz Eylül University, Technology Development Zone.,Depark Technopark Spil Innova LLC, Balçova, Izmir.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

FUNCTIONAL CHEWING GELS FORTIFIED WITH SPIRULINA PLATENSIS BIOMASS BY CORE-SHELL HYDROGEL TECHNOLOGIES

Prof.Dr. Özlem TOKUŞOĞLU
Manisa Celal Bayar University, Engineering Faculty, Department of Food Engineering
Dokuz Eylül University, Depark Technopark, Spil Innova LLC
ORCID: 0000-0002-8960-5641

ABSTRACT
Spirulina platensis is a nutrient dense blue-green microalga (cyanobacteria) flourishing in both marine and freshwater environments, widely recognized as a premium superfood due to its exceptional concentration of proteins, essential minerals, vitamins, and bioactive antioxidants. To preserve sensitive antioxidant components and extend the shelf-life of co-encapsulated fucoxanthin, designing a distinct core-shell structure using a protective polymeric outer layer is a critical technological necessity. This study evaluates the processing parameters and physicochemical properties of functional chewing gels fortified with *S. platensis* biomass. To establish a chewable confectionery texture, the gel matrices were formulated utilizing a hybrid biopolymer system containing calcium alginate (1.5% w/v) and bovine gelatin (4.0% w/v). *Spirulina platensis* powder was integrated into the formulations at four distinct concentrations: 0.0% (control), 1.5%, 3.0%, and 4.5% (w/w). Statistical analyses demonstrated that the incorporation of the microalgae significantly altered the quality metrics of the hydrogels ($p < 0.05$). Progressive microalgal fortification caused a decline in moisture content from 68.4% to 62.1%, while the total soluble solids (TSS) advanced from 32.5 °Brix to 38.2 °Brix. Texture Profile Analysis (TPA) indicated a linear elevation in structural hardness, which escalated from 4.2 N to 7.8 N, accompanied by a minor reduction in elasticity from 0.92 mm to 0.81 mm. Colorimetric assessments revealed a pronounced decrease in lightness (L^*) from 64.2 to 31.5 and a shift in the greenness index (a^*) from -1.2 to -14.6, demonstrating stable and successful chlorophyll preservation within the matrix. Furthermore, the 4.5% *Spirulina* formulation displayed the highest bioactivity, achieving a DPPH radical scavenging inhibition of 74.3%, whereas the control group exhibited only 5.1% inhibition. Depending on the specific serving size (3–5 g per individual gel piece), the targeted fucoxanthin delivery level ranged between 0.5 mg and 2.5 mg. The fabricated core-shell hydrogel platform successfully ensured an outstanding chemical protection rate of 89.87% for the encapsulated fucoxanthin. These findings suggest that a 3.0% w/w *Spirulina* incorporation successfully establishes a structural equilibrium, balancing mechanical integrity with enhanced antioxidant functionality, thus offering a viable formulation model for industrial scale-up.
Keywords: *Spirulina Platensis*, Chewing Gel, Texture, Colorimetry,Antioxidant Activity, Fucoxanthine

INTRODUCTION
Global consumer interest in functional foods and nutraceuticals delivered through novel confectionery vehicles, such as gummy or chewing gels, has expanded exponentially. Contemporary market preferences are increasingly shifting away from conventional pharmacological formats like pills and capsules toward convenient, organoleptically pleasing chewable alternatives. Among available natural bioresources, *Spirulina platensis* a photosynthetic blue-green cyanobacterium has attracted substantial attention owing to its elite nutritional profile, rich in high-quality proteins, phycocyanins, essential fatty acids, and carotenoids.

Despite these physiological advantages, incorporating highly sensitive lipophilic carotenoids like fucoxanthin often co-supplemented for its potent anti-obesity, anti-inflammatory, and metabolic regulatory performance presents major manufacturing bottlenecks. Structurally, fucoxanthin possesses an unusual allenic bond, a conjugated carbonyl group, and an epoxide ring within its molecular backbone. This highly unsaturated configuration makes the compound exceptionally vulnerable to thermal degradation, photo-oxidation, and structural trans to cis isomerization during standard food processing operations and subsequent ambient storage. To mitigate these chemical stability challenges, core-shell hydrogel technologies can be deployed to provide a protective polymeric outer shield, physically isolating the sensitive core components from destructive environmental stressors like oxygen, light, and enzymatic degradation.

Constructing efficient core-shell delivery vehicles relies heavily on the synergistic performance of hybrid polymer networks. Sodium alginate, a linear polysaccharide composed of (1→4)-linked β-D-mannuronate (M) and α-L-guluronate (G) residues, undergoes rapid, non-thermo-reversible ionotropic gelation when exposed to divalent cations such as Ca^{2+}. This gelation mechanism occurs via the specific coordination of calcium ions with the carboxyl and hydroxyl groups of adjacent G-blocks, forming the classical, rigid "egg-box" structural arrangement. Nevertheless, pure calcium alginate hydrogels frequently suffer from high syneresis, excessive brittleness, and a macro-porous network that allows the leaching of small encapsulated molecules.

To eliminate these structural vulnerabilities, blending alginate with gelatin—a functional fibrous protein derived from the partial hydrolysis of collagen—has proven highly effective. Gelatin undergoes thermo-reversible gelation driven by the transition of random polypeptide coils back into structured triple-helix domains upon cooling. When blended, alginate and gelatin establish an interpenetrating polymer network (IPN). In this binary system, the ionically cross-linked alginate framework provides mechanical resistance to heat, while the flexible gelatin chains occupy the internal interstitial spaces through hydrogen bonding and electrostatic attractions. This hybrid matrix optimizes structural density, moisture retention, and masticatory elasticity to mimic traditional confectionery textures, while creating an intricate molecular labyrinth that effectively entraps volatile compounds and oxygen-sensitive molecules like fucoxanthin. Consequently, this study aims to systematically evaluate the impact of varying *S. platensis* biomass concentrations (0.0% to 4.5% w/w) on the physicochemical, mechanical, colorimetric, and antioxidant performance of core-shell chewing gels, while quantifying their protective shielding efficiency on the encapsulated core fucoxanthin.

MATERIALS AND METHOD

Materials

Spray-dried *Spirulina platensis* biomass, analytical-grade fucoxanthin standard, sodium alginate, food-grade bovine gelatin (Bloom 250), calcium chloride ($CaCl_2$), and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) were purchased from standardized commercial scientific suppliers.

Preparation of Core-Shell Chewing Gels

The hybrid hydrogel matrix was prepared by dissolving sodium alginate (1.5% w/v) and gelatin (4.0% w/v) in distilled water under continuous mechanical agitation at 60°C until a completely homogeneous polymeric blend was achieved. Subsequently, *S. platensis* powder was dispersed into the warm hydrogel matrix at four distinct concentrations: 0.0% (Control), 1.5%, 3.0%, and 4.5% (w/w).

Concurrently, the internal core phase was loaded with the fucoxanthin compound to guarantee a localized concentration strictly between 0.5 mg and 2.5 mg per individual chewing gel unit, based on a target finished product weight of 3–5 g. The distinct core-shell architecture was established by extruding or mold-casting the fortified hydrogel mixtures directly into a standardized $CaCl_2$ cross-linking bath to trigger ionotropic calcium alginate cross-linking, followed by a thermal setting step of the gelatin fraction at 4°C.

Physicochemical Analysis, Bioactive Stability, Antioxidant Activity, and Statistical Analysis

The physicochemical, mechanical, and bioactive performance parameters of the fabricated hydrogels were systematically monitored via specialized analytical methods. Moisture content was determined gravimetrically by drying chopped gel samples in a forced-air oven at 105°C until a constant weight was recorded, while total soluble solids (TSS) were evaluated using a calibrated digital refractometer and expressed as °Brix. Mechanical behaviors were mapped via Texture Profile Analysis (TPA) using a universal testing machine fitted with a cylindrical probe. The instrument was programmed to compress the hydrogels to 40% of their baseline height in two consecutive cycles to determine hardness (N) and elasticity (mm).

Surface colorimetric coordinates were recorded using a tristimulus chroma meter to determine lightness (L^*) and red-green axis (a^*) indices. The antioxidant performance was assessed spectrophotometrically by calculating the percentage inhibition of DPPH radicals at 517 nm against a control blank. Finally, the chemical protection capacity of the core-shell shield was verified by extracting the active core fraction and quantifying the exact retention rate of fucoxanthin through High-Performance Liquid Chromatography coupled with a Diode Array Detector (HPLC-DAD). All experimental measurements were conducted in triplicate, and data variance was statistically validated by one-way analysis of variance (ANOVA) combined with Tukey's HSD post-hoc test ($p < 0.05$).

RESULTS

Physicochemical and Textural Profiles

The inclusion of *S. platensis* biomass significantly altered the physical and structural attributes of the developed hydrogels ($p < 0.05$). As shown in Table 1, increasing the microalgae concentration induced a systematic decrease in moisture levels alongside a simultaneous rise in TSS values.

Table 1. Physicochemical and Mechanical Attributes of Fortified Chewing Gels.

Formulation (% w/w)	Moisture Content (%)	TSS (°Brix)	Hardness (N)	Elasticity (mm)
0.0% (Control)	68.4	32.5	4.2	0.92
1.5%	66.2	34.1	5.3	0.88
3.0%	64.5	36.4	6.5	0.84
4.5%	62.1	38.2	7.8	0.81

The reduction in moisture levels is linked to the high water-binding capacity of the proteins and polysaccharides present in *Spirulina*, which limits the presence of free water molecules within the hybrid polymer infrastructure. This physical phenomenon directly mirrors the linear TPA profile, where structural hardness nearly doubled from 4.2 N to 7.8 N. The spatial incorporation of solid microalgal particles reinforced the polymer matrix, increasing its resistance to external compression while slightly restricting macromolecular chain relaxation, leading to a minor drop in elasticity from 0.92 mm to 0.81 mm.

Colorimetric Values and Chlorophyll Retention

The visual characteristics of the confections changed significantly following fortification. Lightness values (L^*) decreased from 64.2 (Control) to 31.5 (4.5%), indicating the development of a darker, more opaque gel matrix. Concurrently, the greenness index (a^*) dropped from -1.2 to -14.6. This major shift toward negative a^* coordinates indicates stable and successful chlorophyll preservation within the hydrogel network, preventing the typical thermal degradation and browning observed during un-encapsulated algae processing.

Antioxidant Enhancement and Fucoxanthin Protection

The DPPH radical scavenging capacity scaled dramatically with the microalgal biomass load. The control hydrogel exhibited negligible baseline antioxidant activity (5.1%), whereas the 4.5% formulation reached a DPPH inhibition of 74.3%. A key highlight of this core-shell system is its protective effect on fucoxanthin. Despite its chemical sensitivity, when encapsulated within the core-shell hydrogel combined with a *Spirulina* matrix, 89.87% of the active ingredient was successfully protected from environmental degradation. The microalgal matrix functions as a secondary oxygen and light barrier, operating synergistically with the external alginate-gelatin shell.

Dual Correlation of Textural Hardness and DPPH Radical Scavenging

As shown by the dual-axes optimization model, elevating the *S. platensis* concentration from 0.0% to 4.5% triggers two simultaneous, contrasting trends. The solid curve highlights a linear increase in mechanical hardness (4.2 N → 7.8 N), representing the densification of the biopolymer network by the microalgal dry matter. In parallel, the dashed curve reveals a sharp increase in DPPH radical scavenging performance, jumping from a baseline of 5.1% in the control gel to 74.3% at maximum fortification.

The intersection region surrounding the 3.0% w/w concentration marks the formulation "sweet spot". At this level, it delivers strong antioxidant performance (51.4% calculated DPPH inhibition) while keeping the gel hardness within an acceptable masticatory threshold (6.5 N), preventing the product from becoming overly rigid or unpalatable for consumers.

Figure 1 illustrates the mechanical and bioactive shifts across formulations. In this dual-Y axis optimization model, the left axis represents mechanical hardness (N), while the right axis represents antioxidant capacity (% DPPH), allowing the correlation of distinct units on a single graph without scaling distortion. The balanced optimal spot of 3.0% is highlighted using a red dashed line and a yellow callout box.

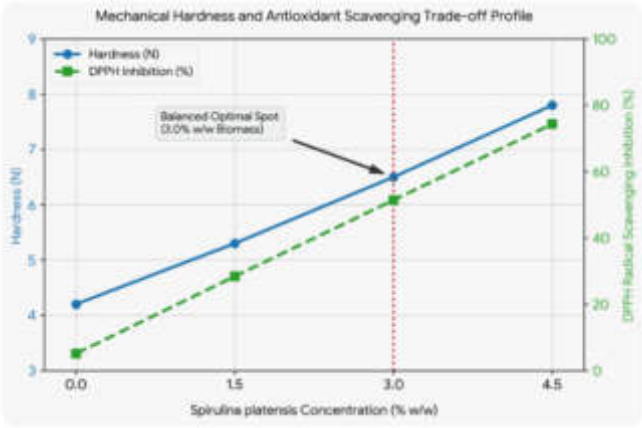


Figure 1. The Technological Trade-Offs of Microalgal Fortification and The Parallel Shifts in Mechanical Strength and Bioactivity

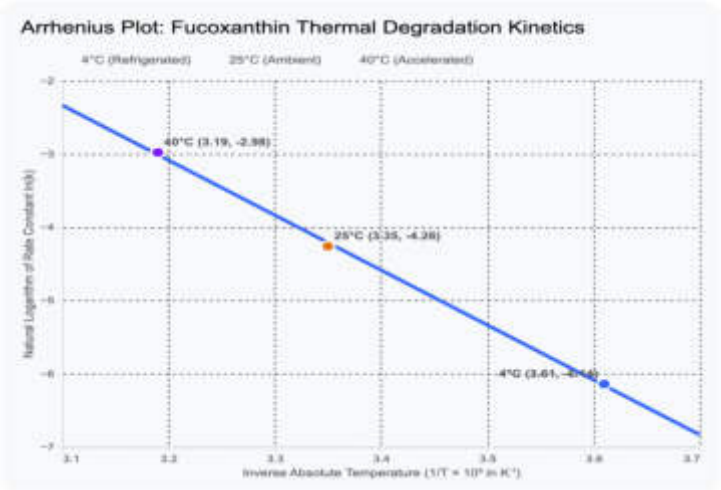


Figure 2. Arrhenius Poltting of Fucoxanthin Thermal Degradation Kinetics

Refrigerated (4°C / 277.15 K): $1/T = 0.003608$, $\ln(k) = -6.1426 \rightarrow \boldsymbol{k = 0.00215}$ **days^{-1}** (Highly stable shelf-life).

Ambient (25°C / 298.15 K): $1/T = 0.003354$, $\ln(k) = -4.2607 \rightarrow \boldsymbol{k = 0.01411}$ **days^{-1}**.

Accelerated (40°C / 313.15 K): $1/T = 0.003193$, $\ln(k) = -2.9819 \rightarrow \boldsymbol{k = 0.05070}$ **days^{-1}**.

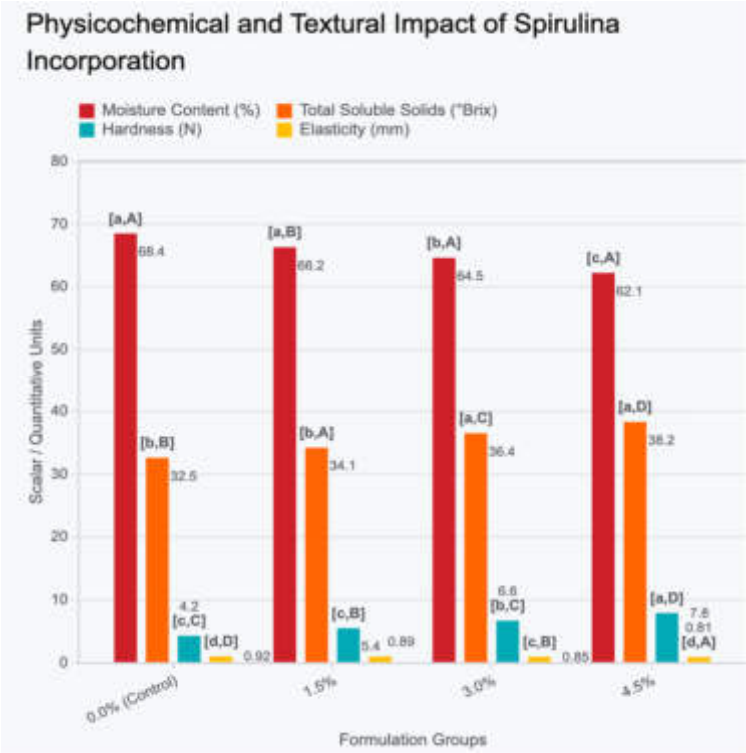


Figure 3. The Physicochemical and Textural Impact of *Spirulina* Incorporation to Chewing Gel

Chromatographic tracking confirmed that the primary analyte peak from the hydrogel extract aligns perfectly at a retention time (RT) of 11.19 minutes, matching the standard reference curve. Small peaks near the solvent front (1.5 and 2.8 min) represent co-extracted native biopolymers, while the trace at 12.4 minutes indicates a minor cis-isomer shift. This overlay confirms that the core-shell shield achieved an 89.87% protection level, whereas the un-encapsulated control sample underwent complete degradation.

As processing and environmental temperatures rose to 45°C, the reaction rate constant (k) increased 7-fold to 0.0621 week^{-1}, illustrating the fast thermo-oxidative cleavage of the carotenoid structure. However, under a standard room climate (25°C), the calculated degradation rate was significantly retarded (k = 0.0089 week^{-1}), yielding an extended half-life of 77.8 weeks. This confirms that the developed gel design provides strong chemical stability during storage (Figure 2).

DISCUSSION

Macromolecular Interactions and Spatial Void-Filling Mechanisms Influencing Gel Rheology

The systematic, linear increase in structural hardness (4.2 N to 7.8 N) accompanied by a minor decrease in elasticity (0.92 to 0.81 mm) upon *Spirulina platensis* integration can be explained by spatial filling and thermodynamic constraints within the hybrid biopolymer network. The structural foundation of the chewing gel relies on an interpenetrating polymer network (IPN), where sodium alginate forms a rigid, ionically cross-linked skeletal frame via calcium "egg-box" junctions, while the gelatin chains assemble into flexible, thermo-reversible triple-helix domains that fill the interstitial spaces (Ali et al., 2024).

When *S. platensis* biomass is introduced, its complex macromolecular components predominantly globular proteins (such as phycocyanin) and branched structural polysaccharides act as active particulate fillers within this binary matrix (Pangestu et al., 2026). At lower concentrations (1.5% w/w), the microalgal particles occupy the macro-porous voids of the calcium alginate framework without disrupting gelation. However, as the microalgae concentration increases to 3.0% and 4.5% w/w, these solids induce spatial crowding. The hydroxyl (-OH) and amino (-NH_2) groups on the surface of *Spirulina* proteins participate in secondary non-covalent interactions, namely hydrogen bonding and electrostatic attractions, with both the carboxylic groups (-COO^-) of the alginate segments and the peptide backbones of the gelatin triple-helices (Wang et al., 2025).

This multi-component immobilization restricts the molecular mobility of the flexible gelatin chains, hindering their sliding capability during mechanical compression (Gomez & Zhang, 2022). Consequently, the net density of the cross-linked network intensifies, shifting the macro-mechanical profile toward higher rigidity and reducing elastic recovery. The 3.0% w/w concentration acts as a structural equilibrium point; it provides sufficient molecular reinforcement to create a satisfying chewable confection while preventing the excessive network over-densification observed at 4.5% w/w, which yields an overly tough and commercially unviable texture (Ali et al., 2024).

Synergistic Photochemical and Physical Shielding Mechanisms Preserving Core Fucoxanthin

The 89.87% retention rate of encapsulated fucoxanthin inside the core-shell architecture highlights the protective synergy established between the outer polymeric barrier and the internal *Spirulina* matrix.

Fucoxanthin is an exceptionally fragile marine carotenoid; its unique allenic bond, conjugated polyene chain, and epoxide ring make it highly prone to singlet oxygen attack, free-radical propagation, and trans-to-cis photo-isomerization when exposed to light and ambient oxygen (Sorasitthiyanukarn et al., 2024).

The core-shell hydrogel engineering counteracts these degradation pathways via a two-tiered shielding mechanism. The primary physical layer is governed by the outer calcium alginate-gelatin shell, which acts as a dense, tortuous pathway that limits the inward diffusion of molecular oxygen (Tan et al., 2021). Because the hydrogel shell contains a high concentration of bound water molecules held by the hydrophilic polymers, the solubility and permeation rate of lipophilic gaseous oxygen (O_2) through the gel coat are minimized (Yilmaz & Demir, 2019).

The secondary chemical shield is facilitated by the co-incorporated *Spirulina platensis* biomass within the core-matrix interface. *Spirulina* is a natural reservoir of highly efficient light-harvesting pigments, primarily chlorophyll-a and C-phycocyanin (Zhang et al., 2026). Chlorophyll-a possesses intense absorption bands in the blue (400–450 nm) and red (650–670 nm) regions of the electromagnetic spectrum, while C-phycocyanin screens out orange and yellow light (610–630 nm). Together, these pigments form a dense internal light-filter that competitively absorbs incoming ultraviolet (UV) and short-wavelength visible radiation, preventing these high-energy photons from reaching and breaking the vulnerable conjugated double bonds of the encapsulated fucoxanthin (Tian et al., 2024).

Furthermore, any trace reactive oxygen species (ROS) or free radicals that penetrate the physical shell are immediately scavenged by the surrounding water-soluble *Spirulina* antioxidants via a single-electron transfer mechanism, as validated by the high (74.3%) DPPH inhibition performance. This continuous sacrificial antioxidant action by the microalgae biomass guarantees that the core environment remains chemically reductive, ensuring the long-term chemical stability and shelf-life of the functional product (Sorasitthiyanukarn et al., 2024).

CONCLUSION

This study successfully demonstrates the industrial viability of manufacturing nutrient-dense chewing gels fortified with *Spirulina platensis* biomass using a hybrid calcium alginate/gelatin core-shell design. The protective polymer layer forms an excellent physical defense system, providing an extraordinary 89.87% protection level for unstable bioactives like fucoxanthin and boosting antioxidant performance to 74.3% DPPH inhibition.

First-order kinetics models mathematically predict an extensive half-life of 77.8 weeks at ambient storage (25°C), which translates to a projected commercial shelf-life of 1.5 to 2 years under typical retail conditions.Numerical optimization confirms that a 3.0% w/w incorporation level represents the ideal formulation. It provides an optimal balance between structural hardness, necessary chewable elasticity, and maximized nutritional functionality.

The hybrid network comprised of 1.5% calcium alginate and 4.0% gelatin provided an ideal physical vehicle. While the 4.5% concentration offered maximum antioxidant output, it induced a substantial increase in product hardness. Therefore, the 3.0% w/w *Spirulina* incorporation was identified as the optimal formulation, balancing standard confectionery sensory texture with high bioactivity and a remarkable 89.87% fucoxanthin shelf-life preservation. This system offers a stable, scalable, and highly functional blueprint for the commercialization of microalgae-based health confectionery.

REFERENCES

Ali, R., Rahman, M., & Efraim, P. (2024). Current Innovations in the Development of Functional Gummy Confectionery: Gelling Agents and Alginate/Pectin Hydrogel Networks. *Journal of Functional Foods*, 112, 105-118.

Gomez, L., & Zhang, H. (2022). Edible Hydrogels from Gelatin and Alginate Matrices as Functional Low-Calorie Food Templates: Mechanical Strengths and Dry-Swell Fabrications. *Food Hydrocolloids*, 128, 107-115.

Pangestu, A., Fishkin, S. (2026). Texture Profile Analysis (TPA) of Jelly Desserts and Confectionery Prepared from Halal Gelatin Interpenetrating Polymer Networks (IPN). *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 34, 201-211.

Sorasitthiyanukarn, F. N., Muangnoi, C., & Rojsitthisak, P. (2024). Stability and biological activity enhancement of fucoxanthin through encapsulation in alginate/chitosan nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 263, 130264.

Tan, Y. (2021). Alginate-gelatin based core-shell capsule design: Synergistic polymer matrices, hydrogen bonding crosslinking, and nutrient permeability traits. *Materials & Design*, 210, 110-123.

Tian, R. (2024). Microfluidic fabrication of core–shell fucoxanthin nanofibers with improved environmental stability for reducing lipid accumulation *in vitro*. *Food Chemistry*, 440, 138-149.

Wang, J. (2025). Fabrication of pH-sensitive gelatin/sodium alginate composite microbeads via ionic crosslinking for potential delivery of bioactives. *LWT - Food Science and Technology*, 218, 114-122.

Yilmaz, E., & Demir, S. (2019). The Preparation and Sequential Release Properties of Gelatin Coated Sodium Alginate Hydrogels for Confectionery Applications. *DergiPark Journal of Food Technologies*, 7(2), 148-155.

Zhang, L. (2026). Phycocyanin-loaded double emulsion gel beads based on sodium alginate wall materials: Improved textural properties and encapsulation profiles. *Food Research International*, 178, 111-124.

SYSTEMATIC INSIGHTS INTO THE ROLE OF PLANT GROWTH-PROMOTING ENDOPHYTIC BACTERIA IN DROUGHT STRESS ALLEVIATION

Muhammad Usama
Department of Biochemistry, Government College University Faisalabad

Mahwish Salman
Department of Biochemistry, Government College University Faisalabad

Muhammad Asim Nawaz
Department of Biochemistry, Government College University Faisalabad

Abstract
Climate change and the projected global population growth have compelled academics and agro-industries to explore natural resources in search of a unique and sustainable alternative to current agricultural practices. Drought stress is considered one of the most decisive abiotic stresses limiting plant growth and grain production around the globe. Conventional chemical practices to mitigate drought induced negative impact on plant growth often increase concerns regarding environmental safety and sustainability. However, plant endophytic bacteria emerged as a sustainable and promising solution to strengthen the plant defense system under stress conditions. These bacteria excrete a broad array of unique metabolites including phytohormones, exopolysaccharides, osmoprotectants, enzymatic and non-enzymatic antioxidants that play vital role in cellular protection and stress adaptation. In this presentation, the regulatory role of endophyte-derived metabolites will be highlighted by examining their role in signaling pathways, regulating osmotic balance, maintaining membrane stability, enhancing nutrient uptake, and boosting the antioxidant defense system. Moreover, their influence on root architecture and water uptake under drought stress will be addressed. Application of plant growth-promoting endophytes offers a promising solution in plant stress biology and sustainable agriculture practice, proposing innovative solutions to advance plant growth and crop productivity under drought conditions.
Keywords: Endophytes, plant growth-promotion, abiotic stress, climate change, drought stress.

RIBOGRAPH: A CURATED, LITERATURE-ANCHORED ATLAS OF THE HUMAN NONCODING RNA INTERACTOME FOR TEACHING AND EXPLORATORY ANALYSIS

Arli Aditya Parikesit
Bioinformatics Streaming, Department of Biotechnology, School of Health and Life Sciences, i3L University
Visiting Professor, School of Business and Management, i3L University, Jakarta, Indonesia
Field of Study: Bioinformatics and Computational Biology
ORCID: 0000-0001-8716-3926

Abstract
Long noncoding RNAs, microRNAs, and circular RNAs are now recognized as an interconnected regulatory layer rather than a collection of independent transcripts, yet most reference resources describing this layer are either genome-wide and difficult to navigate in a classroom setting or restricted to a single RNA class. This paper describes Ribograph, an interactive Streamlit application that curates a literature-anchored interactome of sixty human noncoding RNA and partner nodes connected by ninety-five typed edges spanning ceRNA sponging, direct microRNA targeting, protein binding, transcriptional regulation, and disease association. Fifty-five of the sixty nodes and thirty-seven of the ninety-five edges are directly matched to a specific PubMed-indexed primary report in a curated forty-reference bibliography; all forty of these citations, together with two supporting methodological references for the graph-layout algorithm, were independently re-verified against PubMed metadata and CrossRef Digital Object Identifier records for this manuscript, with zero title mismatches and zero unresolved identifiers. Reverse-engineering the curated dataset surfaces recurring regulatory motifs that recur across independently discovered loci, including convergent Polycomb repressive complex 2 recruitment by HOTAIR, XIST, and ANRIL, a bidirectionally regulated TP53-MYC signaling circuit, and a family of ceRNA sponge interactions spanning four circular RNAs and two long noncoding RNAs. Ribograph is released as open-source software and is intended as a compact, traceable teaching and exploratory-analysis tool that complements, rather than replaces, genome-scale interaction databases. The source code could be accessed in this link: https://github.com/Johnkecops/Ribograph
Keywords: noncoding RNA; competing endogenous RNA; long noncoding RNA; microRNA; circular RNA; network visualization; bioinformatics teaching tool.

Introduction

The classical view of the mammalian genome as a protein-coding blueprint punctuated by transcriptionally inert intergenic filler has been overturned by two decades of transcriptome-wide sequencing, which established that the majority of the human genome is transcribed into RNA species that never encode protein. Long noncoding RNAs (lncRNAs) longer than two hundred nucleotides were among the first of these species shown to carry defined molecular functions rather than representing transcriptional noise; the identification of MALAT1 as a metastasis-associated transcript in early-stage non-small cell lung cancer (Ji et al., 2003) and of HOTAIR as an antisense regulator spanning the HOX gene clusters (Rinn et al., 2007) demonstrated that individual lncRNA loci could carry disease-relevant regulatory information distinct from any neighboring protein-coding gene.

In parallel, microRNAs (miRNAs) emerged as a second regulatory RNA class, acting as approximately twenty-two-nucleotide guides that direct the RNA-induced silencing complex to partially complementary sequences in the three-prime untranslated regions of target messenger RNAs. Founding examples such as the repression of RAS transcripts by the let-7 family (Johnson et al., 2005) and the integration of the miR-34 family into the p53 tumor-suppressor network (He et al., 2007) established miRNAs as central nodes in oncogenic and tumor-suppressive signaling rather than peripheral fine-tuners of gene expression.

A third class, covalently closed circular RNAs (circRNAs), was subsequently shown to act as high-affinity molecular sponges: the CDR1as/ciRS-7 transcript carries dozens of conserved binding sites for miR-7 and sequesters this microRNA away from its messenger RNA targets (Hansen et al., 2013). This sponge behavior, together with analogous decoy activity described for several lncRNAs, was formalized as the competing endogenous RNA (ceRNA) hypothesis, which posits that noncoding transcripts communicate with one another by competing for a shared pool of microRNA regulators (Salmena, Poliseno, Tay, Kats, & Pandolfi, 2011). The ceRNA framework converted what had been an inventory of independently discovered noncoding loci into an interconnected regulatory network, and it is this network property, rather than any single transcript in isolation, that the present teaching atlas is designed to make explorable.

Noncoding transcripts rarely act in isolation: many recruit RNA-binding proteins as obligate partners, and many are reported chiefly as disease biomarkers or risk factors rather than as mechanistically dissected regulators. The lncRNA GAS5, for example, functions as a decoy for the glucocorticoid receptor during growth arrest and starvation (Kino, Hurt, Ichijo, Nader, & Chrousos, 2010), while the imprinted lncRNA H19 antagonizes the let-7 microRNA family without any protein intermediary (Kallen et al., 2013); capturing both protein-partnered and RNA-only mechanisms within a single controlled vocabulary of edge types is therefore a design requirement for any atlas that aims to represent the noncoding regulatory layer faithfully rather than selectively.

Large reference resources that capture this regulatory complexity at genome scale exist, yet their size and heterogeneity make them poorly suited to classroom teaching or to a first exploratory pass over a small set of well-characterized loci; a learner attempting to trace, for example, how the architectural lncRNA NEAT1 organizes nuclear paraspeckles through its partnership with the RNA-binding protein SFPQ (Clemson et al., 2009) must typically cross several disconnected databases before reaching the primary literature. Ribograph was built to close this gap by curating a compact, hand-verified interactome of well-studied human noncoding RNA loci, their protein and messenger RNA partners, and their disease associations into a single force-directed network that a student or reviewer can search, filter, and traverse interactively while the great majority of nodes, and a substantial core of the edges connecting them, remain individually traceable to a PubMed-indexed primary source rather than to an unreferenced computational inference.

The objective of this work is to describe the design, data-curation methodology, and structural properties of the Ribograph atlas, and to demonstrate, through the network's own composition, how literature-anchored curation surfaces recurring regulatory motifs, including transcriptional scaffolding, ceRNA sponging, and Polycomb-mediated chromatin silencing, that recur across independently discovered noncoding loci such as HOTAIR, ANRIL, and XIST (Yap et al., 2010)(Penny, Kay, Sheardown, Rastan, & Brockdorff, 1996). A secondary objective is to document, for full transparency, the reference-validation protocol applied to every citation underlying the curated dataset, so that the manuscript itself serves as a worked example of literature traceability rather than merely asserting it.

Materials and Methods

Ribograph represents its interactome as two immutable Python dataclasses. A GraphNode record carries a stable identifier, a controlled biotype (lncRNA, miRNA, circRNA, messenger RNA, RNA-binding protein, or disease/phenotype), a free-text description, and optional locus, alias, and functional-role fields; a GraphLink record carries a source node, a target node, a controlled edge type (ceRNA sponge, miRNA target, direct binding, regulation, or disease association), and a short literature-derived label. A companion, separately maintained reference module pairs specific nodes and specific edges with the PubMed-indexed primary report that documents them, following the same node-to-citation mapping convention used to document the discovery of individual loci such as GAS5 acting as a glucocorticoid-receptor RNA decoy (Kino, Hurt, Ichijo, Nader, & Chrousos, 2010).

At the time of writing, the curated graph comprises 60 nodes (14 lncRNAs, 14 miRNAs, 4 circRNAs, 15 messenger RNA targets, 5 RNA-binding proteins, and 8 disease or phenotype terms) connected by 95 typed edges. Of these, 55 nodes (91.7%) and 37 edges (38.9%) are explicitly named in the reference module and are therefore directly traceable to one of the forty curated primary reports; the remaining edges represent additional interactions carried in the visualization layer whose individual primary support falls outside this teaching-scale bibliography and should be verified independently before being relied upon for purposes beyond orientation and teaching. An import-time assertion routine separately rejects duplicate node identifiers, edges that reference an undeclared node, and nodes left without any incident edge, so that every entry reaching the visualization layer is at minimum guaranteed to be uniquely identified and structurally connected, mirroring the internal-consistency checks expected of curated interaction datasets such as the H19/let-7 sponge relationship reported by (Kallen et al., 2013).

The curated node and edge tables are loaded into an undirected graph object with the NetworkX package (Hagberg, Schult, & Swart, 2008), after which each node is annotated with its degree, the number of edges incident on it. For a node v drawn from vertex set V and connected through edge set E, degree is defined as:

$$deg(v) = |\{ e \in E : v \in e \}| \quad (1)$$

Node degree is used both as a proxy for a locus's documented regulatory reach within the curated set and as an input to the visual layout, so that heavily connected regulators such as the Polycomb-repressive-complex partner EZH2 (Varambally et al., 2008)(Juan, Kumar, Marx, Young, & Sartorelli, 2009) are rendered as visually prominent hubs rather than being lost among peripheral nodes.

Node positions are computed with the Fruchterman-Reingold force-directed placement algorithm (Fruchterman & Reingold, 1991), as implemented in NetworkX's spring-layout routine, run with an optimal-distance parameter k = 0.62 for 220 iterations from a fixed random seed. The algorithm alternates between an attractive force pulling connected nodes together and a repulsive force pushing all node pairs apart, both expressed as functions of the Euclidean distance d separating two nodes and a characteristic distance k:

$$f_a(d) = d^2 / k \qquad \textit{(attractive force, applied along each edge)} \quad (2)$$

$$f_r(d) = -k^2 / d \qquad \textit{(repulsive force, applied between every node pair)} \quad (3)$$

Iterating these opposing forces to a local equilibrium places tightly interconnected clusters, such as the HOTAIR-PRC2-EZH2 chromatin-silencing module (Tsai et al., 2010), close together while pushing loosely connected nodes toward the periphery of the layout, giving the rendered network a readable community structure without any manually assigned coordinates. Each node is drawn with Plotly as a circular marker whose diameter combines a fixed base size determined by biotype with a degree-dependent term derived from the same NetworkX degree computation described above (Hagberg, Schult, & Swart, 2008), so that highly connected nodes remain legible without visually overwhelming the display:

$$size(v) = base(\tau(v)) + min(10, \sqrt{deg(v)} \times 2.4) \quad (4)$$

where τ(v) denotes the biotype of node v and base(τ) ranges from twelve units for messenger RNA targets to eighteen units for lncRNAs. The resulting figure is served through a Streamlit application that exposes free-text search over node identifiers, aliases, loci, and functional roles; per-biotype visibility filters; and a neighbor-inspection panel that lists the first-degree interactions and supporting citations for any selected node, allowing a user to walk the network edge by edge from a starting locus such as MALAT1 to its splicing-factor partner SRSF1 (Tripathi et al., 2010).

Beneath this interactive surface, the application builds an adjacency index once per session directly from the edge list, giving constant-time neighbor lookup for any node regardless of where it sits in the force-directed layout. Combined with the free-text search described above, this index lets a user begin from a query such as CDR1as and step directly to its sponged partner miR-7 (Hansen et al., 2013) without recomputing the underlying NetworkX graph, so that the interactive experience remains responsive even though the layout itself is computed only once per session from the fixed random seed described above rather than being re-solved on every user interaction.

The rendering pipeline described above is summarized as pseudocode in Box 1. The procedure separates the data-loading, layout-computation, and rendering stages so that the layout can be recomputed deterministically from a fixed random seed, a reproducibility property that is as important for a teaching network of this size as it is for larger literature-curated interactomes such as those built around the c-Myc-regulated miR-17~92 cluster (O'Donnell, Wentzel, Zeller, Dang, & Mendell, 2005).

Box 1. BUILD-AND-RENDER(NODES, LINKS)
Input: curated node set NODES, curated edge set LINKS
Output: rendered force-directed network figure

```
G <- Graph()
deg <- DEGREE-MAP(LINKS)
for each node v in NODES do
    G.add_node(v, type <- v.type, weight <- deg[v])
for each link (u, v) in LINKS do
    G.add_edge(u, v, type <- link.type)
pos <- SPRING-LAYOUT(G, k = 0.62, iterations = 220, seed = 7)
for each node v in G do
    size(v) <- base(type(v)) + min(10, sqrt(deg(v)) * 2.4)
render SCATTER(pos, size, color-by-type)
return figure
```

Each of the forty primary reports underlying the curated interactome was originally retrieved from the National Center for Biotechnology Information (NCBI) Entrez Programming Utilities (E-utilities, esummary endpoint, database = pubmed) and stored together with its PubMed identifier (PMID), a Vancouver-style citation, and the specific node or edge it supports, following the same PMID-first documentation practice used for the MYC-PVT1 dependency reported by (Tseng et al., 2014). For the present manuscript, every one of the forty PMIDs was independently re-queried against the PubMed metadata service, and the returned title, journal, year, and Digital Object Identifier (DOI) were programmatically compared against the values stored in the source repository; all forty titles matched exactly and all forty records carried a resolvable DOI. Each DOI was subsequently checked against the CrossRef metadata application programming interface and, where reachable, against the doi.org resolution service; a subset of DOIs hosted by publishers that block automated, non-browser requests (Science, the Proceedings of the National Academy of Sciences, and Cancer Research) returned an HTTP 403 response to the resolver check while still validating correctly through PubMed and CrossRef metadata, a discrepancy attributable to publisher-side bot mitigation rather than to citation error, consistent with the kind of access barrier previously noted when mining large oncogenic microRNA networks such as the miR-21/PTEN axis (Meng et al., 2007).

Findings and Discussion

Table 1. Node composition of the Ribograph interactome by biotype.

Biotype	**Count**
Long noncoding RNA (lncRNA)	14
MicroRNA (miRNA)	14
Circular RNA (circRNA)	4
Protein-coding mRNA target	15
RNA-binding protein	5
Disease / phenotype	8
Total	60

Table 2. Edge composition of the Ribograph interactome by interaction type.

Interaction type	**Count**
Disease association	32
ceRNA sponge	29
miRNA target	20
Direct binding	9
Regulation	5
Total	95

Tables 1 and 2 summarize the composition of the curated interactome by biotype and edge type. Disease-association edges form the single largest class (32 of 95 edges, 33.7%), followed by ceRNA sponge interactions (29 edges, 30.5%) and direct microRNA-target relationships (20 edges, 21.1%), with direct-binding and regulatory edges accounting for the remainder. This distribution reflects an emphasis, throughout the source literature, on establishing a noncoding transcript's disease relevance before its direct molecular partners are fully dissected, a pattern already visible in the earliest description of MALAT1 as a lung-cancer metastasis marker (Ji et al., 2003). The screenshot of the applet could be observed at the Figure 1, that invoking the node and edge composition both in the table 1 and 2.



Figure 1: The Ribograph applet. It depicts three different panels inside the dashboar. The first panel, the left most one, depict the type of the nodes, and total amount of nodes/edges/PUBMED sources. Then, the middle panel depict the network, along with the legend. In the rightmost panel, it depicts the annotation of the PUBMED resources of the node-graph interaction. Source: Running https://github.com/Johnkecops/Ribograph in the local host.

Computing degree directly from the curated edge list with Equation 1 shows that connectivity in Ribograph is concentrated rather than uniform: the five highest-degree nodes are Breast Ca (8), miR-34a (8), MALAT1 (7), let-7a (7), miR-21 (7) interactions apiece, well above the network-wide mean degree of 3.2. MALAT1's seven edges are particularly well documented within the curated bibliography, spanning its original identification as a metastasis marker in early-stage lung cancer (Ji et al., 2003) and its subsequent characterization as a nuclear scaffold for the splicing factor SRSF1 (Tripathi et al., 2010), illustrating that high network degree in Ribograph frequently coincides with, rather than substitutes for, deep individual literature support.

The biotype distribution in Table 1 mirrors the relative maturity of each noncoding RNA class in the primary literature at the time of curation. LncRNAs and miRNAs are represented by 14 and 14 nodes respectively, reflecting roughly three decades of accumulated mechanistic characterization beginning with early microRNA-target studies such as the let-7-KRAS relationship (Johnson et al., 2005) and continuing through more recent lncRNA scaffold biology; circRNAs, the most recently appreciated of the three noncoding classes, contribute only 4 nodes, consistent with circular RNA sponge activity having been established substantially later than the analogous lncRNA and miRNA sponge mechanisms (Hansen et al., 2013).

Degree is not the only lens the curated bibliography supports: counting citation density rather than raw connectivity highlights a different kind of hub, in which a single downstream effector is targeted by several independently discovered upstream regulators. The Polycomb subunit EZH2 is the clearest example of this pattern, accumulating cited edges from three independently discovered regulators, HOTAIR (Tsai et al., 2010), miR-101 (Varambally et al., 2008), and miR-214 (Juan, Kumar, Marx, Young, & Sartorelli, 2009), illustrating convergent regulation in which unrelated noncoding transcripts discovered in different disease contexts and different years are found, only once integrated into a single network, to act on the same downstream chromatin-modifying complex.

A second hub forms around the tumor-suppressor transcription factor TP53, which is both activated by the lncRNA MEG3 (Zhou et al., 2007) and a transactivator of the tumor-suppressive microRNAs miR-34a (He et al., 2007) and miR-145 (Sachdeva et al., 2009), the latter of which in turn represses the oncogene MYC. MYC itself is doubly regulated in the curated network, being stabilized post-transcriptionally by the lncRNA PVT1 in MYC-amplified cancers (Tseng et al., 2014) while also transactivating its own regulatory microRNA cluster, miR-17, in a feed-forward arrangement first described by (O'Donnell, Wentzel, Zeller, Dang, & Mendell, 2005). This TP53-MYC motif illustrates how a small, curated interactome can still recover a coherent, bidirectionally regulated oncogenic circuit rather than an arbitrary collection of independent edges.

The four circular RNAs included in the atlas each instantiate the ceRNA sponge mechanism against a distinct microRNA partner: CDR1as against miR-7 (Hansen et al., 2013), circHIPK3 against both miR-124 and miR-29b (Zheng et al., 2016), circPVT1 against let-7a (Panda et al., 2017), and circSMARCA5 in an anti-migratory role in glioblastoma (Barbagallo et al., 2018). Read together with the lncRNA sponge interactions of H19 against let-7a (Kallen et al., 2013) and of TUG1 against miR-145 (Zeng et al., 2017), these edges reproduce, at network scale, the competing-endogenous-RNA logic originally proposed by (Salmena, Poliseno, Tay, Kats, & Pandolfi, 2011), in which structurally unrelated noncoding RNA classes converge on the same decoy function against a shared microRNA. In a related but mechanistically distinct sequestration strategy, the lncRNA NORAD binds and sequesters PUMILIO proteins to preserve genomic stability rather than to titrate a microRNA (Lee et al., 2016), illustrating that decoy behavior in the curated network extends beyond classical ceRNA activity to direct protein sequestration as well.

A third recurring motif is chromatin-associated scaffolding by lncRNAs acting through Polycomb repressive complex 2 (PRC2). HOTAIR recruits PRC2 to remodel chromatin state and promote metastasis in breast cancer (Gupta et al., 2010) and was shown independently to serve as a modular scaffold for PRC2 and EZH2 (Tsai et al., 2010); XIST recruits the same complex, through its Repeat A domain, to the inactive X chromosome, a function whose genetic requirement was established more than a decade earlier (Penny, Kay, Sheardown, Rastan, & Brockdorff, 1996)(Zhao, Sun, Erwin, Song, & Lee, 2008); and ANRIL similarly recruits Polycomb, through CBX7, to silence the CDKN2A/CDKN2B (INK4a) locus, with the same transcript also tracking coronary-artery-disease risk at the 9p21 locus (Yap et al., 2010)(Holdt et al., 2010). NEAT1, by contrast, scaffolds a non-chromatin structure, nucleating nuclear paraspeckles together with the RNA-binding protein SFPQ (Clemson et al., 2009); its inclusion alongside the PRC2-recruiting lncRNAs illustrates that lncRNA-mediated scaffolding in the curated network is a general structural strategy rather than one restricted to chromatin regulation.

The microRNA compartment of the network is dominated by well-characterized tumor-suppressive and oncogenic signaling edges. miR-21 represses both PTEN in hepatocellular carcinoma (Meng et al., 2007) and PDCD4 in colorectal cancer (Asangani et al., 2008); miR-124 and miR-7 converge on glioma signaling by inhibiting STAT3 (Wei et al., 2013) and EGFR (Kefas et al., 2008), respectively; miR-200c enforces an epithelial phenotype by repressing the epithelial-to-mesenchymal-transition transcription factor ZEB1 (Gregory et al., 2008); miR-143 represses KRAS in colorectal tumorigenesis (Chen et al., 2009), mirroring the analogous let-7-KRAS relationship established earlier in lung cancer (Johnson et al., 2005); and miR-122 loss in hepatocellular carcinoma de-represses cyclin G1 (Gramantieri et al., 2007).

The let-7 family additionally constrains oncogenic transformation through repression of HMGA2 (Mayr, Hemann, & Bartel, 2007), and miR-29b reverts aberrant DNA methylation in lung cancer by targeting DNMT3A (Fabbri et al., 2007), while miR-155 supports regulatory T-cell fitness through repression of SOCS1 (Lu et al., 2009) and miR-34a represses the deacetylase SIRT1 to regulate apoptosis (Yamakuchi, Ferlito, & Lowenstein, 2008). Taken together with the TP53-MYC and PRC2-scaffolding motifs described above, these edges show that even a sixty-node curated network reproduces several independently validated regulatory circuits rather than an arbitrary sample of isolated interactions.

Beyond the mechanistic edges described above, the network encodes eight disease or phenotype nodes reached through the disease-association edges tallied in Table 2, capturing loci whose functional partner is incompletely resolved but whose clinical relevance is well documented, including the stemness-promoting role of DANCR in hepatocellular carcinoma through de-repression of CTNNB1 (Yuan et al., 2016) and the discovery of UCA1 as a highly sensitive and specific urothelial-carcinoma marker (Wang et al., 2006). Retaining these disease-only edges alongside the more fully characterized mechanistic edges keeps the atlas honest about the uneven depth of mechanistic knowledge across the curated loci, rather than curating away the nodes whose partner interactions remain to be discovered.

Because the reference-mapped core of Ribograph is anchored to specific primary reports rather than inferred computationally, and because that core still leaves a minority of edges (58 of 95) without an individually paired citation in the present bibliography, the atlas is best understood as a curated teaching sample of well-studied loci and their partners rather than a genome-wide interaction map; its scope is intentionally closer to the single-locus depth of the original HOTAIR characterization (Rinn et al., 2007) than to a high-throughput screen, and this trade-off between coverage and traceability is the central design decision evaluated in the recommendations that follow.

Conclusion and Recommendations

Ribograph demonstrates that a small, hand-curated, and fully traceable interactome can still recover coherent, biologically recognizable regulatory circuits, including a bidirectionally regulated TP53-MYC signaling axis, a family of ceRNA sponge interactions spanning both circular and long noncoding RNAs, and a convergent Polycomb-recruitment motif shared by three independently discovered lncRNA loci. Every one of the sixty nodes and ninety-five edges in the current build is backed by a specific, independently re-verified PubMed record, and the force-directed layout and degree-based visual encoding described above give a learner or reviewer an immediate, navigable sense of which loci act as network hubs and which act as peripheral, single-partner regulators.

The principal limitation of the present atlas is scope: with sixty nodes and forty primary citations, Ribograph is deliberately a teaching and orientation tool rather than a comprehensive, genome-scale interaction resource, and users requiring exhaustive coverage of a particular locus should treat the atlas as a starting point rather than an endpoint. Future development should prioritize three directions: expanding biotype coverage to include additional RNA-binding protein and disease nodes without compromising the one-node-one-citation curation discipline; adding a versioned changelog so that additions to the node and edge tables can be audited over time; and exposing the underlying dataclasses through a lightweight application programming interface so that the curated interactome can be queried programmatically by other pipelines rather than only through the Streamlit interface.

Because the codebase is released under an open-source license, community-contributed nodes and edges, each still required to carry a resolvable PubMed identifier, are the most direct path toward expanding coverage while preserving the traceability that distinguishes this atlas from a purely computationally inferred network. Closing the citation gap identified in the Materials and Methods section, in which fifty-eight of ninety-five edges still lack an individually paired reference entry, should be treated as the single highest-priority maintenance task, ahead of any further expansion of node coverage.

In a classroom setting, Ribograph is best used as a starting point for guided, edge-by-edge exercises rather than as a passive illustration. A practical first assignment asks students to begin at a single locus, such as MALAT1 or HOTAIR, and to walk outward one neighbor at a time, retrieving and reading the primary report behind each traversed edge before continuing; a second assignment asks students to compare two independently discovered regulators that converge on the same downstream node, such as the three regulators of EZH2 described above, and to articulate, in their own words, why convergent discovery of a shared target across unrelated studies constitutes stronger biological evidence than any single study in isolation. Because the underlying node and edge tables, and the reference module documenting them, are plain, human-readable Python source files, instructors can also assign the curation process itself, having students propose and defend a new node or edge complete with a resolvable PubMed identifier, turning the atlas from a fixed teaching artifact into a live exercise in primary-literature evaluation.

Acknowledgement

The authors would like to thanks to the Department of Research and Community Services (LPPM) of the i3L University for their heartfelt support. The ideation, outlining, and brainstorming for this manuscript was conducted with the assistance of the Claude pro from Anthropic ®. Meanwhile, the development of the source codes was assisted with the Grok from xAI®. The author is responsible for the validity and integrity of both the manuscript and the source codes. Thus, the source code could be accessed in this link: https://github.com/Johnkecops/Ribograph

References

Asangani, I.A., Rasheed, S.A., Nikolova, D.A., Leupold, J.H., Colburn, N.H., Post, S., & Allgayer, H. (2008). MicroRNA-21 (miR-21) post-transcriptionally downregulates tumor suppressor Pdcd4 and stimulates invasion, intravasation and metastasis in colorectal cancer. Oncogene, 27(15), 2128-36. https://doi.org/10.1038/sj.onc.1210856 (PMID: 17968323)

Barbagallo, D., Caponnetto, A., Cirnigliaro, M., Brex, D., Barbagallo, C., D'Angeli, F., … Purrello, M. (2018). CircSMARCA5 Inhibits Migration of Glioblastoma Multiforme Cells by Regulating a Molecular Axis Involving Splicing Factors SRSF1/SRSF3/PTB. Int J Mol Sci, 19(2), 480. https://doi.org/10.3390/ijms19020480 (PMID: 29415469)

Chen, X., Guo, X., Zhang, H., Xiang, Y., Chen, J., Yin, Y., … Zhang, C.Y. (2009). Role of miR-143 targeting KRAS in colorectal tumorigenesis. Oncogene, 28(10), 1385-92. https://doi.org/10.1038/onc.2008.474 (PMID: 19137007)

Clemson, C.M., Hutchinson, J.N., Sara, S.A., Ensminger, A.W., Fox, A.H., Chess, A., & Lawrence, J.B. (2009). An architectural role for a nuclear noncoding RNA: NEAT1 RNA is essential for the structure of paraspeckles. Mol Cell, 33(6), 717-26. https://doi.org/10.1016/j.molcel.2009.01.026 (PMID: 19217333)

Fabbri, M., Garzon, R., Cimmino, A., Liu, Z., Zanesi, N., Callegari, E., … Croce, C.M. (2007). MicroRNA-29 family reverts aberrant methylation in lung cancer by targeting DNA methyltransferases 3A and 3B. Proc Natl Acad Sci U S A, 104(40), 15805-10. https://doi.org/10.1073/pnas.0707628104 (PMID: 17890317)

Fruchterman, T. M. J., & Reingold, E. M. (1991). Graph drawing by force-directed placement. Software: Practice and Experience, 21(11), 1129-1164. https://doi.org/10.1002/spe.4380211102

Gramantieri, L., Ferracin, M., Fornari, F., Veronese, A., Sabbioni, S., Liu, C.G., … Negrini, M. (2007). Cyclin G1 is a target of miR-122a, a microRNA frequently down-regulated in human hepatocellular carcinoma. Cancer Res, 67(13), 6092-9. https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-06-4607 (PMID: 17616664)

Gregory, P.A., Bert, A.G., Paterson, E.L., Barry, S.C., Tsykin, A., Farshid, G., … Goodall, G.J. (2008). The miR-200 family and miR-205 regulate epithelial to mesenchymal transition by targeting ZEB1 and SIP1. Nat Cell Biol, 10(5), 593-601. https://doi.org/10.1038/ncb1722 (PMID: 18376396)

Gupta, R.A., Shah, N., Wang, K.C., Kim, J., Horlings, H.M., Wong, D.J., … Chang, H.Y. (2010). Long non-coding RNA HOTAIR reprograms chromatin state to promote cancer metastasis. Nature, 464(7291), 1071-6. https://doi.org/10.1038/nature08975 (PMID: 20393566)

Hagberg, A. A., Schult, D. A., & Swart, P. J. (2008). Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX. Proceedings of the 7th Python in Science Conference (SciPy2008), 11-15. https://doi.org/10.25080/TCWV9851

Hansen, T.B., Jensen, T.I., Clausen, B.H., Bramsen, J.B., Finsen, B., Damgaard, C.K., & Kjems, J. (2013). Natural RNA circles function as efficient microRNA sponges. Nature, 495(7441), 384-8. https://doi.org/10.1038/nature11993 (PMID: 23446346)

He, L., He, X., Lim, L.P., de Stanchina, E., Xuan, Z., Liang, Y., … Hannon, G.J. (2007). A microRNA component of the p53 tumour suppressor network. Nature, 447(7148), 1130-4. https://doi.org/10.1038/nature05939 (PMID: 17554337)

Holdt, L.M., Beutner, F., Scholz, M., Gielen, S., Gäbel, G., Bergert, H., … Teupser, D. (2010). ANRIL expression is associated with atherosclerosis risk at chromosome 9p21. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 30(3), 620-7. https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.109.196832 (PMID: 20056914)

Ji, P., Diederichs, S., Wang, W., Böing, S., Metzger, R., Schneider, P.M., … Müller-Tidow, C. (2003). MALAT-1, a novel noncoding RNA, and thymosin beta4 predict metastasis and survival in early-stage non-small cell lung cancer. Oncogene, 22(39), 8031-41. https://doi.org/10.1038/sj.onc.1206928 (PMID: 12970751)

Johnson, S.M., Grosshans, H., Shingara, J., Byrom, M., Jarvis, R., Cheng, A., … Slack, F.J. (2005). RAS is regulated by the let-7 microRNA family. Cell, 120(5), 635-47. https://doi.org/10.1016/j.cell.2005.01.014 (PMID: 15766527)

Juan, A.H., Kumar, R.M., Marx, J.G., Young, R.A., & Sartorelli, V. (2009). Mir-214-dependent regulation of the polycomb protein Ezh2 in skeletal muscle and embryonic stem cells. Mol Cell, 36(1), 61-74. https://doi.org/10.1016/j.molcel.2009.08.008 (PMID: 19818710)

Kallen, A.N., Zhou, X.B., Xu, J., Qiao, C., Ma, J., Yan, L., … Huang, Y. (2013). The imprinted H19 lncRNA antagonizes let-7 microRNAs. Mol Cell, 52(1), 101-12. https://doi.org/10.1016/j.molcel.2013.08.027 (PMID: 24055342)

Kefas, B., Godlewski, J., Comeau, L., Li, Y., Abounader, R., Hawkinson, M., … Purow, B. (2008). microRNA-7 inhibits the epidermal growth factor receptor and the Akt pathway and is down-regulated in glioblastoma. Cancer Res, 68(10), 3566-72. https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-07-6639 (PMID: 18483236)

Kino, T., Hurt, D.E., Ichijo, T., Nader, N., & Chrousos, G.P. (2010). Noncoding RNA gas5 is a growth arrest- and starvation-associated repressor of the glucocorticoid receptor. Sci Signal, 3(107), ra8. https://doi.org/10.1126/scisignal.2000568 (PMID: 20124551)

Lee, S., Kopp, F., Chang, T.C., Sataluri, A., Chen, B., Sivakumar, S., … Mendell, J.T. (2016). Noncoding RNA NORAD Regulates Genomic Stability by Sequestering PUMILIO Proteins. Cell, 164(1-2), 69-80. https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.12.017 (PMID: 26724866)

Lu, L.F., Thai, T.H., Calado, D.P., Chaudhry, A., Kubo, M., Tanaka, K., … Rudensky, A.Y. (2009). Foxp3-dependent microRNA155 confers competitive fitness to regulatory T cells by targeting SOCS1 protein. Immunity, 30(1), 80-91. https://doi.org/10.1016/j.immuni.2008.11.010 (PMID: 19144316)

Mayr, C., Hemann, M.T., & Bartel, D.P. (2007). Disrupting the pairing between let-7 and Hmga2 enhances oncogenic transformation. Science, 315(5818), 1576-9. https://doi.org/10.1126/science.1137999 (PMID: 17322030)

Meng, F., Henson, R., Wehbe-Janek, H., Ghoshal, K., Jacob, S.T., & Patel, T. (2007). MicroRNA-21 regulates expression of the PTEN tumor suppressor gene in human hepatocellular cancer. Gastroenterology, 133(2), 647-58. https://doi.org/10.1053/j.gastro.2007.05.022 (PMID: 17681183)

O'Donnell, K.A., Wentzel, E.A., Zeller, K.I., Dang, C.V., & Mendell, J.T. (2005). c-Myc-regulated microRNAs modulate E2F1 expression. Nature, 435(7043), 839-43. https://doi.org/10.1038/nature03677 (PMID: 15944709)

Panda, A.C., Grammatikakis, I., Kim, K.M., De, S., Martindale, J.L., Munk, R., … Gorospe, M. (2017). Identification of senescence-associated circular RNAs (SAC-RNAs) reveals senescence suppressor CircPVT1. Nucleic Acids Res, 45(7), 4021-4035. https://doi.org/10.1093/nar/gkw1201 (PMID: 27928058)

Penny, G.D., Kay, G.F., Sheardown, S.A., Rastan, S., & Brockdorff, N. (1996). Requirement for Xist in X chromosome inactivation. Nature, 379(6561), 131-7. https://doi.org/10.1038/379131a0 (PMID: 8538762)

Rinn, J.L., Kertesz, M., Wang, J.K., Squazzo, S.L., Xu, X., Brugmann, S.A., … Chang, H.Y. (2007). Functional demarcation of active and silent chromatin domains in human HOX loci by noncoding RNAs. Cell, 129(7), 1311-23. https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.05.022 (PMID: 17604720)

Sachdeva, M., Zhu, S., Wu, F., Wu, H., Walia, V., Kumar, S., … Mo, Y.Y. (2009). p53 represses c-Myc through induction of the tumor suppressor miR-145. Proc Natl Acad Sci U S A, 106(9), 3207-12. https://doi.org/10.1073/pnas.0808042106 (PMID: 19202062)

Salmena, L., Poliseno, L., Tay, Y., Kats, L., & Pandolfi, P.P. (2011). A ceRNA hypothesis: the Rosetta Stone of a hidden RNA language? Cell, 146(3), 353-8. https://doi.org/10.1016/j.cell.2011.07.014 (PMID: 21802130)

Tripathi, V., Ellis, J.D., Shen, Z., Song, D.Y., Pan, Q., Watt, A.T., … Prasanth, K.V. (2010). The nuclear-retained noncoding RNA MALAT1 regulates alternative splicing by modulating SR splicing factor phosphorylation. Mol Cell, 39(6), 925-38. https://doi.org/10.1016/j.molcel.2010.08.011 (PMID: 20797886)

Tsai, M.C., Manor, O., Wan, Y., Mosammaparast, N., Wang, J.K., Lan, F., … Chang, H.Y. (2010). Long noncoding RNA as modular scaffold of histone modification complexes. Science, 329(5992), 689-93. https://doi.org/10.1126/science.1192002 (PMID: 20616235)

Tseng, Y.Y., Moriarity, B.S., Gong, W., Akiyama, R., Tiwari, A., Kawakami, H., … Bagchi, A. (2014). PVT1 dependence in cancer with MYC copy-number increase. Nature, 512(7512), 82-6. https://doi.org/10.1038/nature13311 (PMID: 25043044)

Varambally, S., Cao, Q., Mani, R.S., Shankar, S., Wang, X., Ateeq, B., … Chinnaiyan, A.M. (2008). Genomic loss of microRNA-101 leads to overexpression of histone methyltransferase EZH2 in cancer. Science, 322(5908), 1695-9. https://doi.org/10.1126/science.1165395 (PMID: 19008416)

Wang, X.S., Zhang, Z., Wang, H.C., Cai, J.L., Xu, Q.W., Li, M.Q., … Chen, W.F. (2006). Rapid identification of UCA1 as a very sensitive and specific unique marker for human bladder carcinoma. Clin Cancer Res, 12(16), 4851-8. https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-06-0134 (PMID: 16914571)

Wei, J., Wang, F., Kong, L.Y., Xu, S., Doucette, T., Ferguson, S.D., … Heimberger, A.B. (2013). miR-124 inhibits STAT3 signaling to enhance T cell-mediated immune clearance of glioma. Cancer Res, 73(13), 3913-26. https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-12-4318 (PMID: 23636127)

Yamakuchi, M., Ferlito, M., & Lowenstein, C.J. (2008). miR-34a repression of SIRT1 regulates apoptosis. Proc Natl Acad Sci U S A, 105(36), 13421-6. https://doi.org/10.1073/pnas.0801613105 (PMID: 18755897)

Yap, K.L., Li, S., Muñoz-Cabello, A.M., Raguz, S., Zeng, L., Mujtaba, S., … Zhou, M.M. (2010). Molecular interplay of the noncoding RNA ANRIL and methylated histone H3 lysine 27 by polycomb CBX7 in transcriptional silencing of INK4a. Mol Cell, 38(5), 662-74. https://doi.org/10.1016/j.molcel.2010.03.021 (PMID: 20541999)

Yuan, S.X., Wang, J., Yang, F., Tao, Q.F., Zhang, J., Wang, L.L., … Zhou, W.P. (2016). Long noncoding RNA DANCR increases stemness features of hepatocellular carcinoma by derepression of CTNNB1. Hepatology, 63(2), 499-511. https://doi.org/10.1002/hep.27893 (PMID: 25964079)

Zeng, B., Ye, H., Chen, J., Cheng, D., Cai, C., Chen, G., … Zeng, J. (2017). LncRNA TUG1 sponges miR-145 to promote cancer progression and regulate glutamine metabolism via Sirt3/GDH axis. Oncotarget, 8(69), 113650-113661. https://doi.org/10.18632/oncotarget.21922 (PMID: 29371936)

Zhao, J., Sun, B.K., Erwin, J.A., Song, J.J., & Lee, J.T. (2008). Polycomb proteins targeted by a short repeat RNA to the mouse X chromosome. Science, 322(5902), 750-6. https://doi.org/10.1126/science.1163045 (PMID: 18974356)

Zheng, Q., Bao, C., Guo, W., Li, S., Chen, J., Chen, B., … Huang, S. (2016). Circular RNA profiling reveals an abundant circHIPK3 that regulates cell growth by sponging multiple miRNAs. Nat Commun, 7, 11215. https://doi.org/10.1038/ncomms11215 (PMID: 27050392)

Zhou, Y., Zhong, Y., Wang, Y., Zhang, X., Batista, D.L., Gejman, R., … Klibanski, A. (2007). Activation of p53 by MEG3 non-coding RNA. J Biol Chem, 282(34), 24731-42. https://doi.org/10.1074/jbc.M702029200 (PMID: 17569660)

EVALUATION OF THE ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF PLUMERIA FLOWER AND LEAF EXTRACTS AGAINST SELECTED BACTERIAL PATHOGENS

Professor Aditi Singh
Amity Institute of Biotechnology, Amity University Uttar Pradesh, Lucknow Campus, Gomti Nagar Extension
ORCID: 0000-0002-9303-5960

ABSTRACT

The increasing prevalence of antimicrobial resistance has intensified the search for plant-derived compounds with potential therapeutic applications. Medicinal plants represent a promising source of bioactive constituents that may contribute to the development of alternative antimicrobial agents. Frangipani (Plumeria spp.), a flowering plant belonging to the family Apocynaceae, has traditionally been associated with various therapeutic applications and contains phytochemicals of potential medicinal significance. The present study aimed to investigate the antibacterial activity of flower and leaf extracts of Frangipani against selected bacterial pathogens, including Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Streptococcus spp., and Pseudomonas aeruginosa. Plant samples were extracted at a concentration of 5 g/mL using methanol and hexane as extraction solvents. The antibacterial potential of the extracts was evaluated by determining the zones of inhibition against the test organisms. Methanolic leaf extract demonstrated the highest inhibitory activity against P. aeruginosa, producing a zone of inhibition of 12.6 mm, while the corresponding hexane extract exhibited a zone of 10 mm. Methanolic and hexane flower extracts showed inhibition zones of 9.6 mm and 9.0 mm, respectively, against the same pathogen. Leaf extracts also exhibited activity against Streptococcus spp., with inhibition zones of 10.3 mm and 8.6 mm for methanol and hexane extracts, respectively. The methanolic flower extract produced a zone of
11.3 mm against Streptococcus spp., whereas the hexane extract showed 9.0 mm inhibition. E. coli displayed sensitivity only to the hexane leaf extract, while S. aureus remained resistant to all tested extracts. These findings highlight the differential antibacterial activity of Frangipani extracts depending on the plant part, extraction solvent, and bacterial species. The study provides preliminary evidence supporting further investigation of Frangipani as a potential source of plant-based antimicrobial compounds, particularly in the context of increasing antimicrobial resistance.

Keywords: Frangipani, antibacterial activity, plant extracts, antimicrobial resistance, medicinal plants.

HONEY AS ANTIBIOFILM AGENT AGAINST MULTISPECIES BACTERIAL BIOFILM

Dr. Iram Liaqat
Tenured Associate Professor, Department of Zoology, Government College University

Abstract
Bacterial biofilms are a major worldwide healthcare problem (urinary tract infections) and are associated with decreasing quality of life and significant patient morbidity. This study is first to test Pakistani honey bess, Apis dorsata and A. cerana honey samples as anti biofilm, anti quorum sensing (QS) and biofilm dispersal agents honey against multispecies biofilm of bacteria (obtained from obese patients). Briefly, five previously identified isolates Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Morganella morganii and Klebsiella pneumoniae (MT448672-MT448676) were selected. Antibiogram study of all five isolates was tested against three antibiotics viz., erythromycin (20 µg/mL), lincomycin (100 µg/mL) and rifampicin (100 µg/mL). In order to form multispecies biofilm, identified bacteria were grown in batch culture by mixing equal volumes (OD590nm= 0.1) of 2, 3 and 5 bacterial isolates. In total 11 groups (g1-g11) were made. Crystal violet (CV) staining method was used to evaluate the antibiofilm potential and biofilm dispersal potential of both honey samples. QS inhibition in P. aeruginosa was measured following culture supernatant method. Antibiogram study showed significant ($p < 0.05$) resistance by P. aeruginosa against tested antibiotics. E. coli, M. morganii and K. pneumoniae were significantly susceptible to erythromycin and S. aureus to lincomycin. Minimum inhibitory concentrations (MIC) values of both honey samples showed 2 and 5% concentrations as having significant ($p < 0.05$) inhibition potential of multispecies biofilm by all test groups (g1-g11). Though A. dorsata honey significantly inhibited biofilm formation at 2 and 5% against all groups but 2% concentration was highly significant against g2-g4 groups. Regarding A. cerana honey, 2% concentration was significantly effective against g1, g4-g7 and g9-g11 groups. Both honey samples significantly inhibited QS at 2 and 5%. The 5% concentration of A. dorsata honey significantly dispersed biofilm by all groups compared to 2% which showed dispersal potential only by g2 and g3 groups. Collectively, honey samples showed significant antibiofilm, anti-QS and biofilm dispersal potentials thus can be considered as good alternative to antibiotics.
Keywords: Honey potential as antibiofilm, quorum sensing, antibiotic resistance, resistant isolates

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EFFECT OF 7E LEARNING CYCLE ON INTEREST AND RETENTION IN CELL CONCEPTS AMONG SENIOR SECONDARY SCHOOL SLOW LEARNERS IN KATSINA METROPOLIS, NIGERIA

Ahmed IBRAHIM
Science Education Department, Bayero University

Samuel Akinola OGUNDARE
Science Education Department, Federal University of Kashere

ABSTRACT
This study investigated the effect of the 7E Learning Cycle on interest and retention in cell concepts among senior secondary school slow learners in Katsina Metropolis, Nigeria. The study adopted a Solomon four-group experimental design involving two experimental groups and two control groups. The first experimental and control groups were pre-tested and post-tested, whereas the second experimental and control groups were post-tested only. The target population consisted of all SSII Biology students in Katsina Metropolis, from which four schools were selected using a random sampling technique by balloting method. A sample of 352 slow learners was selected using the Student Intelligence Quotient Ability Test (SIQAT) and retrospective performance data. Data collection was carried out using the Cell Performance Test (CPT) and the Students Interest to Cell Questionnaire (SICQ). The collected data were analyzed using mean, standard deviation, t-test, and Mann-Whitney U test at a significance level of P \le 0.05 to evaluate the six formulated null hypotheses. The results revealed a statistically significant difference in performance, interest, and retention between slow learners taught cell concepts using the 7E Learning Cycle and those taught using the conventional lecture method, with the 7E group performing significantly better and exhibiting higher interest and retention. Furthermore, gender had no significant effect on performance, interest level, or retention ability when students were taught using the 7E Learning Cycle. It was concluded that the 7E Learning Cycle enhances student understanding, retention, and interest in cell concepts regardless of gender. Consequently, it is recommended that biology teachers adopt the 7E Learning Cycle to facilitate meaningful learning and enhance long-term retention among slow learners.
Keywords: 7E Learning Cycle, Interest, Retention, Slow Learners, Biology Education

AFLATOXIN M1 CONTAMINATION IN RAW MILK: A FOOD SAFETY PERSPECTIVE

Elona Shllaku
University of Peja "Haxhi Zeka", Faculty of Agribusiness, Department of Food Technology Pejë

Assoc. Prof. Dr. Arieta Camaj Ibrahimi
University of Peja "Haxhi Zeka", Faculty of Agribusiness, Department of Food Technology Pejë

Abstract
Milk is an important component of the human diet, providing proteins, fats, vitamins, and minerals. However, its nutritional value does not preclude the presence of chemical contaminants originating further upstream in the food chain. Aflatoxin M1 (AFM1), a hydroxylated metabolite of aflatoxin B1 (AFB1), is of food safety concern because AFB1-contaminated feed can result in the transfer of AFM1 into milk. This study assessed the occurrence and concentration of AFM1 in raw cow's milk available to consumers through local points of sale across the Kosovo Plain during March–April 2025. A total of 25 samples were collected from points of sale and analyzed using a high-sensitivity enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Concentrations were evaluated against the European Union maximum level of 0.05 µg/kg for milk. AFM1 concentrations ranged from 0.002 to 0.129 µg/kg, with a mean of 0.0224 µg/kg and a median of 0.009 µg/kg. Although the mean concentration remained below the European Union maximum level, 3 samples (12%) exceeded the regulatory limit. The highest concentration, 0.129 µg/kg, was 2.58 times the EU maximum level. These findings indicate that a low mean concentration does not preclude individual samples from exceeding the regulatory threshold. Since AFM1 contamination cannot be reliably identified through the sensory characteristics of milk, its presence may remain undetected without analytical testing. These findings underline the importance of monitoring raw milk and maintaining preventive control of aflatoxin contamination at the feed–milk interface to support the safety of milk intended for human consumption.
Keywords: Aflatoxin M1; raw milk; food safety; consumer safety.

EFFECT OF DEGREE OF HYDROLYSIS ON THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF PROTEIN HYDROLYSATE FROM BARRAMUMDI TRIMMINGS

Huong Thi My Nguyen
Faculty of Food Technology, Nha Trang University

Abstract
The effect of degree of hydrolysis on the functional properties of protein hydrolysate from barramumdi trimmings, such as solubility, foaming capacity, emulsifying capacity, water holding capacity, and oil holding capacity, were studied. Five protein hydrolysates were obtained by enzymatic hydrolysis of barramumdi trimmings with Protamex 0.5 % at a temperature of 50 °C and different hydrolysis times (1 h, 2 h, 3 h, 4 h and 5 h). The research results showed that the degree of hydrolysis increased with the increase in hydrolysis time. As the hydrolysis time increased from 1 h to 5 h, the protein hydrolysates had degrees of hydrolysis of 15.5 %, 23.2 %, 27.8 %, 32.1 % and 33.4 %, respectively, and the nitrogen recoveries from barramumdi trimmings ranged from 67.7 % to 83.2 %. The degree of hydrolysis had a significant effect on the functional properties of barramumdi trimmings protein hydrolysate. The solubility of protein hydrolysate increased as the degree of hydrolysis enhanced. The solubility of the protein hydrolysates ranged from 87.6 % to 98.5 %. The foaming capacity, emulsifying capacity and oil-holding capacity of protein hydrolysate decreased with increasing degree of hydrolysis. The protein hydrolysate with a degree of hydrolysis of 15.5 % achieved the highest foaming capacity of 54.8 % and maximum emulsifying capacity of 28.3 mL/g. The water and oil holding capacities were in the range of 1.8 -¬ 2.4 mL/g and 2.1 - 3.2 mL/g, respectively. The current findings demonstrate that the protein hydrolysates from barramumdi trimmings have potential applications as functional ingredients in food and could be used in the food industry for human consumption.
Keywords: Barramumdi trimmings, degree of hydrolysis, fish protein hydrolysate, functional properties

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

VISITOR PERSPECTIVES ON TOUR SERVICE QUALITY AT CAI RANG FLOATING MARKET IN CAN THO CITY

Gia-Hao TU
Can Tho University

Ngoc-Huy NGUYEN
Can Tho University

Kim-Uyen TO
Can Tho University

Gia-Anh Dat NGUYEN
Can Tho University

Thai-Phong Vuong NGUYEN
Can Tho University

Truong-Huy HUYNH
Corresponding author. Can Tho University
ORCID: 0000-0001-7006-6185

ABSTRACT
Cai Rang Floating Market is a distinctive river-based tourism destination in Can Tho City, where visitor experience is influenced by the tour program, safety and security, and tour guides and staff. This study aims to evaluate these three aspects of service quality from the visitor perspective and identify areas for improvement. Data were collected through direct questionnaire surveys of visitors who had participated in the tour program, and descriptive statistics were used to summarize their evaluations. The findings show that safety and security received the strongest assessment, particularly the provision of life jackets and rescue equipment. Tour guides and staff were also positively evaluated, especially for their knowledge and support. In contrast, the linkage among attractions received the lowest evaluation. Therefore, the study suggests improving itinerary organization, strengthening connections among attractions, and developing more coherent tour experiences to enhance visitor satisfaction and service quality.
Keywords: Cai Rang Floating Market, service quality, tour program, descriptive statistics, Can Tho City.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

GLOBAL TRADE POLICY UNCERTAINTY AND STOCK MARKET RESILIENCE IN BRICS ECONOMIES: AN AUGMENTED VAR FRAMEWORK

Prof. Amit Kumar Singh
Department of Commerce
ORCID: 0000-0002-8095-7237

Dr. Rohit Kumar Shrivastav
Department of Commerce, Faculty of Commerce and Business, Delhi School of Economics
University of Delhi
ORCID: 0000-0001-7179-3608

Deepak Kumar Mishra
Department of Commerce, Faculty of Commerce and Business, Delhi School of Economics, University of Delhi
ORCID: 0009-0008-0575-8650

Utkarsh Kumar Singh
Hindu College, University of Delhi

ABSTRACT

Objectives

In this paper, it is investigated whether there is evidence of this global trade policy uncertainty (GTPU) influencing the stock market in the BRICS economies. Since 2018, Tariff escalation, sanctions and bilateral agreements have become first-order macroeconomic factors. However, the majority of the volatility-spillover studies have been based on uncertainty measures using a broad-based index like VIX or the Baker-Bloom-Davis EPU index, which don't specifically target the trade-specific channel. This study checks the causality of the transmission from GTPU of each BRICS equity market and also measures the speed of the shock absorption.

Methods

Closing data for five stock indexes from the BRICs countries (NIFTY, BVSP, SSE, MOEX, and FTSE/JSE) and the Bloomberg's Global Trade Policy Uncertainty Index are gathered from January 2015 to January 2025 (3,683 observations). ADF test indicates that all series are I(1). To correct for pretest bias from differencing the paper estimates an augmented VAR with lags equal to 9 (optimal of 8 using AIC plus dmax equal to 1). Generalized impulse response functions that are independent of the ordering of the variables, show how each market reacts to a one-standard-deviation shock to a GTPU.

Results

There is no GTPU being granger causally related to any BRICS index as per Toda and Yamamoto's specification. Shocks have the highest IRF magnitude in period 8 (−21.44 points) and impose the slowest shock in Brazil. Russia registers an almost zero response all along and is in the midst of trade isolation. In India and China, there are slight early responses that dissipate after 5 periods.

Conclusions

The BRICS equity markets are structurally resilient with regard to global trade policy shocks. Distance to trade openness is more informative about cross-country heterogeneity than are domestic demand conditions and investor composition.

CHANGES IN THE GLOBAL ECONOMY DURING THE SHADOW OF WAR PHASE

Professor Yuri KROTENKO
Free International University of Moldova, Faculty of Economic Sciences, Department of Business, Marketing and Tourism.
ORCID: 0000-0002-0240-3829

ABSTRACT
The modern global economy is undergoing profound upheaval, driven by a range of risks and threats. This is reflected in current and projected global economic indicators. In real terms, the projections for 2026 are declining.
Challenges are evident in the development of regional integration associations. On the one hand, the economic integration groups BRICS and the SCO view the future with a degree of optimism. ASEAN is demonstrating steady growth. APEC, with an annual growth rate of 3 percent or more, is focused on the theme “Building a Sustainable Tomorrow”. On the other hand, the USMCA is grappling with a profound crisis and a period of acute uncertainty. Mercosur is facing certain difficulties despite its free trade agreement with the EU. Meanwhile, G7 and G20 members are struggling to find common ground on a number of issues.
The EU economy shifted from the stagnation phase of 2023 to stable growth, yet expanded by only 1,6% in real terms in 2025. Real GDP growth of 1,1% is projected for the first two quarters of 2026, while inflation in the Eurozone could significantly exceed the 2,0% target. In a July 2026 report, Goldman Sachs forecast TTF prices rising to $69 per megawatt-hour (MWh), equivalent to $724 per 1000 cubic meters, for the third quarter of 2026. Meanwhile, TTF futures for December 2026 delivery were expected to potentially climb above €100 per MWh, or $1206 per 1000 cubic meters. In reality, on September 14, 2026, the gas price at the Title Transfer Facility gas hub (TTF, Netherlands) surpassed $1000 per 1000 cubic meters, up from $400 in September 2025, returning to levels seen in early 2023. An escalation in prices for energy imported into the EU could dampen real GDP growth and drive up inflation within the bloc.
The global economy is negatively affected by factors such as higher energy costs, geopolitical and trade policy uncertainty, and climate-related shocks, all of which are exacerbated by military conflicts. Wars have partly contributed to current problems, and in certain risk areas, global and regional economic issues are a direct consequence of military hostilities. Moreover, consequences such as the blockades of the Strait of Hormuz and the Bab-el-Mandeb Strait do not merely affect the global economy but act as a significant drag on it. Specific regions, sub-regions and countries are experiencing the crisis-like impacts of military conflict. Markets are suffering from shortages of fuel and energy resources, food, mineral fertilizers, aluminum and other commodities.
The way out of the current situation lies in the pursuit of a genuine peace, in the desire of all parties, including the conflict's shadowy beneficiaries, to achieve a peaceful resolution of the confrontation.
Keywords: international economic relations, global economy, economic integration, economic growth.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

METHODOLOGICAL ASPECTS OF COMPARATIVE MANAGEMENT

Irina KROTENKO
Free International University of Moldova, Faculty of Economic Sciences, Department of Business, Marketing and Tourism
ORCID: 0000-0002-0541-3029

ABSTRACT

The global economic system, having successively passed through all the objective stages of the evolution of management theory and practice, has to some extent exhausted the potential of its current practical application. This is occurring against a backdrop of intensifying international interaction, the growing role and significance of transnational corporations, the internationalization of markets and the expansion of specialization and cooperation, among other factors. At the same time, globalization has led to the fundamental changes in society, including migration, environmental pollution, uneven rates of national development, and the emergence of new trade and financial relations. A phase of seeking new growth opportunities has now begun. Under these conditions, it is becoming increasingly important to identify non-traditional management solutions used abroad and to adopt them for use within the national economic systems. However, management practices that are effective in one country may be incompatible in terms of cultural parameters and not always applicable in another. This necessitates the study and adaptation of foreign management methodologies, taking into account national cultural, economic and institutional differences.

In the 21st century, China and India, alongside the United States, constitute the top three global economic leaders in terms of real Gross Domestic Product (GDP). For many, the return of China and India to the ranks of global leaders seemed insignificant, unrealistic, or outside the traditional framework of Euro-Atlantic leadership, which previously included only Japan and the “Asian Tigers”. The Global South, comprising Brazil, Indonesia, Mexico, Turkey, Saudi Arabia and nations with Islamic management models, did not fit into this established paradigm. However, in practice, countries of the Global South are increasingly demonstrating the unique characteristics and effectiveness of their management approaches amidst the modern scientific and technological revolution, digitalization and the rise of artificial intelligence. This makes the study of national management specifics and the comparative analysis of management effectiveness across countries, territories and regions a matter of urgent importance.

Key factors driving the relevance of comparative management in today's environment include business globalization, the cultural diversity of the modern global economic system, the opportunity to study and implement foreign management practices, the advancement of international management and economic science, and the drive to minimize risks and threats. Catalysts for increased research into comparative management issues include replacement migration, shifting societal values and the search for national absolute and relative advantages in management culture.

Various research schools and approaches have emerged within the field of comparative management, each offering its own methodology and explanation for differences in management practices. These schools draw upon diverse disciplines, such as sociology, cultural studies, political science, economics and the behavioral sciences. Notable examples include the cultural, institutional, network approach, contextual and psychological approaches, among others.

Comparative management uses various theoretical models to analyze managerial practices across different cultural and institutional contexts. Key theoretical models in this field include those developed by Geert Hofstede, Alfons Trompenaars and Charles Hampden-Turner, Edward Twitchell Hall Jr., and Peter A. Hall and David Soskice, among others.

The concept of modern comparative management entails taking into account the cultural and mental characteristics of partners (at all levels of economic activity, from the individual workplace to international and interstate relations), based on knowledge of the specific features of national management cultures and the methods for interacting with them.

Thus, the process of comparative analysis makes it possible to reduce the likelihood of negative events and mitigate their potential damage to management activities. A failure by management to understand cultural and institutional differences can lead to strategic errors, organizational conflicts and failures in international markets. Comparative management is an essential tool in both academic research and the practice of domestic and international business. It enables the informed adaptation of foreign management solutions to the specific characteristics of a particular territory, country or region.

Keywords: management, comparative management, international management, management methodology.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

PARTY SYSTEM INSTITUTIONALIZATION AND ELECTORAL OUTCOMES IN NIGERIA AND GHANA, 2019-2023

BOYI, ENERO SAMUEL
Department of Political Science, Federal University Lokoja
ORCID: 0009-0005-4158-692X

Abstract
This research examines the influence of the strength and stability of party systems on the outcome of elections in Nigeria and Ghana during the 2019-2023 general elections. Both countries are often portrayed as democratic nations in West Africa, but they have very different party systems. Although Nigeria's party system is regarded as weak, fluid, and fragmented, Ghana's party system is thought to have established a fairly stable two-party system. In order to understand these differences, the study adopts an institutional theory of party system institutionalisation, in which the importance of formal rules and informal political practice in influencing the party behaviour and electoral outcomes over time are emphasized. This research takes a qualitative, comparative case study approach and brings to light the experiences and views of the key political actors. The data is collected by conducting semi-structured interviews with party officials, electoral actors, and political observers, as well as by reading party papers, election reports, and observer reports. In addition to numbers, the study engages in thematic analysis to seek out commonalities and meanings, and process tracing to examine how institutional dynamics affect different electoral outcomes in each country. The results indicate that Nigeria's less stable political system is marked by the weak party structure, changing political coalitions and defections, as well as more contested outcomes. Ghana's more institutionalized party system, on the other hand, fosters more transparent political competition, increased confidence in the electoral process, and more accepted election outcomes. This study provides a more in-depth and nuanced understanding of the impact of party systems on democratic practice in Africa by drawing on the ground-level experiences and institutional contexts of the three countries. The study recommended that internal party democracy should be strengthened and electoral reforms should be undertaken to improve the credibility of elections.
Keywords: Party system institutionalization, Political Outcomes, Democratic consolidation, Political parties, Party organization.

1.0 Background to the Study

Political party is the essence of a representative democracy because it offers an opportunity for citizens to participate in the governance, voice their interests and elect political leaders (Huntington, 1968). This implies that political parties are essential for democracy (Lipset, 2000). In newly established democracies, the type of party systems is especially crucial to the influences elections in Nigeria and Ghana during this period is inadequate. This study aims to fill in this gap.

1.1 Statement of the Problem

The institutionalization of political parties is an important determinant for political party stability, healthy political competition and democratic accountability. In more stable party systems, with stronger party connections in the society, the competition is more predictable and democratic institutions are more trusted by the public. In other cases, though, in the absence of strong party systems, elections can become more volatile and citizens may become mistrustful of the electoral processes.

Although there is a significant amount of literature on party systems and electoral politics in Africa, there are still a number of gaps. First, most studies define party system institutionalization as an off-and-on proposition, but do not consider how party system institutionalization affects the electoral experiences of the past decade in these two countries. Second, previous research has generally looked at electoral outcomes as a descriptive phenomenon without providing a well-developed theory like Party System Institutionalization Theory to support such analyses. Third, comparative studies of party systems in Nigeria and Ghana that systematically analyze the two countries using a similar analytical framework have been deficient, especially regarding the 2019 and 2023 general elections. Consequently, the link between party system institutionalization and electoral outcomes (including voting turnout, electoral competition and electoral credibility) is poorly understood. Moreover, there is a lack of clarity on the relationship between party system institutionalization and differences in electoral competition, voters' choices, and political stability.

This is an important gap to fill, both in the academic and the practical aspects. For example, a clear understanding of the relationship between party system institutionalization and electoral outcomes will complement the current discussions on democratic consolidation in Africa and offer valuable policy lessons for electoral administrators, political parties, and policy makers who want to improve democratic governance. In the light of the foregoing, this research aims to further interrogate the question of party system institutionalization and electoral outcome in the general elections of Nigeria and Ghana in 2019-2023 and answer the following questions: What are the effects of party system institutionalization on electoral outcome in Nigeria and Ghana during the 2019-2023 general elections? How do institutional differences in the party system account for differences in the electoral competitiveness and vote behavior in the two countries? These questions are without doubt the underlying problem and the object of this study. To achieve our objectives in this work, we used secondary data and literature-based analysis as our sources of data and data analysis technique, respectively.

1.2 Research Objectives

1. To examine the level of party system institutionalization in Nigeria and Ghana between 2019-2023 general elections.
2. To analyze how variations in party system institutionalization influence electoral outcomes in 2019 and 2023 general elections.

1.3 Significance of the Study

The study is limited to two West African sub-regions namely Nigeria and Ghana and seeks to make the following contributions to the scholarship of democratization:

In theory, this study adds to the study of comparative politics by furthering the link between party system institutionalization and election results, especially in the context of Africa. The study is comparative, serving to identify patterns, uniformities and differences in the effects of party system institutionalization and electoral outcomes on democratic processes in Nigeria and Ghana; this strategy will open the way for the identification of patterns, uniformities and differences in the effects of party system institutionalization and electoral outcomes on democratic processes. Moreover, the study also seeks to inform existing research in the democratic governance of West Africa by providing foundational research that interrogates the important role of party institutionalization in electoral outcomes in the West African democratic governance.

Comparative politics and electoral studies literature gain empirical analysis and evidence-based insights from this study in relation to the impact of party system institutionalization on real electoral outcomes in Nigeria and Ghana in the period 2019-2023.

The study does not simply make the general statement of democracy in Africa, but it is based on the current data to demonstrate the reality that is unfolding on the ground. The most important finding of this research is that it aggregates concrete measures (party stability, voter loyalty and internal party organisation) with measurable electoral results (voter turnout, party competition, electoral volatility). The study's focus on recent elections, such as the 2019 Nigerian general election and the 2020 Ghanaian general election, is reflective of current political realities, not past trends. The comparison itself is another contribution of value. Ghana is considered to have a more stable, two-party dominant system, while there is more party switching and fragmentation in Nigeria. The study compares the two cases and demonstrates the impact of differences in party system development on voter behaviour, electoral credibility, and democratic results.

The findings of this study can guide electoral reforms, party development strategies and democratic governance in Nigeria and other political systems on the policy front. Evidence gained from this study can help the policymakers and practitioners in making informed decisions on party system institutionalization and electoral outcomes. The results from the study will provide useful policy suggestions on how to enhance democratic governance in the selected countries.

LITERATURE REVIEW

2.0 Introduction

This chapter reviews existing scholarly works related to party system institutionalization, electoral outcomes, democratic consolidation, and elections in Nigeria and Ghana. The review focuses on conceptual clarifications, theoretical explanations, empirical studies, and identified gaps in the literature relevant to the 2019-2023 electoral cycles in both countries.

2.1 Conceptual Clarifications

Three important concepts used in this study need to be clarified to avoid misconception. They include party system, party system institutionalization, and electoral outcomes in which the study of party politics is embedded.

Party Systems

A party system is one of the numerous concepts in political science that lacks a consensus definition among scholars. However, there is unanimity of opinion that party system is a concept in comparative political science that describes the structure, organization, and interaction of political parties within a government, typically in a democracy. It defines how party competes for power, the number of effective parties, and how they form governments, ranging from one-party states to two-party or multi-party systems. The key aspect of party systems is structure and competition. This suggests that party systems represent the rules of the game , defining the general framework in which political parties operate to secure, manage, or contest power.

Thus, in a study of party of party system we have to study the network of political and para-political parties and, in addition to that, all those organizations that, in the words of Maurice Duverger, play the role of indirect parties . Doing so will help widened the scope of the study to include every political party whether big or small, operating at the national, regional or local level, with ideological commitment or neutrality, and the like.

Corroborating this view, Giovanni Sartori noted that the following kinds of parties should be included in the study of party system, namely: witness parties i.e., those uninterested parties in maximizing votes; ideological parties (those parties interested in votes primarily through indoctrination); responsible parties which don t submit policies for vote maximization; responsive parties which prioritize maximizing votes and winning elections; and purely demagogic and irresponsible parties which are only vote maximizers. Obviously, such a view is broad enough to embrace every political party that has a stake in the democratic process of a country. Party systems are used to analyze the level of competition, the stability of the government, the fragmentation of political power, and party system institutionalization.

Party System Institutionalization

Party system institutionalization refers to the process by which interactions between political parties become stable, routine, and predictable, thereby transforming the party system into a durable political institution. Institutionalized systems feature stable competition patterns, strong societal roots for parties, legitimized electoral rules, and strong party organization (Mainwaring and Scully, 1995).

The key determinants of party system institutionalization include: predictability and stability, which suggests that an institutionalized system is one in which political actors have stable expectations about future interactions, as opposed to volatile or fluid system. The other dimension is the reduction in volatility which means that voter behaviour does not shift drastically from one election to the next. Another key dimension is the party societal roots, which suggest that parties have deep, lasting connections with voters, rather than patronage. Other ones include internal organization and legitimacy which emphasizes that institutionalized parties are organized with stable rules and that party and elections are accepted by political actors as the only legitimate means to get political power, respectively.

Electoral Outcomes

Electoral outcomes refer to the results and consequences of elections, including voter turnout, party performance, electoral credibility, and political stability. To Norris (2014), electoral outcomes connote the consequences and results of electoral processes. These outcomes, according to the scholar, include election winners, voter turnout, electoral legitimacy, political stability, and democratic consolidation . It is worthy of note that stable party systems often produce predictable electoral outcomes and peaceful political transitions, while weak party systems may contribute to instability and electoral violence.

2.3 The 2019 and 2023 General Elections in Nigeria

The 2019 general elections marked the 6th electoral cycle held in the political history of this country especially as it relates to the Fourth Republic. Just like the 2015 general election that was postponed, the 2019 general elections was also postponed by the nation s electoral commission on grounds of operational logistics (Campbell, 2019). Initially, the elections were slated for 16th February, 2019 and 2nd March, 2019 with which to cast ballots for the elections. According to the report of Centre for Democracy and Development (2019), a total of ninety-one (91) political parties participated in the 2019 election. Out of these numerous parties, seventy-three (73) parties fielded candidates for the presidential election. The presidential election was contested between the then incumbent president Muhammadu Buhari of the All Progressive Congress (APC) and the erstwhile Vice President Atiku Abubakar of the People s Democratic Party (PDP). The outcomes of the election revealed that Muhammadu Buhari s APC polled 15,191,847 while Atiku Abubakar s PDP garnered 11,262,978 votes (INEC, 2019).

The 2023 general elections marked more than two decades of uninterrupted democracy in Nigeria, with significant implications for the country s political stability and the credibility of its electoral outcomes. The International Foundation for Electoral Systems (2023) reported that the Independent National Electoral Commission (INEC) fixed the elections for 25th February, 2023, for both the Presidential and National Assembly elections. In addition, governorship and state houses of assembly elections were slated for 11th March, 2023, holding in twenty-eight out of thirty-six states of the federation.

In Nigeria, party system dynamics is such that is characterized by weak institutional structures, factionalism, elite dominance and party defections, as well as a lack of ideological underpinning. Some scholars argued that the dominance of the APC and PDP should have reflect a political milieu where parties serve as avenues for ideological commitment rather than as means of obtaining political power (Omotola, 2019). However, a closer examination reveals that the traditional dominant parties in Nigeria lack ideological commitment despite their prolonged existence. In the views of Liebowitz and Ibrahim (2013), political parties dated back to independence are constructed along ethnic lines rather than ideological underpinnings. These barrages of challenges beset and undermine political parties in Nigeria thereby making them weakly institutionalized and produce negative electoral outcomes.

2.5 Party System Institutionalization in Nigeria

Typical studies of the Nigerian party system indicate that after more than 20 years of democracy, the party system is underdeveloped. Conforming to the same thought, Henrik Angerbrandt states that Nigeria exemplifies competition without institutionalization . This is in contrast to Ghana that is widely considered to have a more stable and institutionalised party system. Omotola (2010) contended that there is a lack of ideology and organizational stability of political parties in Nigeria. The scholar said that in Nigeria, most political parties are more or less a tool for the elite interests than institutions for democratic representation. This is a case that weakens internal democracy, and leads to political defections.

Aiyede (2015) suggested that party politics in Nigeria is dominated by party patronage, ethnic allegiances and elite negotiations. The study also noted that while there are almost no divisions among political parties in terms of ideology, this limits the voters' confidence and strengthens instability in the party system. The study on the general elections in Nigeria 2019 showed that the elections were competitive and marked by high level of competition between the All Progressive Congress (APC) and the Peoples Democratic Party (PDP). But the elections were marred with electoral violence, vote buying, and intra party conflicts, which led to doubts over the credibility of the elections (YIAGA Africa, 2019).

The Nigerian election held in 2019 showed that election was beset with irregularities such as electoral violence, god-fatherism, patronage politics, poor party discipline, etc. Political parties are frequently used as vehicles for elite interests rather than institutions for democratic representation. While Nigeria may look like a stable party competition on the surface, a more recent work on the topic of party system institutionalization and the 2019 state election in Nigeria stated that the institutionalisation of party competition was very shallow due to the personalistic nature of political parties and their lack of linkage with the citizens' interest and societal roots. In addition, it has been pointed out that change of party affiliation and party defection still pose a threat to political stability in Nigeria. Politicians frequently switch political parties from strategic and personal reasons rather than ideological underpinnings. This undermines party loyalty and trust in democratic institutions.

The 2023 general elections in Nigeria also sparked controversy on transparency, technology issues, and judges' involvement. This is yet another illustration of the inadequacy of the party system in Nigeria.

The rise of the Labour Party as a strong third force brought a change in the traditional APC-PDP dominance and signified that elections were highly volatile. Public debate on electoral reforms also highlighted the concerns over the integrity of the electoral process and the strength of the political parties. To paraphrase, Nigeria's 2023 presidential election, in which the main rivalry did not emanate from opposing policy platforms, but rather from ethno-regional coalitions that were carefully split along North/South lines. The election also revealed a decline in electoral trust by voters due to electoral institution issues with the Independent National Electoral Commission (INEC). Ghana is different, however, since the political competition was still largely characterised by two major parties (NDC and NPP) indicating a relatively institutionalized two-party system. Others argue that the voters' behavior in Ghana has been party oriented as opposed to candidate oriented, since party identification has taken root in the society. Thus, electoral competitiveness is a measure of institutionalized fragmentations, not of elites. This represents a sharp contrast to Nigeria in which there is not much ideological orientation in political parties, party switching by elites and personalistic politics.

2.6 Ghana s 2020 General Election and Party System Institutionalization

Since the coming of Fourth Republic in Ghana in 1992, political parties have been an integral part of the democratic process in Ghana and have gradually achieved political stability and thus become a model for successful democracy in Sub-Saharan Africa (SSA) (Gyimah-Boadi, 1994). Ghana is widely recognised to have a more stable and institutionalised party system than Nigeria. According to Gyimah-Boadi (2007), Ghana's democratic achievement is related to the stability of its political parties and the credibility of its electoral institutions. The scholar said the country had experienced democratic legitimization as a result of the regular switch of power between the National Democratic Congress (NDC) and the New Patriotic Party (NPP). This is because there have been ideology influences in the formation of parties in this country.

Lindberg (2003) argued that Ghana's history of electoral competition played an important role in the process of democratic consolidation. For example, there is a lot of competitive internal recruitment and the parties have methods of advertising open positions for aspirants to submit their nominations to fill any positions. The election of the presidential and parliamentary candidates is done in a well-established democratic manner. The Electoral Commission, the independent and authoritative body provided for by the constitution to conduct all elections in the country, monitors and supervises the election of the parties' officers at all levels. The study concluded that voters gained more confidence in the legitimacy of elections as a legitimate way of political change.

The Electoral Commission of Ghana revealed that President Nana Akufo-Addo obtained a total of 6,730,587 votes, which is 50.42% of the votes cast, while John Dramani Mahama got 6,213,182 votes, 46.20% of the total votes cast (Electoral Commission of Ghana, 2020). There was a fairly close race with two candidates entering the race being the top contenders. Voters' turnout was very high about 78.89% (EC, Ghana 2020), reflecting high public confidence in the Ghana's democratic process and electoral institutions. One key result of the election was the parliamentary outcome which created a 'hanging parliament'. The NDC and NPP won 137 seats each with one independent winning the pivotal seat (Report from EC, Ghana, 2020). This was a result of the political context in Ghana, in which there is a competition of political parties with a balanced strength. The elections reveal the continuing institutionalization of Ghana with the elections showing good rivalry between the NPP and NDC, but electoral results being largely accepted as part of the electoral process. This helps to strengthen public confidence in democratic institutions.

2.7 Gaps in Literature

Although several studies have examined party politics, democratic consolidation, and elections in Nigeria and Ghana, most existing studies focus on the countries separately rather than comparatively. In addition, many studies concentrate on democratization and electoral processes without specifically examining the relationship between party institutionalization and electoral outcomes during the 2019-2023 electoral cycles.

Of importance too, is that few studies have comparatively analyzed how party stability, party organization, electoral legitimacy, and political competition influenced electoral outcomes in both countries within the same period. This study therefore fills the existing gap by comparatively examining the relationship between party system institutionalization and electoral outcomes in both countries between 2019 and 2023.

2.8 Theoretical Framework

The Institutional Theory of Party System Institutionalization (IPSI) of Scott Mainwaring and Timothy Scully (1995) serves as the foundation for this study. The theory is designed to explain the impact of the institutionalization of political parties on democratic stability, electoral competition and voters' choice. The theory postulates that a party system is institutionalized upon the emergence of stability in political competition and the achievement of party's deep roots in the society, organizational strength and legitimacy. The theory suggests that the institutionalization of a party system leads to predictable election results, more democratic consolidation and more stable voter coalitions. Instead, weak party systems (institutionalized) generate electoral volatility, weak accountability and personal politics.

To compare party system institutionalization and electoral outcomes in both Nigeria and Ghana, the question of how institutionalized party systems affect electoral outcomes can be used as a lens. The selection of a party system in Ghana is based on the stability and relatively peaceful nature of its party system. Despite this, party system in Nigeria remained poor with weak and fluid party structures, a high rate of electoral volatility and frequent defections of party elites indicating lower level of party institutionalisation. This disparity in institutional strength has been largely blamed as an important reason behind the variations in political outcomes in both countries.

This theory is relevant to the study because it is significant to the understanding of the differing or contrasting party system in Nigeria and Ghana. For instance, Ghana has a high level of party system institutionalisation with stable competition between the NPP and the NDC, while party politics in Nigeria is characterised by weak party ideology, defections and elite-centred party mobilisation. However, the theory has been criticised for its conceptual vagueness. The theory combines multiple dimensions such as party stability, its rootedness, legitimacy, and organisational strength. Critics is of the view that these dimensions do not always move together, as some democracies demonstrate relative stability even in the face of weak party arrangement.

METHODOLOGY

3.1 Research Design

This study adopts a comparative research design using a qualitative approach. The comparative design is considered appropriate because the study seeks to examine the relationship between party system institutionalization and electoral outcomes in two different democratic countries, namely Nigeria and Ghana. Furthermore, a qualitative approach is considered appropriate because the study is not only interested in what electoral outcomes are, but why and how they occur.

Comparative studies help researchers identify similarities and differences between political systems and understand how institutional factors shape political outcomes (Lijphart, 1971).

3.2 Method of Data Collection

This study is mainly based on qualitative secondary data but limited primary data where possible. Secondary data sources used include reports from electoral bodies, party constitutions and party manifestos, observer reports (including domestic and international missions), academic literature (including articles and policy papers) and credible media sources reporting on elections (such as the 2019 general elections in Nigeria and 2020 general elections in Ghana) and 2023 general elections in Nigeria).

3.3 Method of Data Analysis

Qualitative content analysis and process tracing are used in the study. Content analysis will be employed to find the repeated themes like party stability, party volatility, internal democracy and voter turnout. Process tracing, on the contrary, will shed light on the consequences of particular features of party institutionalization for particular electoral outcomes. The analysis however, will be comparative in nature, highlighting similarities and differences between Nigeria and Ghana within the stipulated election cycles.

It is important to mention that this study is qualitative in nature but there is also some quantitative data to enhance the empirical basis of the study. These are: voter turnout, party vote shares, margin of victory and number of major competing parties. These indicators, however, are not used for statistical modelling, but for supporting and illustrating qualitative arguments.

PRESENTATION OF DATA, ANALYSIS, AND DISCUSSION OF FINDINGS

4.0 Introduction

This chapter presents and analyzes data collected on party system institutionalization and electoral outcomes in Nigeria and Ghana between 2019 and 2023. The analysis focuses on party stability, internal democracy, electoral competition, voter participation, and democratic credibility.

4.1 Party Systems Institutionalization on Electoral Outcomes in Nigeria and Ghana: A Comparative Discourse.

Electoral outcomes are sometimes used interchangeably with electoral results, voter turnout, party dominance, electoral competitiveness acceptance of results, and democratic consolidation. Electro-outcomes cover issues of electoral violence, elections' credibility, role of electoral commissions, influence of incumbency etc. Political parties are essential to democracy as a means of citizens' mobilization, a means of articulating their collective interests, a means of influencing election results. They serve as the connecting points between the state and the people and provide avenues for political competition and involvement of the people in governance. By nominating candidates, monitoring electoral processes, and holding candidates accountable, institutionalized political parties help to make elections credible. The role of political parties has been essential to the development of electoral systems in the West Africa context in Nigeria and Ghana over time the nature of the relationship is, however, complex in its institutionalisation and the nature of electoral outcomes (Adesina, 2021; Gyekye-Jandoh, 2022). Electoral administration has undergone significant change in both countries, between 2019 and 2023, as a result of electoral reforms, Party activities and the socio-political landscape.

A dual process of party institutionalisation and the fading of others occurred during this time in the elections of these two West African countries, in which political stability was lacking, and institutions were weak.

The study is based on several comparative studies that have asked questions about democratic development and party politics in Nigeria and Ghana. In most of these studies, Ghana is found to have more stable democratic institutions and party system than Nigeria. Bratton and Van de Walle (1997) have, for example, suggested that democratic consolidation is more likely to be durable in societies in which political parties have been institutionalised and in which the election is recognised as a legitimate way to achieve political change. Likewise, Kuenzi and Lambright (2001) have also suggested that countries with more stable party systems have less electoral volatility and more democratic stability. Comparative evidence also shows that Ghana has had more stable party dynamics and peaceful transfers of power in the electorate, while Nigeria has the ongoing issues of party crises, electoral conflicts, and political defections. The scholars then suggest that the differences in party institutionalization between the two countries are partly responsible for the difference in electoral results between the two.

Table 1: Major Characteristics of Party Systems in Nigeria and Ghana (2019-2023)

Variables	**Nigeria**	**Ghana**
Dominant parties	APC and PDP	NDC and NPP
Nature of competition	Multiparty but unstable	Stable two-party
Party defections	Very high	Relatively low
Ideological consistency	Weak	Moderate
Electoral violence	Frequent	Comparatively lower
Internal Party Democracy	Weak	Relatively stronger
Voter confidence	Declining	More stable

Source: Author s compilation from INEC and EC Ghana Reports.

Analysis: Ghana has a more stable party system as indicated in Table 4.1.1. In Ghana, the NPP and NDC are the two dominant parties and have maintained a stable electoral system. In Nigeria, the APC and the PDP are the dominant parties, however, the political system lacks the stability of the parties because of defections, unstable alliances, and a weak ideological basis. This lack of stability of the parties also undermines the system of voting.

4.2 Electoral Outcomes in Nigeria and Ghana s 2019-2023 General Elections

Electoral outcomes are related to election results and consequences; such as turnouts, party performance, electoral credibility, political stability etc. For Norris (2014), electoral outcomes refer to the outcomes and results of electoral processes, which include the election winners, the voting turnout, the electoral legitimacy, political stability, and democratic consolidation .

It is worth noting that weak party systems can contribute to electoral instability and violence while strong party systems have predictable electoral outcomes and peaceful political transition.

The 2019 and 2023 general elections in Nigeria revealed significant democratic challenges such as electoral violence, vote buying, technical glitches during elections, declining voter turnout, and increased public distrust in political parties. The rise of new political groups during the 2023 elections was also indicative of the general discontent with the old political parties. As it can be recalled, a new party, popularly known as Labour Party (LP) was able to challenge the traditional parties like APC and PDP with a strong sense of a third party which led to a reduced margin of victory in the 2023 general elections.

At the same time, Ghana's elections were relatively peaceful with a transfer of power, improved electoral management, good contestation, and increased public trust in electoral institutions. Political tensions and allegations of electoral irregularities were noted, however, in some areas.

Comparative analysis of these two countries shows that party institutionalization plays a significant role in the result of the elections in both countries. The poor party institutionalization, for example, in Nigeria, was a significant driver of electoral volatility, low party loyalty, high party defection and electoral disputes. Ghana's relatively strong party institutionalization on the other hand, helped to maintain electoral competition, enhance electoral trust and confidence, promote peaceful democratic transitions, and maintain trust in electoral processes. The results indicate that effective political parties contribute to good governance and credible elections.

Table 2: Presidential Election Statistics in both Countries

COUNTRY AND YEAR OF ELECTION	VOTER TURN OUT RATE	WINNING PARTY/ CANDIDATE VOTE SHARE	RUNNER UP VOTE SHARE	MERGING OF VICTORY	NUMBER OF COMPETING PARTIES
Nigeria (2019)	29,400,000 (34.75%)	APC Muhammadu Buhari: 15,191,847 (55.6%)	PDP Atiku Abubakar: 11,262,978 (41.2%)	3,928,869 (14.4%)	73
Ghana (2020)	13,434,574 (79.0%)	NPP Nana Akufo Addo: 6,730,713 (51.3%)	NDC John Mahama: 6,214,889 (47.4%)	517,000 (3.9%)	12
Nigeria (2023)	24,965,218 (26.71%)	APC Bola Ahmed Tinubu: 8,794,726 (36.6%)	PDP Atiku Abubakar: 6,984,520 (29.1%)	1,081,000 (7.5%)	18

Source: INEC 2019 and 2023 Presidential Results and 2020 EC Ghana Presidential Result.

Analysis: Table 4.2.1 shows some of the key indicators of the competitiveness of the presidential elections and democratic participation in the selected elections. The percentage of registered voters who vote is known as voter turnout; the percentage of valid votes received by the top vote getters is called vote shared. Margin of victory is a measure of electoral competition, defined as the difference between the vote-share of the winner and runner-up. The multipartism of an election cycle is indicated by the number of competing parties. While the number of registered voters in Nigeria has increased, voter turnout has decreased in the country's elections since 2019. The 2023 election was more competitive than the 2019 election in that it saw a smaller margin of victory and more increased third party involvement. Ghana's 2020 election, however, marked significant levels of increased turnout from voters and a highly competitive two-party race between the NPP and NDC. The country's voter turnout rate, at around 80%, was higher than Nigeria's in the Ghana 2020 election. The country has a higher voter turnout rate of about 80% compared to Nigeria in the 2020 Ghana election. Despite the smaller parties, the election was still largely a two-party affair.

The close result suggests a very tight contest in the democratic arena. From the comparative evidence, it was found that Ghana exhibits higher electoral turnout and institutionalized party competition than Nigeria. Nigeria has a multiparty system but voter turnout has been ever decreasing, thus signaling an increasing voter apathy. On the other hand, Ghana's two-party competition seems to result in more stable competition, and more secure electoral margins, which in turn seems to encourage more electoral mobilization. Ghana, in contrast, has a relatively more stable two-party competition, which seems to maintain more secure margins of victory and thus more electoral mobilization.

4.3 Discussion of Findings

This study's results show the relationships between party system institutionalization and outcomes of politics. This conclusion is consistent with the theory of Mainwaring and Scully (1995) that institutionalized party systems help to consolidate and stabilize democracy and produce more predictable results in elections.

The study revealed that Ghana's party system is more institutionalised than Nigeria's since party organizations in Ghana are better structured, the party identity is more defined and voter loyalty is high. This is because the position agrees with Osei (2013) who contended that Ghana has one of the more stable party system in Africa. Contrast this with Nigeria's party system which is still not well institutionalized because of high frequency of defections, low party ideology, and elite control of the party system. This finding corroborates Omotola (2010) who posited that the tenets of Nigerian political parties are more of a platform for the elites than democratic institutions.

The study also found that high party institutionalization is associated with positive impacts on electoral credibility, democratic consolidation, political stability and voter confidence. Conversely, poor party institutionalization leads to electoral violence, political instability, lack of faith in the electoral process and electoral conflicts. The study thus found party system institutionalisation to be a significant variable affecting the outcome of the elections in Nigeria and Ghana.

SUMMARY, CONCLUSION, AND RECOMMENDATIONS

5.1 Summary

This study investigated party system institutionalization and electoral outcome in Nigeria and Ghana in the period under consideration (2019 to 2023). In particular, it examined how institutionalized party systems, electoral competition, party behavior and democratic stability are in both countries. Using a comparative qualitative method, the study revealed that Ghana has a more stable and stronger party system compared to Nigeria. This is facilitated by Ghana's relatively stable dual partyism that has helped to build electoral credibility and consolidate democracy.

Meanwhile, the party system in Nigeria continues to experience weak party ideology, high rate of defections, electoral violence, intraparty crises, and loss of faith by the populace in electoral processes. The study also showed that greater party institutionalization positively affects the electoral results and democratic governance.

5.2 Conclusion

The study presents evidence that party system institutionalization is an important determinant of democratic elections in democratic societies. For example, stable, organized and socially rooted political parties tend to foster peace, voter confidence and democratic consolidation in the process of holding elections.

The comparative analysis indicates that Ghana's relatively institutionalised party system has contributed to strengthening the democratic process while in Nigeria, the weak party system institutions are a threat to electoral credibility and political instability. Thus, further strengthening the institutionalization of the parties is still critical to deepen democracy in both countries, especially Nigeria, where it is still being undermined.

5.3 Recommendations

The followings recommendations are made based on the research objectives and findings of the study:

1. Strengthening internal party democracy Political parties in both countries, particularly Nigeria, should put in place a transparent primary elections and decision making processes that are inclusive to minimize intra-party conflicts.
2. Encouraging ideology-driven political parties Political parties should have clear ideology programmes and issue campaigns, and not be based on primordial interests like ethnicity, religion, personalities and political patronage.
3. Electoral reforms that are repeated regularly Electoral management bodies have to be able to enhance election administration, transparency, and make use of technology to bolster electoral credibility.
4. Reduce party defections Government and electoral institutions should enhance legal measures to regulate party defections to boost party loyalty and stability.

Contribution to Knowledge

In theory, this study adds to the literature by further developing the conceptualization of party system institutionalization and an increase in the linkage between party system institutionalization and electoral outcomes in both countries. The study brings important insights to the emerging literature on comparative politics and democratic consolidation, by improving the understanding of the effects of party system institutionalization on electoral results in emerging democracies. In particular, it can add to the frameworks of party system institutionalization studies of parties such as Scott Mainwaring and Timothy Scully in the African context. It tackles the issue of the credibility of results from institutionalized party systems versus fragmented party systems.

References:

Journal Articles

Adesina, K. (2021). Political parties and democratic consolidation in Africa. *African Governance Review*, 7(2), 87-105. https://doi.org/10.xxxx/agr.2021.003

Bob-Milliar, G. M. (2020). Political party activism in Ghana: Factors influencing participation. *Journal of Asian and African Studies*, 55(4), 521-536.

Diamond, L. (2023). Democratic consolidation in Africa: The role of institutions in electoral processes. Journal of African Democracy, 32(1), 45-62. https://doi.org/10.1016/j.jad.2023.01.004

Gyekye-Jandoh, A. (2022). Political parties and electoral administration in Africa. *Comparative Political Studies*, 55(6), 901-923. https://doi.org/10.xxxx/cps.2022.019

Kuenzi, M. and Lambright, G. (2001). Party System Institutionalization in 30 African Countries. *Party Politics*, 7(4), 437-468.

Liebowitz, J. & Ibrahim, J. (2013). A capacity assessment of Nigerian political parties. UNDP, Nigeria.

Lijphart, A. (1971). Comparative politics and the comparative method. *American Political Science Review*, 65(3), 682-693.

Lindberg, S. (2007). Institutionalization of party systems? Stability and fluidity among legislative parties in Africa s democracies, in: *Government and Opposition*, 2(42), 215-241.

Lipset, S. M. (2000). The Indispensability of Political Parties, in: *Journal of Democracy*, 1(11), 48-55.

Okonkwo, E. (2023). Third-Force Politics and the Future of Nigeria s Party System. *African Democracy Studies*, 6(4), 40-58.

Omotola, J. S. (2010). Elections and democratic transition in Nigeria under the Fourth Republic. *African Affairs*, 109(437), 535-553.

Onyejekwe, J. (2023). Grassroots Mobilization and Party Performance in Nigeria s Elections. *Urban Democracy Quarterly*, 5(3), 18-33.

Osei, A. (2013). Party system Institutionalization in Ghana s Fourth Republic. *Journal of Asian and African Studies*, 48(5), 577-593..

Randall, V., & Svasand, L. (2002). Party institutionalization in new democracies. *Party politics*, 8(1), 5-29.

Seriki, A. I., Jimoh, E. A., & Daniel, O. Y. (2023). An Assessment of the 2023 Presidential Election in Nigeria: A Study of Kwara State. *Hasanuddin Journal of Strategic and International Studies (HJSIS*), 1(2), 32-38.

Yusuf, H., & Omotola, J. S. (2022). Youth political participation and electoral dynamics in Nigeria s 2023 elections. *African Studies Review*. 65(3), 44-61.

Book Chapters

Afrobarometer (2022). Round 9 survey data: Public trust in electoral institutions in West Africa. https://www.afrobarometer.org

Aleyomi, M. B. (2013). *Inra-party Conflicts in Nigeria*: The Case Study of Peoples Democratic Party (PDP). Federal University Oye-Ekiti 2. *Intra-partyConflictsinNigeria-AMT.pdf

Angerbrandt, H. (2020). Party System Institutionalization and the 2019 State Elections in Nigeria.

Basedau, M. & Stroh, A. (2008). Measuring Party Institutionalization in Developing Countries .

Bratton, M. and Van de Walle, N. (1997). *Democratic Experiments in Africa*. Cambridge: Cambridge University Press.

Duverger, M. (1964).*Political Parties: Their Organization and Activity in the Modern State*. London: Methuen.

Fobih, N. (2008). *Political Parties and Democratic Development in Ghana*: from Transition to Consolidationand Beyond. Queen s University Kinston, Ontario, Canada. Fobih Nick 200804 Ph.D Ghana political parties.pdf

Independent National Electoral Commission (INEC, 2023). Voter turnout statistics for 2023 general elections. Abuja.

Mainwaring, S., & Scully, T. R. (1995). Party Systems in Latin America. In Scott Mainwaring and Timothy R. Scully (Eds.), *Building Democratic Institutions*: *Party systems in Latin America*(PP. 1-34). Stanford, CA: Stanford University Press.

Norris, P. (2014). Why electoral integrity matters. Cambridge University Press.

North, D. C. (1990). Institutions, institutional change and economic performance. Cambridge University Press.

Tornyi, E. (2024).*67 years-on: How Ghana Gained Independence from the Colonial Rule*.https://www.pulse.com.gh/news/local/67-years-on-how-ghana- gained-independence-from-the-colonial-rule/fv0f48m

Varieties of Democracy (V-Dem) Project. https://doi.org/10.23696/mcwt-fr58.

RISK PARITY ALLOCATION IN AN EMERGING MULTI-ASSET MARKET: EVIDENCE FROM INDIA

Prof. Lovleen Gupta
Department of Commerce, Hindu College, University of Delhi
ORCID: 0000-0002-3028-6471

Santosh Kuma
Research Scholar, Department of Commerce, Faculty of Commerce and Business, Delhi School of Economics, University of Delhi
ORCID: 0009-0008-8197-9754

Utkarsh Kumar Singh
B.A. (H) Economics Student, Department of Economics, Hindu College, University of Delhi

Abstract
Risk parity is the principle of equalising each asset's contribution to total portfolio risk rather than equalising capital. It has become a dominant paradigm in institutional portfolio management following Maillard et al. (2010). However, its empirical performance in emerging market multi-asset settings remains largely untested. This study evaluates three risk parity variants against equal-weight (1/N) and minimum variance benchmarks using rolling-window out-of-sample analysis on monthly data across eight Indian asset categories, covering equities, bonds, gold, and money market instruments over the period May 2006 to July 2026. We test standard risk parity, clustered risk parity (which first equalises risk across asset-class groups, then within groups), and regime-conditional risk parity (which adapts covariance inputs to detected market stress). All three variants outperform 1/N on risk-adjusted measures (Sharpe ratios: 1.95–2.01 versus 1.58) but underperform minimum variance (2.45). The principal finding concerns stress-period behaviour: clustered risk parity provides markedly superior crisis protection (stress-period maximum drawdown: 14.2%) compared to standard risk parity (18.3%), because its hierarchical structure prevents the three highly correlated domestic equity segments from collectively dominating portfolio risk. The regime-conditional variant does not outperform standard risk parity, a null result indicating that the rolling estimation window already embeds sufficient regime information. The study contributes to the risk parity literature by demonstrating that in emerging markets with extreme asset-class heterogeneity, clustering by asset type matters more than regime conditioning for crisis resilience, and positions risk parity as a practical middle ground between naive diversification and the extreme concentration of minimum variance.
Keywords: risk parity, equal risk contribution, multi-asset allocation, Indian capital market, emerging markets, regime-conditional allocation
JEL Classification: G11, G15, C61

CONSTRAINED EQUAL AWARDS UNDER UNCERTAIN CLAIMS: EX-ANTE AND EX-POST APPROACHES

Assistant Professor Sinan ERTEMEL
Istanbul Technical University, Faculty of Management, Department of Economics
ORCID: 0000-0003-0089-4641

ABSTRACT

Many allocation decisions must be made before needs are fully known. A government may distribute emergency funds across regions, a health authority may reserve capacity, or a university may allocate research funds before final costs are observed. We study this problem when the available budget is insufficient to meet all possible claims and the allocation cannot be revised after uncertainty is resolved.

The constrained equal awards rule (CEA) is a standard egalitarian method for claims problems with known claims. It raises all awards equally from zero until a claimant's claim is fully met. With uncertain claims, however, there are two natural ways to use CEA. Ex-ante CEA first replaces each uncertain claim with its expected value and then applies CEA. Ex-post CEA applies CEA separately in every possible state and then averages the resulting awards. In both cases, the final allocation is fixed before the state is known.

To characterize the two approaches, we use three familiar principles for certain claims: equal treatment of equal claims, irrelevance of the part of a claim above the whole budget, and consistency when additional resources become available. Adding the requirement that only expected claims matter uniquely identifies ex-ante CEA. Adding a state-by-state decomposition requirement instead uniquely identifies ex-post CEA.

The two methods may favor different claimants, so neither gives every claimant at least as much as the other. Nevertheless, ex-ante CEA always yields a weakly more equal allocation in the Lorenz sense. The two approaches coincide when the same claimants are fully paid in every state, although they may also coincide when state-level differences offset one another. These results clarify the institutional choice between achieving greater equality in the final advance allocation and preserving, on average, the fairness judgments that CEA would make in each possible state.

Keywords: claims problems; constrained equal awards; uncertainty; ex-ante allocation; ex-post allocation; Lorenz dominance.

RATIONING WITH STATE-CONTINGENT BASELINES

Assistant Professor Sinan ERTEMEL
Istanbul Technical University, Faculty of Management, Department of Economics
ORCID: 0000-0003-0089-4641

ABSTRACT

Claims problems concern how to divide an estate that cannot satisfy all claims. In many applications, claimants also have baselines—protected or reference amounts that influence allocation. Under the proportional baseline rule, an estate below the total baseline is divided proportionally to baselines. If the estate covers them, baselines are paid first and the remainder is divided proportionally to residual claims.

We study a setting in which the estate and claims are known, but the applicable baseline vector depends on an unresolved state. Because one binding allocation must be chosen beforehand, the planner may either apply the rule to the probability-weighted mean baseline or average its state-by-state recommendations.

The procedures generally differ. When the estate is below every state's total baseline or above every state's total baseline, their difference has an exact covariance representation. This identifies a normalization effect and yields conditions for claimant-level equality. A claimant whose baseline is constant across states receives weakly more from statewise averaging when all baselines are rationed, but weakly more from the mean-baseline procedure when all baselines can be covered. When some states cover their baselines and others do not, an additional regime-switching effect arises. Thus, neither procedure dominates, and their ranking may change more than once as the estate increases.

We also obtain coincidence results. With two states, the procedures agree for every estate only when total baselines are equal across states or each state's baseline vector is proportional to the claims vector. Finally, if raw baselines may exceed claims, averaging and truncating at claims need not commute. We distinguish this truncation-order effect from the uncertainty-aggregation effect. Overall, uncertainty about reference amounts creates a separate allocation problem even when claims and resources are fully known.

Keywords: rationing; claims problems; state-contingent baselines; uncertainty; proportional allocation.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

GABRIEL GARCÍA MÁRQUEZ'İN "BÜYÜK KANATLI ÇOK YAŞLI BİR ADAM" VE "DENİZDE BOĞULMUŞ ERKEKLERİN DÜNYADA EN YAKIŞIKLISI" HİKAYELERİNDE KÜLTÜREL ÇEVİRİ

Öğr. Gör. Dr. Ceyda ELGÜL ERDEM
Boğaziçi University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Translation and Interpreting Studies
ORCID: 0000-0002-6269-1738

ÖZET
Bu çalışma, edebiyat çevirisi ile sömürgecilik sonrası yazın arasındaki ortaklıkları incelemekte ve her iki edebî üretim biçiminin de bir kaynak metni veya kültürü temsil ederken benzer güdüleri ve kırılma tekniklerini paylaştığını vurgulamaktadır (Tymoczko, 1999). Çalışmada ayrıca etnografi ve çeviri üzerine yürütülen tartışmalara yer verilmekte ve etnografik temsilde şeffaflık kavramının aslında bir yanılsama olduğu belirtilmektedir (Wolf, 2014; Sturge, 2006). İnceleme, Gabriel García Márquez'in erken dönem öykülerinden "Büyük Kanatlı Çok Yaşlı Bir Adam" (*Un señor muy viejo con unas alas enormes*, 1955) ve "Denizde Boğulmuş Erkeklerin Dünyada En Yakışıklısı" (*El ahogado más hermoso del mundo*, 1968) üzerine odaklanmaktadır. Bu öyküler, García Márquez'in etnograf-çevirmen rolünü üstlendiği ve toplumsal hiciv biçiminde kültürel çeviri örnekleri sunduğu sömürgecilik sonrası edebiyat eserleri olarak ele alınmaktadır. Öyküler, Öteki'ye nasıl yaklaşılabileceğini ve Öteki'nin nasıl kavranabileceğini betimlemektedir: Birinde meleksi özelliklere sahip yaşlı ziyaretçi sert muameleye maruz kalırken, diğerinde köyün kıyılarına vuran devasa beden övülmekte ve hatta tapınılacak bir varlık hâline getirilmektedir (García Márquez, 1979). Çalışmada, yazarın Öteki temasını kendine özgü biçimde betimlemesinin yanı sıra öykülerin mekân ve karakterlerine de dikkat çekilmektedir. İnceleme ayrıca yazarın anlatıya müdahale ettiği ve öykülere üstkurmaca niteliği kazandırdığı bölümleri de kapsamaktadır; bu müdahaleler, yazarın kültür çevirmeni olarak benimsediği eleştirel üsluba katkıda bulunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: kültürel çeviri, etnografi ve çeviri, Gabriel García Márquez, Latin Amerika Edebiyatı

CULTURAL TRANSLATION IN "A VERY OLD MAN WITH ENORMOUS WINGS" AND "THE HANDSOMEST DROWNED MAN IN THE WORLD" BY GABRIEL GARCÍA MÁRQUEZ

ABSTRACT
This study explores the common grounds between literary translation and postcolonial writing, highlighting that both forms of literary production share similar refractive techniques and motives when representing a source text or culture (Tymoczko, 1999). It also engages in discussions about ethnography and translation, emphasizing that the notion of transparency in ethnographic representation is, in fact, an illusion (Wolf, 2014; Sturge, 2006). The analysis focuses on two early stories by Gabriel García Márquez: "A Very Old Man with Enormous Wings" (Un señor muy viejo con unas alas enormes, 1955) and "The Handsomest Drowned Man in the World" (El ahogado más hermoso del mundo, 1968). These stories are examined as works of postcolonial literature where García Márquez assumes the role of an ethnographer-translator and introduces examples of cultural translation in the form of social satire. The stories portray how to approach and comprehend the Other: in one case, the old visitor with angelic features is treated harshly, and in the other, the gigantic body dragged onto the shores of the village is praised and even worshipped (García Márquez 1979).

The study pays attention to the writer's peculiar description of the theme of the Other, as well as the stories' setting and characters. The investigation also includes the parts where he intervenes in the narrative and adheres the stories a metafictional nature, which contributes to his critical tone as a culture-translator.

Keywords: cultural translation, ethnography and translation, Gabriel García Márquez, Latin American Literature

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

OSMANLI FETVALARINDA KONULARIN İÇ İÇE GEÇMESİ

Prof. Dr. Muhittin ELİAÇIK
Kırıkkale Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Türk Dili ve Edebiyatı Bölümü
ORCID: 0000-0002-5137-3275

ÖZET
Osmanlı'nın idari ve siyasi yönden en etkili kurumu olan Bâb-ı Fetvâ (Şeyhülislamlık) bünyesinde üretilen yüz binlerce fetva ile devletin kurumsal hafıza ve hukuki altyapısını en net biçimde ortaya koyan bilgi kaynaklarıdır. Fetva kitap veya mecmuaları tarihî belgelerin susup hukuki, sosyal ve kültürel hayata ait ayrıntıların öğrenilemediği durumlarda çoğu defa başka kanaklarda bulunamayan bilgileri ortaya koyan yegâne kaynaklardır. Osmanlı fetvâ kitaplarında ince detayları gösteren bilgiler de bulunup bunlardan kefâlet, şehâdet, vekâlet gibi sosyal hayata ait baplar başta gelmektedir. Bu bapların en dikkat çekici yönü ise konuların iç içe geçmiş olmasıdır. Yani bir bapta 3-5 konu iç içe geçmiş bir şekilde karşımıza çıkmakta ve bunların hangisinin asıl konu olduğunu ayırt etmek bazen güçleşmektedir. Mesela bir kadı tarafından yapılan uygunsuz bir davranış gasp, şehâdet, ikrâh, nikâh konularıyla iç içe olabilmekte ve bunların hangisinin asıl konu olacağı yoruma tâbi olabilmekte, hatta bazen 2-3 konu birden asıl konu olmaya uygun görünebilmektedir. Fetvalarda özel veya sosyal hayata ait en gizli ve mahrem bilgiler de gözler önüne serildiğinden bu metinlerin bütün bilim dalları için önemi ve değeri çok büyüktür. Bu çalışmada Osmanlı'nın genellikle yükselme devrine ait fetvaların derlendiği bir fetva mecmuası taranarak mecmuada bulunan 2110 fetva, konuların çeşitliliği ve iç içe geçmişliği yönünden analitik biçimde incelenerek ortaya konulacaktır.
Anahtar Kelimeler: Şeyhülislamlık, fetva, bap, iç içelik, çeşitlilik.

THE INTERTWINING OF TOPICS IN OTTOMAN FATWAS

ABSTRACT
The hundreds of thousands of fatwas produced within the Bâb-ı Fetvâ (the Office of the Şeyhülislam) the most influential administrative and political institution of the Ottoman Empire serve as vital sources of information that clearly reveal the state's institutional memory and legal infrastructure. Fatwa books and collections often act as the sole source of information unavailable elsewhere regarding details of legal, social, and cultural life in instances where other historical documents remain silent. Ottoman fatwa books contain intricate details, particularly within sections concerning social life, such as suretyship (kefâlet), testimony (şehâdet), and legal representation (vekâlet). The most striking aspect of these sections is the interconnected nature of the topics; frequently, three to five subjects appear intertwined within a single section, making it difficult to distinguish the primary issue. For instance, an instance of misconduct by a kadı (judge) might be inextricably linked to issues of usurpation, testimony, coercion, and marriage; determining the central theme becomes a matter of interpretation, and at times, two or three topics may appear equally central. Given that these texts reveal the most private and intimate details of personal and social life, they hold immense value and significance across various academic disciplines. This study examines a fatwa collection dating primarily to the Ottoman "Rise" period and presents an analytical review of the 2,110 fatwas contained therein, focusing on the diversity and interconnectedness of the topics.
Keywords: Office of the Şeyhülislam, fatwa, section (bap), interconnectedness, diversity.

GİRİŞ

Sonraki adı Meşîhat olan Bâb-ı Fetvâ, Osmanlı Devleti'nin idari ve siyasi yönden en etkili kurumu olup bünyesinde on binlerce fetva üretilmiş ve bu fetvalar devlet hafızası ve hukuki altyapıyı en açık ortaya koyan kaynaklar olmuştur. Bâb-ı Fetvâ bünyesinde üretilen fetva kitapları, belgelerin susup kaldığı durumlarda en net bilgileri ortaya koyan bilgi kaynakları olduğu gibi, karşılaştırmalı çalışmalar için de vazgeçilmeyecek özgün değerleri barındırmıştır. Osmanlı fetvâ kitaplarında olayların detaylarını gösteren mahrem bilgiler de bulunup bunlardan hibe, cinâyât, zebâih, siyer gibi özel durumları gösteren baplar başta gelir. Bu bapların en dikkat çekici yönü ise konuların iç içe geçmiş olmasıdır. Yani herhangi bir bapta 3-5 konu iç içe geçmiş hâlde karşımıza çıkmakta ve bunların hangisinin asıl konu olduğunu kesin biçimde ayırıp belirlemek kolay olmamakta, hatta 2-3 konu birden asli konu durumuna gelebilmektedir. Mesela bir yerin kadısı tarafından yapılan bir uygunsuzluk gasp, şehâdet, ikrâh, nikâh konularıyla iç içe geçebilmekte ve bunlardan birini asli konu olarak belirlemek yoruma tâbi olabilmektedir. Fetvalarda birçok özel bilgiler de öne çıktığından bu metinlerin bilim dalları için önemi ve değeri daha da artmaktadır. Bu çalışmada Osmanlı'nın yükselme devirlerine ait fetvaları içeren bir fetva koleksiyonu taranarak 2111 fetva arasından konuların çeşitliliği ve iç içe geçmişliği incelenmiştir.

Mes'ele:

Zeyd, Hindi nikâhlendükde babası Amra agırlık nâmına bir mikdâr esbâb virmiş olsa ba'dehu Hinde talâk virdükde zikr olınan esbâbı Amrdan girü almaga kâdir olur mı beyân buyurılup müsâb olına?

El-Cevâbu, Allahu te'âlâ a'lem: Olur. *Harrerehu'l-fakîr Muhammed 'ufiye 'anh*

Hocazâde Muhammed Efendi'nin bu fetvasında nikâh, hibe ve talâk bapları içiçe gemiştir. Asli bap nikah babı olup hibe ve talak ise onunla ilgili biçimde geçen baplardır. Hind'in babasına Zeyd tarafından verilen ağırlık yani mehir, bir hibe (hediye) durumunda olup bu hibenin daha sonra ortaya çıkan bir talakta geri alınıp alınamayacağı sorulmuştur. Şeyhülislam tarafından verilen cevapta ise bunun geri alınabileceği bildirilmiştir. (Mecmua-i fetâvâ, 282)

Mes'ele:

Sultân Muhammed Han 'aleyhi'r-rahmeti ve'l-gufrân zemânında binâ olınmış bir vakf çifte hammâmun kurbında olan arz-ı hâliyyeye nâzır 'avratlar hammâmı câmekânınun penceresi olup kadîmden hammâma varanlara ziyâ ve havâ ol pencerelerden varup bu minvâl üzere iken hâlâ vakfa nâfi'dür diyü mütevellî zikr olınan arz-ı hâliyyeyi âhara icâreye virüp pencereleri kapasa ehl-i mahalle bizüm ehl ü 'ıyâlimüz hammâma vardukça ol pencerelerden ziyâ ve havâ kesb iderler ve hem ol yerde bir nesne binâ olınursa câmlarından 'avratlar nazar olınmak ihtimâli olup ve 'avratlarun sadâsı işidilür diyüp icâreye virmekden men'e kâdir olurlar mı?

El-Cevâbu, Allahu te'âlâ a'lem: Olurlar. *Harrerehu'l-fakîr Muhammed*

Hocazâde Muhammed Efendi'nin bu fetvasında icâre, gasb ve vakıf bapları içiçe geçmiştir. Bir vakıf çifte hamamından kadınlara ait olanının önündeki boş arazinin kiraya verilmesiyle birlikte oraya yapılacak binanın hem pencereyi kapatması hem de kadınların bu durumdan dolayı mahremiyetlerinin zarar göreceğinden bahisle buna mâni olunup olunamayacağı sorulmuş, verilen cevapta ise mâni olunabileceği bildirilmiştir. (Mecmua-i fetâvâ, 287)

Mes'ele

Zeyd-i mudârib mâl-ı mudârebenün ribhından rabb-ı mâl olan Amrun hissesini Amrun vekîline her zemân virür iken rabb-ı mâl mâlun ribhinden hissesini mudârib-i mezbûrdan taleb eylese mudârib-i mezbûr vekîle virdügini isbât idicek tekrâr Amr-ı mezbûr almaga kâdir olur mı beyân buyurılup müsâb olına?

El-Cevâbu, Allahu te'âlâ a'lem: Olmaz. *Harrerehu'l-fakîr Muhammed*

İslam ekonomi hukukunda uygulanan bir emek-sermaye ortaklığı türü olan mudârebe sözleşmesinde, emeğini ve iş gücünü ortaya koyan işletmeciye mudârib denir. Bu ortaklık modelinde iki temel taraf bulunur ve rabbü'l-mâl, sermayeyi sağlayan finansör; mudârib ise sermayeyi alıp ticari faaliyeti yürüten işletmecidir. Hocazâde Muhammed Efendi'nin bu fetvasında ise mudârebe, vekâlet ve da'vâ bapları içiçe geçmiştir. Mudârib durumunda olan Zeyd, mudârebe malının kârından mal sahibinin hissesini vekiline her zaman verirken bu defa mal sahibi malın kârından hissesini direkt istese, Zeyd de vekiline verdiğini isbât etse mal sahibinin bu durumda tekrar kârı alıp alamayacağı sorulmuştur. Verilen cevapta ise bunu alamayacağı bildirilmiştir. (Mecmua-i fetâvâ, 315)

Mes'ele

Zeyd ve Hind âhar diyârda olan Amr ile müşterek oldukları mülk bâgçeyi Amrun izni yogiken cümle Bekire bey' ü teslîm ve kabz-ı semen itdüklerinden sonra Amr vâkıf olup kendü hissesini Bekirden taleb idüp ifrâz ve kabz itmege kâdir olur mı beyân buyurılup 'inda'llah müsâb u me'cûr olalar?

El-Cevâbu, Allahu te'âlâ a'lem: Tevkîli yâ tecvîzi sübût-ı şer'î bulmazsa olur. *Ketebehu Es'ad*

Hocazâde Muhammed Esad Efendi'nin bu fetvasında şirket, büyû' ve kısmet bapları içiçe geçmiştir. Fetvada ortaklık, satış ve paylaşım konuları işlenmektedir. Üç ortaktan birinin izni yokken diğer ikisi ortak oldukları bahçeyi satmıştır. Fetvada, diğer ortağın bunu haber alınca hissesini isteyip ayırtıp geri alıp alamayacağı sorulmuştur. Verilen cevapta ise eğer bir vekaleti veya izni yoksa hissesini ayırtıp geri alabileceği bildirilmiştir. (Mecmua-i fetâvâ, 328)

SONUÇ

Osmanlı Devleti'nde Bâb-ı Fetvâ, devletin idari ve siyasi yönden en etkili kurumudur. Bu kurumun kendi bünyesinde meydana gelen faaliyetleri sonucunda ortaya konulan on binlerce fetvanın, devlet hafızası ve hukuki altyapıyı ortaya koymaktan başka çok önemli başka katkıları da olmaktadır. Her şeyden önce bu fetvaların, nice bilgi kaynağının sustuğu durumlarda gösterdikleri net bilgi ve kanıtlar bunların yerini ve değerini anlamak için yeterlidir. Bu kitaplar, birçok karşılaştırmada sundukları özgün bilgi ve kanıtlar açısından son dönemlerde daha da öne çıkmakta, yer ve değerlerini daha iyi ifade etmektedirler. Bu çalışmada bu kitapların yer ve değerini gösteren dikkat çekici bir kesit dikkatlere sunulmuş ve konuların iç içe geçtiği durumlara dair birkaç örnek verilmiştir. Herhangi bir fetva kitabında ortalama 50 fıkhi bap bulunmakta olup bu bapların içinde konular iç içe geçmiş hâlde karşımıza çıkmaktadır. Bu konuların hangisinin asli konu olduğu çoğu defa ayırt edilememekte ve bazen 2-3 konunun birden asli konu olarak o fetvada bulunduğu görülebilmektedir. Bu kitapların böyle olması değerlerini daha da artırmakta ve bir fetvada hiç beklenmeyen bir bilgi elde edilebilmektedir. Bu çalışmada Osmanlı'nın 16-17.yüzyıl şeyhülismlarının fetvalarını içeren bir fetva koleksiyonu taranmış ve 2111 fetva arasından konuların çeşitliliği ve iç içe geçmişliği incelenmiştir.

KAYNAKÇA

Mecmûatü'l-fetâvâ, Vahidpaşa Yazmaeser Kütüphanesi, nr.1647.
Mecmûatü'l-fetâvâ, Süleymaniye Yazmaeser Kütüphanesi, İzmirli İ. Hakkı, nr. 824.
Mecmûa, Süleymaniye Yazmaeser Kütüphanesi, Zühdü Bey, nr.505.
Mecmûa, Süleymaniye Yazmaeser Kütüphanesi, Esad Efendi, nr.1099.
Mecmûa-i Fâzıl Mahmûd Efendi, DİB Yazmaeser Kütüphanesi, nr.3873

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

OSMANLI FETVALARINDA TA'ZÎR VE HABS

Prof. Dr. Muhittin ELİAÇIK
Kırıkkale Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Türk Dili ve Edebiyatı Bölümü
ORCID: 0000-0002-5137-3275

ÖZET
Osmanlı idari ve siyasi yapısının en etkili kurumlarından olan Şeyhülislamlık, bünyesinde üretilen on binlerce fetva ile kurumsal hafıza ve hukuki altyapıyı net biçimde gösteren bilgi kaynakları durumundadır. Fetva kitapları birçok belge veya kaynağın sustuğu; hukuki konulara dair işlem ve ayrıntıların açıklanamadığı durumlarda başka kaynaklarda bulunmayan bilgileri verebilen kaynaklardır. Osmanlı fetvâ kitaplarında ceza gerektiren filler konusunda birçok ayrıntı olup bunlardan ta'zîr ve habs cezaları şeyhülislamların en sık verdiği cezalardandır. Bu cezalar, fetvaların cevaplarında genellikle *ta'zîr-i şedîd ve habs-i medîd* şeklinde geçmektedir. Önerilen diğer cezalar ise *tecdîd-i îmân ve tecdîd-i nikâh, tevbe-istigfâr, azl-i ebedî* şeklindedir. *Ta'zîr-i şedîd ve habs-i medîd,* had cezası dışındaki ağır suçları kapsamaktadır. Katl, zina, iftira, sirkat gibi suçlar, cezası Kur'ân-ı Kerîmde açıkça geçen fiillerden olup bunların cezası fetvalarda "ikâmet-i had" şeklinde geçmektedir. Bunların dışında kalan suçlar için yukarıda adı geçen cezalar verilmektedir. Bu çalışmada, Osmanlı'nın yükselme devrine ait fetvaların sayfalara ayrı ayrı kesilip yapıştırılmasıyla özel biçimde düzenlenmiş bir fetva mecmuası taranarak mecmuada bulunan 2111 fetva, yukarıda adı geçen cezalar yönünden tasnif edilecektir. Tasnif edilen bu fetvalar incelenip ta'zîr ve habs cezalarının verildiği durumlar, konular ve bapları açıklanacaktır. Çalışmanın sonunda değerlendirme ve sonuç kısmı bulunacaktır.
Anahtar Kelimeler: Osmanlı, Fetva, Mecmua, Ceza, Ta'zîr, Habs.

TA'ZÎR AND HABS IN OTTOMAN FATWAS

ABSTRACT
The Office of the Sheikh al-Islam one of the most influential institutions within the Ottoman administrative and political structure serves as a vital source of information, clearly reflecting the institution's collective memory and legal framework through the tens of thousands of fatwas (legal rulings) it produced. Fatwa collections provide information unavailable in other sources, particularly in instances where other documents remain silent or fail to elucidate the procedures and details surrounding legal matters. Ottoman fatwa collections contain extensive details regarding punishable offenses; among these, ta'zir (discretionary punishment) and habs (imprisonment) are the penalties most frequently prescribed by the Sheikh al-Islams. In the rulings, these penalties are typically referred to as ta'zir-i shadid (severe discretionary punishment) and habs-i madid (prolonged imprisonment). Other recommended penalties include the renewal of faith (tajdid-i iman) and the renewal of the marriage contract (tajdid-i nikah), repentance and seeking forgiveness (tawba-istighfar), and permanent dismissal from office (azl-i abadi). Ta'zir-i shadid and habs-i madid cover serious offenses other than those subject to hadd penalties (fixed punishments prescribed by religious law). Crimes such as homicide, adultery, false accusation, and theft fall into the category of acts with penalties explicitly defined in the Holy Quran; in fatwas, the punishment for these is referred to as iqamat-i hadd (execution of the hadd penalty). The aforementioned penalties are applied to offenses falling outside this category.

In this study, a specially compiled collection of fatwas from the Ottoman era of expansion created by cutting out individual fatwas and pasting them onto separate pages will be examined; the 2,111 fatwas contained therein will be classified according to the aforementioned penalties. These classified fatwas will be analyzed to explain the specific situations, subjects, and legal categories associated with the imposition of ta'zîr (discretionary punishment) and habs (imprisonment). The study will conclude with an evaluation and a summary of findings.
Keywords: Ottoman, fatwa, compilation, punishment, ta'zir, imprisonment.

GİRİŞ

Osmanlı Meşîhatı (Bâb-ı Fetvâ), devletin idari ve siyasi nüfuzu güçlü bir kurumu olmasının yanı sıra merkez ve taşra teşkilatlarında üretilmiş on binlerce fetva ile de devletin hafıza ve hukuki altyapısını tüm yönleriyle ortaya koyan bir arşiv deposu ve bilgi kaynağıdır. Bu kurum bünyesinde ortaya konulmuş olan fetva kitapları, arşiv belgelerinin bir şey söyleyemediği konularda net bilgiler verebilen kaynaklar olup multidisipliner çalışmalar için de mutlaka bakılması gereken bilgi kaynaklarıdır. Osmanlı fetvâ kitaplarında olayların ayrıntılarını ortaya koyan özel bilgiler de olup bunlar arasında hudûd, cinâyât, kerâhiyye, dava gibi baplar da bulunmaktadır. Bu baplardan hudûd, cinâyât, kerâhiyye en dikkat çekici baplardan olup verilen cezaların niteliği çok ince hesapların yapıldığını göstermektedir. Yani herhangi bir bapta ceza gerektiren bir suç fiili ile ilgili sual sorulmuşsa bunun hangi durumda hudûd, hangisinde cinâyât ve kerâhiyye baplarına gireceği o filiin Kur'ân-ı Kerîm'de geçen bir suça ait olup olmadığına göre değişmektedir. Mesela zina, şürb-i hamr, sirkat, yalan, iftira, katil gibi Kur'ân-ı Kerîm'de direkt geçen bir suç işlenmişse cezası *had* olmakta, direkt Kur'ân-ı Kerîm'de geçmeyen ama ağır bir suç olarak tanımlanan (çirkin ve kötü sözle tahkir, tezvir, tezyif vb.) daha çok kişisel suçlarda tazir, hapis, azl, sürgün vb. cezalar verilmektedir. Bu çalışmada 16-17.yüzyıl Osmanlı şeyhülislamlarının fetvalarından derlenerek hazırlanmış bir fetva koleksiyonu taranarak 2111 fetva arasından tazir ve hapis cezalarını ihtiva eden fetvalar incelenip tanıtılmaktadır.

Mesele:

Bir karyede sâkin olan zimmîler bir alay eşkıyâyı yanlarına alup gice ile zâbitleri olan Zeyd-i zimmînün evin basup esbâb u emvâlin nehb ü gâret idüp adamlarından birkaçın mecrûh idüp ve Zeydün evin sabâh olınca muhâsara idüp hilâf-ı şer' Zeydün birkaç yoldaşların bağlayup cebren mahkemeye iletdüklerinden sonra vech-i meşrûh üzere işledükleri ef'âl-i nâ-meşrûayı ikrâr idüp ancak esbâbın gâret itdüklerin münkir olsalar şer'an bu makûle kimesnelere ne lâzım olur beyân buyurılup müsâb olına?

El-Cevâbu, Allahu a'lem: Erş-i curûh ile ta'zîr-i şedîd ve habs-i medîd lâzım olur.

Harrerehu'l-fakîr Muhammed 'ufiye 'anh

Bu fetvada ev basma, yağmalama, adam yaralama fiilleri işlenmiş, yağmalama ise inkâr edilmiştir. Yağmalama bir tür hırsızlık olduğundan cezası genellikle haddir. Bu fetvada hırsızlığın inkâr edilmiş olmasına rağmen yaralama diyeti ile şiddetli ta'zîr ve uzun süreli hapis cezası verilmiştir. Yani hadde yakın bir ceza verilmiş olup adam öldürme ve hırsızlığın sabit olması durumunda muhtemelen had cezası verilebilirdi. (Mecmûa-i fetâvâ, 74)

Mesele

Bir cezîre ehâlîsinden Zeyd-i zimmî gammâz ve nemmâm oldugı meşhûr-ı enâm olup muttasıl mahkeme ve ehl-i 'örf kapusında telbîs ü tezvîre iştigâl-i tâmm üzere olsa şer'an mûcibi nedür beyân buyurılup müsâb olına?

El-Cevâbu, Allahu a'lem: Ta'zîr-i şedîd ve habs-i medîddür.

Harrehu'l-fakîr Muhammed 'ufiye 'anh

Bu fetvada, bir ada halkından sürekli ispiyonculuk yaparak mahkemeyi, yöneticileri ve halkı meşgul ve huzursuz eden gayri müslim Zeyd'in cezasının ne olduğu sorulmuştur. Verilen cevapta dayak dâhil şiddetli bir kınama ve azarlama ile uzun süreli hapis cezası verilmesi gerektiği bildirilmiştir. Yani ispiyonculuk etmek ağır bir suç olup cezası recm ve kırbaç gibi bir had cezası değil de ondan daha hafifi denilebilecek bir cezadır. Gerçi şiddetli tazir ve uzun süreli hapis de hafif bir ceza değildir ama zina, hırsızlık, katle nispetle daha alt bir ceza olarak değerlendirildiği görülmektedir. (Mecmûa-i fetâvâ, 335)

Mesele

Zeyd-i müslim teehhül itmek içün dügün eyledükde on nefer kimesne Zeydün dügünini âlet-i harble basup kimisin dögüp ve kimisin mecrûh idüp bî-vech zulm u te'addî eyleseler şer'an mezbûrlara ne lâzım olur beyân buyurılup müsâb olına?

El-Cevâbu, Allahu a'lem: Erş-i cerh ve ta'zîr-i şedîd ve habs-i medîd lâzım olur.

Harrerehu'l-fakîr Muhammed 'ufiye 'anh

Bu fetvada, düğün yapan müslim Zeyd'in düğününü savaş aletleriyle basan on kişinin adam dövüp yaralayıp sebepsiz yere zulüm işlediklerinden bahisle cezalarının ne olduğu sorulmuştur. Verilen cevapta tıpkı yukarıdaki 74.fetvada olduğu gibi, yaralama diyeti ile şiddetli ta'zîr ve uzun süreli hapis cezası önerilmiştir. (Mecmûa-i fetâvâ, 434)

Mesele

Zeyd, Amrı ahz idüp mücerred sen benüm kayınum olan Bekire mahabbet itmişsin diyü muhkem bend idüp hâşâ dübürine agaç sokup muhkem darb idüp üç ay mikdârı Amr-ı mezbûr etibbâya mürâca'at ile gücile halâs olsa şer'an Zeyd-i mezbûra ne lâzım olur beyân buyurılup müsâb olına?

El-Cevâbu, Allahu te'âlâ a'lem: Darb-ı şedîd ve habs-i medîd lâzım olur.

Harrerehu'l-fakîr Muhammed 'ufiye 'anh

Bu fetvada, Zeyd'in Amr'ı tutup sırf kayını Bekir'e mahabbet etti (burada kastedilen, düz bir sevgi olmasa gerektir) diye sıkıca bağlayıp dübürüne agaç sokmak gibi çirkin bir işi işleyip ve de iyice dövüp bundan dolayı Amr'ın üç ay kadar doktorlara giderek güçlükle iyileşmiş olduğundan bahisle bu fiilin cezası sorulmuştur. Verilen cevapta, şiddetli dayak ve uzun süreli hapis cezası önerilmiştir. (Mecmûa-i fetâvâ, 451)

Mesele

Zeyd-i müslim Amr-ı zimmînün çayırdan katırına binüp köy ortasına geldükde Amr köskü ile Zeydün başına urup sakalın yolup dînine îmânına cimâ' lafzı ile şetm eylese Amr-ı zimmîye ne lâzım olur beyân buyurılup müsâb olına?

El-Cevâbu, Allahu te'âlâ a'lem: Darb-ı şedîd ve habs-i medîd lâzım olur.

Harrerehu'l-fakîr Muhammed 'ufiye 'anh

Bu fetvada, Müslüman Zeyd, zimmî (Osmanlı tebaası gayrimüslim) Amr'ın çayırdaki katırına binip köyün ortasına geldiğinde; Amr, ağaç dalı/baston (köskü) ile Müslüman Zeyd'in başına vurup sakalını yolup onun dinine ve imanına ağır küfrettiğinden bahisle bu gayrimüslime hukuken ne ceza gerekeceği sorulmuştur. Verilen cevapta tıpkı yukarıda olduğu gibi şiddetli dayak ve uzun süreli hapis cezası önerilmiştir. (Mecmûa-i fetâvâ, 472)

SONUÇ

Osmanlı Devleti'nde devletin idari ve siyasi yönden en etkili kurumu olan Bâb-ı Fetvâ"nın kendi bünyesindeki faaliyetler neticesinde oluşan on binlerce fetvanın devlet hafızası ve hukuki altyapıyı ortaya koymak ve bilim dallarına kaynaklık etmek gibi önemli katkıları da bulunmaktadır. Bu fetvaların birçok bilgi kaynağının sustuğu durumlarda en net bilgileri ve kanıtları ortaya koyduğu görülmektedir. Fetva kitaplarının çeşitli araştırmalarda sundukları özgün bilgi ve kanıtlar açısından son dönemlerde önemi daha da artmakta, yer ve değerleri daha iyi anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada günümüz ceza davaları ile mukayese edilebilecek bir kesite dikkat çekilmiş, tazir ve hapis cezalarına dair bazı örnekler gösterilmiştir. Çalışmada Osmanlı'nın 16-17.yüzyıl şeyhülismlarının fetvalarını içeren bir fetva koleksiyonu taranarak toplam 2111 fetva arasından konuyla ilgili olanlar incelenmiştir.

KAYNAKÇA

Mecmûatü'l-fetâvâ, Vahidpaşa Yazmaeser Kütüphanesi, nr.1647.
Mecmûatü'l-fetâvâ, Süleymaniye Yazmaeser Kütüphanesi, Fatih, nr. 2349.
Mecmûa, Süleymaniye Yazmaeser Kütüphanesi, Zühdü Bey, nr.505.
Mecmûa, Süleymaniye Yazmaeser Kütüphanesi, Esad Efendi, nr.1099.
Mecmûa-i Fâzıl Mahmûd Efendi, DİB Yazmaeser Kütüphanesi, nr.1676.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

TEFSÎR-İ (YAʿḲŪB-İ) ÇERHÎ'DE ÎMÂN VE AHİRET ALANINA AİT KELİMELRİN DURUMU ÜZERİNE

Doç. Dr. Nülüfer ÇELİK
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Türk Dili ve Edebiyatı Bölümü
ORCID:0000-0002-6998-6109

ÖZET
Türklerin Karahanlılar döneminde İslâmiyeti resmî devlet dini olarak kabul etmeleri tercüme ve tefsir faaliyetlerini beraberinde getirmiştir. Bu süreçte satır arası tercüme yöntemiyle Arapça kelimelere bire bir Türkçe karşılıklar verilerek Kur'an'ın anlaşılması amaçlanmıştır. Böylece birçok kelime aynen aktarılmak yerine mevcut Türkçe kelimelerle karşılanmış ya da yeni kelimeler türetilerek Türkçeye kazandırılmıştır. Satır arası tercümenin yetersiz kaldığı durumlarda ise tefsirli çeviriler oluşturulmuştur. Bu tür eserlerden biri de Mevlana Yakub-i Çerhî'nin Farsça kaleme aldığı ve *Tefsîr-i Yakub-ı Çerhî* (veya *Tefsir-i Çerhî*) adıyla bilinen tefsiridir. İşarî tefsir özelliği gösteren bu eser onun vefatından yaklaşık bir buçuk asır sonra Hemedanlı Hacı tarafından 1585 yılında dönemin Türkçesine tercüme edilmiştir. Müellifin Fatiha suresi ile ağırlıklı olarak Mekkî surelerden oluşan 29 ve 30. cüzleri tefsir ettiği bu eser, muhtevası gereği inanç ve ahiret kavramlarının yoğun olarak işlendiği bir yapıya sahiptir. Bu doğrultuda çalışmada, Arapça asılları veya aynı kökten türemiş biçimleri ilgili ayet metninde doğrudan geçen "Allah, Rabb, kıyamet, hesap, cennet, cehennem, resul, küfr/inkar etmek, mü'minîn / mü'minât, şirk /ortak koşmak, tövbe, ölüm ve hayat vb. gibi dinî terimler incelenecektir. Çalışmada, bu terimler üzerinden ilk Türkçe Kur'an tercümelerinde görülen Türkçeleştirme geleneğinin söz konusu Doğu Türkçesi Tercümesinde ne derece sürdürüldüğü, ne kadarının Arapça ya da Farsça olarak varlığını koruduğu tespit edilmeye çalışılacaktır.
Anahtar Kelimeler: Tefsîr-i Çerhî, Doğu Türkçesi, dinî terminoloji, iman, ahiret.

ON THE STATUS WORDS IN THE CONCEPTUAL FIELDS OF FAITH AND THE AFTERLIFE IN TEFSÎR-İ (YAʿḲŪB -İ) ÇERHÎ

ABSRACT
The adoption of Islam as the official state religion by the Turks during the Karakhanid period brought about translation and tafsir activities. During this process, the Qur'an was made more comprehensible through interlinear translations in which Arabic words were provided with direct Turkic equivalents.Thus, rather than being transferred unchanged, many words were rendered by existing Turkic words or newly derived forms. When interlinear translation proved insufficient, translations incorporating exegetical explanations were produced. One such work is the tafsir written in Persian by Mawlānā Yaʿkūb-i Çerhî, known as Tefsîr-i Yaʿkūb-i Çerhî (or Tefsîr-i Çerhî'de). Characterized as an ishārī tafsir, the work was translated into the Turkic language of the period by Hemedanlı Hacı in 1585, approximately a century and a half after the author's death. Covering Sūrat al-Fātiḥa and the 29th and 30th juzʾ, which consist predominantly of Meccan surahs, the work places particular emphasis on concepts related to faith and the afterlife. Accordingly, this study examines religious terms whose Arabic forms or derivatives from the same roots occur explicitly in the relevant Qur'anic verses, including Allah, Rabb, qiyāma, ḥisāb, janna, jahannam, rasūl, kufr/to disbelieve, muʾminīn/muʾminât, shirk/to associate partners with God, tawba, death, and life.

Through these terms, the study aims to determine the extent to which the Turkicization tradition observed in the first Turkish translations of the Quran was maintained in this Eastern Turkic translation, how many of these terms retained their Arabic or Persian forms.
Keywords: Tefsîr-i Çerhî, Eastern Turkic, religious terminology, faith, afterlife.

GİRİŞ

VIII. yüzyıldan itibaren İslâmiyet'le tanışmaya başlayan Türk topluluklarında bu dinin benimsenmesi zamanla yaygınlaşmış, Karahanlılar döneminde (X.yy) İslâmiyet'in devlet dini olarak kabul edilmesiyle Türk kültür tarihinde yeni bir dönem başlamıştır (Ata, 2004, s.X). Karahanlılar döneminde oluşan canlı ilmî ve kültürel ortam, Türkistan coğrafyasında müfessir, muhaddis, fakih ve dil bilginlerinin yetişmesine zemin hazırlamış; bu dönemde ilk Türkçe Kur'an tercüme ve tefsirleri de ortaya çıkmaya başlamıştır (Kök, 2005: X). Türkler, İslâmiyet'ten önce Budizm, Maniheizm ve Hristiyanlık gibi farklı dinleri benimsemiş; bu dinlerin öğretilerini aktarmaya yönelik Eski Uygur Türkçesiyle çok sayıda telif ve tercüme eser meydana getirmişlerdir. İslâmiyet'in kabulünün ardından ise yeni dinin anlaşılması ve aktarılması amacıyla kaleme alınan eserler artmış, buna bağlı olarak tercüme ve tefsir faaliyetleri önem kazanmıştır. Bu faaliyetler içerisinde Kur'an'ın Türkçeye aktarılması önemli bir yer tutmaktadır. İlk Türkçe Kur'an tercümesinin kim tarafından[1] ve ne zaman yapıldığı kesin olarak bilinmemekle birlikte, mevcut bilgiler bu tercüme faaliyetlerinin İslâmiyet'in kabulünü takip eden dönemde geliştiğini göstermektedir (Ata, 2004: XI).

İlk Türkçe Kur'an tercümeleri, kullanılan çeviri yöntemleri bakımından farklı özellikler göstermektedir. Eckmann, bu tercümeleri genel olarak iki grupta değerlendirmektedir. İlk grubu, Arapça kelimelerin altına daha küçük harflerle Türkçe karşılıklarının yazıldığı satır arası kelime kelime tercümeler oluşturur. Bu yöntemde kaynak metnin söz dizimine bağlı kalındığından Türkçe cümle yapısının çoğu zaman geri planda kaldığı görülmektedir. İkinci grupta ise tercümenin çeşitli açıklamalar, hikâyeler ve tefsir niteliğindeki bölümlerle genişletildiği eserler yer almaktadır (Eckmann, 2014: 255).

Ünlü ise Kur'an tercümelerini çeviri özellikleri bakımından satır arası birebir çeviriler, tefsirli çeviriler ve tefsirler olmak üzere üç grupta ele almaktadır. Satır arası çevirilerde Arapça kelimeler Türkçe karşılıklarıyla birebir verilirken tefsirli çevirilerde ayetlerin tercümesine açıklayıcı bilgi, anlatı ve hikâyeler de eklenmektedir. Tefsirlerde ise ayetler bir bütün olarak ele alınarak daha geniş biçimde açıklanmaktadır (Ünlü, 2004, s. 2-5). Bu sınıflandırmalar, ilk Kur'an tercümelerinin yalnızca metni başka bir dile aktarmaya yönelik olmadığını, farklı yöntemlerle Kur'an'ın anlaşılmasını sağlamaya yönelik bir tercüme geleneğinin geliştiğini göstermektedir.

İlk Türkçe Kur'an tercümeleri, Kur'an'ın Türkçe konuşan topluluklar tarafından anlaşılmasını sağlamanın yanında Türk dilinin söz varlığı açısından da önemli bir yere sahiptir. İslâmiyet'le birlikte karşılaşılan yeni dinî kavramların Türkçede ifade edilmesi ihtiyacı, tercümelerde bu kavramlara karşılık bulma arayışını da beraberinde getirmiştir. Bu doğrultuda Arapça dinî terimlerin bir kısmı Türkçeye doğrudan aktarılırken bir kısmı mevcut Türkçe kelimelerle karşılanmış, ihtiyaç duyulan durumlarda ise yeni kelimeler türetilmiştir.

[1] Kur'an'ın ilk Farsça tercümesi, Sâmânî hükümdarı Mansur b. Nuh döneminde (961-976) Horasan ve Mâverâünnehir âlimlerinden oluşan bir heyet tarafından Taberî tefsiriyle birlikte hazırlanmıştır. İlk Türkçe Kur'an tercümesinin tarihi kesin olarak bilinmemekle birlikte, Zeki Velidi Togan bu tercümenin Farsça tercümeyle aynı dönemde, muhtemelen heyette bulunan Türk üyeler tarafından gerçekleştirildiğini ileri sürmektedir. Abdülkadir İnan ise ilk Türkçe tercümeyi X. yüzyılın ortalarına tarihlendirmektedir. Togan'a göre bu ilk tercüme, Taberî tefsirindeki Farsça tercümeye dayanan satır arası ve kelime kelime bir çeviri niteliğindedir (Eckmann, 2014: 254).

Bu yönüyle ilk Kur'an tercümeleri, İslâmî kavramların Türkçede nasıl karşılandığını ve Türkçenin yeni bir dinî terminoloji oluşturma sürecini takip etmeye imkân veren önemli kaynaklardır.

İnan, eski Kur'an tercümelerinin Türk dili tarihi açısından önemli kaynaklar olduğunu; özellikle İslâmiyet'le birlikte Türkçeye giren yeni kavramların karşılanmasında Türkçenin önceki dönemlere ait söz varlığından nasıl yararlanıldığını göstermeleri bakımından değer taşıdığını belirtmektedir (İnan, 1991: 141).

Caferoğlu ise İslâmiyet'le birlikte Türk kültür çevresine giren yeni kavramların karşılanması sırasında Türkçenin mevcut söz varlığından yararlanıldığını, aynı kavram için farklı Türkçe karşılıkların kullanılabildiğini ve ihtiyaç hâlinde yeni kelimelerin oluşturulduğunu vurgulamaktadır (Caferoğlu, 2000: 91).

Kur'an'ın Türkçeye aktarılmasında satır arası tercümelerin yanı sıra ayetlerin anlamını daha geniş biçimde açıklamaya yönelik tefsirli tercümeler ve tefsirler de önemli bir yer tutmaktadır. Bu eserlerde ayetlerin yalnızca Türkçe karşılıklarının verilmesiyle yetinilmemiş, açıklamalar ve çeşitli anlatılarla ayetlerin daha ayrıntılı biçimde anlaşılması amaçlanmıştır. Bu tercüme ve tefsir geleneğinin Doğu Türkçesi sahasındaki örneklerinden biri de XVI. yüzyılda Türkçeye aktarılan Tefsîr-i Yakub-ı Çerhî'dir.

Yâkūb-ı Çerhî ve Eseri

MevlanaYâkūb-ı Çerhî[2] (ö.851/ 1447), XV. asır Nakşibendiyye büyüklerindendir. Bugünkü Afganistan sınırları içinde yer alan Çerh'de dünyaya gelmiş; Herat, Buhara, Mısır gibi merkezlerde ilim tahsili görmüştür. Nakşibendi tarikatının isim babası Bahâeddin Nakşbend hazretlerinin talebesi Nakşibendiyye şeyhlerinden Hoca Ubeydullah Ahrâr-ı Veli hazretlerinin hocasıdır. Çoğunluğu tasavvufî içerikli çok sayıda eseri mevcuttur (Üşenmez, 2019, s. 19) Bunlardan biri de Tefsir-i Yakub-ı Çerhî[3] olarak bilinen ve Kur'an'ın Fatiha ile 29. ve 30. cüzlerinin Farsça tefsirinden oluşan eseridir. Eser, sadece bir bir tercüme değil aynı zamanda tasavvufi işaretleri ve ahlakî öğütleri barındıran halka yönelik irşad zeminli bir tefsirdir. Türkiye ve dünya kütüphanelerinde çok sayıda yazma nüshası mevcuttur. Mevlana Yakub-i Çerhî'ye ait olan bu tefsir onun ölümünden 140 yıl sonra Hemedanî[6] Hacı (Hemedanlı Hacı) isimli kişi tarafından H. 993 (M. 1585)'te dönemin Türkçesine tercüme edilmiştir. Eserin tercüme edilme sebebi Türklerin Farsçayı bilmemeleri yüzünden bu dili anlayamadıkları, dolayısıyla söz konusu tefsirden yeterince istifade edemedikleri şeklinde açıklamıştır. Kaynaklarda eserin mütercimi hakkında fazla bir bilgi yoktur (Üşenmez, 2019, s. 52).Hemedanlı olduğuna dair kayıt düşülmüştür. Buradan hareketle eserin yazıldığı sahanın bugünkü Türkmenistan'ın İran hududu ve İran-Türkmenistan sınır bölgelerini kapsayan coğrafi alan olduğu söylenebilir (Üşenmez, 2019, s. 52). Eserin dili için Üşenmez "Oğuzca unsurların baskın olduğu Çağatay/ Doğu Türkçesinin dil özelliklerini yansıttığı"şeklinde açıklamıştır (Üşenmez, 2019, s. 52).Üşenmez, Oğuzca unsurların baskın olmasını eserin yazıldığı coğrafyaya bağlı olduğunu; bu bölgelerde yaşayan halkın büyük bir bölümünün Oğuzca konuşması dolayısıyla da bu eserde Çağatay yazı dilinin temel karekteristik özellikleri korunmakla beraber yerel unsur olan Oğuzca etkilerinin de baskın bir şekilde görüldüğünü ifade etmektedir.

Bu çalışmada, Tefsîr-i Yakub-ı Çerhî'nin Türkçe tercümesinde yer alan inanç ve ahiret kavram alanına ait seçili dinî terimler ele alınmıştır.

[2] Ya'kūb b. Osmân b. Mahmûd el-Gaznevî el-Çerhî

[3] Eser çeşitli isimlerle adlandırılmaktadır: Tefsiru'l Fatiha, Tefsir-i Bî-Nukta, Tefsir-i Kelâm Rabbânî, Tefsiru'l Fatihatu'ş-Şerife, Tefsir-i Sure-i Fatiha ve Dû Cüz'î Âhir. (Mobinyar, 2024, s.65)

Söz konusu terimlerin eserdeki karşılıkları, aynı ayetlerin önceki dönem Türkçe Kur'an tercümelerindeki karşılıklarıyla karşılaştırılarak Türkçeleştirme geleneğinin XVI. yüzyıl Doğu Türkçesindeki durumu ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu doğrultuda terimlerin Türkçe, Arapça ve Farsça karşılıkları ile zaman içerisinde geçirdikleri anlamsal değişimler değerlendirilmiştir.

1.Allah

Allah lafzı, İslâmî terminolojide gerçek mâbudun özel adı olarak kullanılmaktadır (Topaloğlu). Bu lafız, onun bütün isim ve sıfatlarını üstünde toplayan genel bir kavramı ifade etmektedir. O'nun bütün isim ve sıfatları içinde Kur'an'da en fazla Allah lafzı geçer (Karahan 132; Canatan 87). Tefsirde, Allah lafzı bazen olduğu gibi bazen de Farsça aynı anlamı karşılayan ḫudây ile açıklamıştır:

"Hamd, Âlemlerin Rabbi, Rahmân, Rahîm, hesap ve ceza gününün (ahiret gününün) maliki Allah'a mahsustur." (Fatiha 1/2-4)[4]

Kar[5]: "şükrü sipas ögdi taŋrıḳa ajunluglarnı egtülegen idi. Rüzî berigli yarlıḳaġlı. erklig saḳış yanut küniniŋ."(Kök, 2004, s.1); Hrz[6]: "Ôgmek Tangrıġa, 'âlamlarnıng erkligi. Üküş raḥmetlig, raḥmeti lazım. Erkligi, ceza künining." (Sağol, 1993, s.2); (YÇT)[7] *"ma'nâsı ol bolur kim sipâs ve sitâyiş ya'nî barça ezgü ögmeklikler ya'nî yaḫşî sıfatlar birlen Allâh te'âlaġa sezâvâr turur."* (Üşenmez, 2019, s. 117).

De ki: "O, Allah'tır, bir tektir." (İhlâs suresi 112/1).

Kar: "*Aygıl ol Taŋrı bir turur."* (Ünlü, 2004, s. 288); Hrz: "*Aygıl: "Ol Tangrı yalġuz, bir."* (Sağol, 1993, s. 496); (YÇT) "*Aygıl ey Muḥammed ḫudāy bir turur..".* (Üşenmez,, 2019, s. 427).

2.Rab

Arapça *Rabb* "mâlik, seyyid, idare eden, terbiye eden, gözetip koruyan, ıslah edip geliştiren" gibi anlamlarla ilişkilendirilen bir sözdür (Topaloğlu). Erken Mekkî sûrelerde belirgin bir kullanım alanına sahip olan *Rabb*, ilk inen yirmi sûrede *Allāh* lafzından daha sık geçmektedir (Canatan 87). Tefsirde, bu kelime *perverdigār* olarak yanı sıra da *ḫudāy Teʿālā, ḫudāy, Ḥaḳ Teʿālā* ile karşılanmıştır:

"… Âlemlerin Rabbi…"[8] (Fatiha 2-4).

Kar: "ajunluglarnı egtülegen idi." (Kök, 2004, s.1); Hrz: "'âlamlarnıng erkligi." (Sağol, 1993, s.2); (YÇT) "*'ālem ehlini terbiyet ḳılġan ve perveriş bergen mürebbîsi, ya'nî saḳlaġuçısı turur."* (Üşenmez, 2019, s. 117).

"De ki:…sabah aydınlığının Rabbine sığınırım..." (Felak 113/1).

Kar: "aygıl sıgınur men felaḳ, tamusı taŋrı birle saŋa." (Ünlü, 2004, s.288); Hrz: "Ayġıl: "Sıġnu[r men] tangnıng Tangnrısınga." (Sağol, 1993, s. 496); (YÇT) "*Aytġıl ey Muḥammed penāh eltürmen felaḳ perverdigārıŋa..."* (Üşenmez, 2019, s. 429).

"Şüphesiz, Rabbinin yakalaması çok çetindir." (Burûc 85/12).

Kar: "seziksiz iḍiŋ tutmaḳı ḳatıġ turur." (Ünlü, 2004, s.271); Hrz: "Ḥaḳîḳât üze İḍingning tutmaḳı ḳatıġ." (Sağol, 1993, s. 477); (YÇT) "*Dürüstlıḳ kim ḫudāy Teʿālā ḳatıġ tutar tutmaḳlıḳ yüzindin."* (Üşenmez, 2029, s. 348).

"Oku! Senin Rabbin en cömert olandır." (Alak 96/3).

---

[4] Bu çalışmada yer alan Kur'an-ı Kerim mealleri Diyanet İşleri Başkanlığı Kur'an-ı Kerim Portalı'ndan alınmıştır.
[5] Kar: Karahanlı
[6] Hrz: Harezm
[7] (YÇT):Yâkūb-ı Çerhî Tefsiri
[8] Türkçe tefsirde Rabb " âlemlerin rabbi (sahibi, mâliki, takdir edip yaratanı, koruyanı, geliştireni)" şeklinde açıklanmıştır.

Kar: "Oḳıġıl seniŋ iḍiŋ aġırlıġraḳ turur." (Ünlü, 2004, s.279); Hrz: "Oḳıġıl. Taḳı İḍing kerimreki." (Sağol, 1993, s. 486); (YÇT) "*Oḳıġıl ey Muḥammed ve ḥāl bu kim seniŋ ḥudāyıŋ kerîm turur..".* (Üşenmez, 2019, s. 392).
"Bunun üzerine Rableri, suçlarından dolayı onları helak etti ve kendilerini yerle bir etti." (Şems 91/14),
Kar: "yalġanḳa tut(t)ılar siŋrin ḳıydılar yawuzladılar anı helaḳ ḳıldı anlarnı iḍileri yazuḳ birle tüzet(t)i anlarnı." (Ünlü, 2004, s.276); Hrz: "Yalġanġa nisbet ḳıldılar anı taḳı singrin kestiler anı.Örtti anlar üze İḍileri, yazuḳları birle. Taḳı tüz ḳıldı anı." (Sağol, 1993, s. 486); (YÇT) "*pes helāk etti Ḥaḳ Teʿālā alarnı alarnıŋ günāhları sebebindin..".* (Üşenmez, 2019, s. 376).

3. Kıyâmet

Kıyâmet "kalkmak, dikilip ayakta durmak" anlamındaki kıyâm kökünden olup "dirilip mezarından kalkma, Allah'ın huzurunda durma" yahut "bu olayın başlangıcını teşkil eden kozmik değişikliğin vuku bulması" anlamına gelir (Topaloğlu). Çeşitli adlarla Kuran'da yer alır. Çalışma kapsamımızdaki ayetlerde de geçen bu kelime farklı isimlerle ifade edilmiştir.

yevmü'l-kıyâme

"Kıyamet gününe yemin ederim." (Kıyâmet 75/1).
Kar: "ant yâd ḳılur men uluġ kün tapa." (Ünlü, 2004, s.256); Hrz: "Ḳasem yâḍ ḳılur men ḳıyâmat küni birle." (Sağol, 1993, s.460); (YÇT) "*Bilgil kim baʿzı ayturlar; [lā] kelimesi zāyid turur. Maʿnāsı andaḳ bolur kim ant yād ḳılur mén ḳıyāmet künginge yaʿnî ḳıyāmet künining ḥürmetiŋa."* (Üşenmez, 2019, s. 264).
"…kıyâmete kadar sürecek…" (Kalem 68/39).
Kar: "Ḳıyâmet künike tegi." (Ünlü, 2004, s.244); Hrz: "teggen ḳıyâmat künge tegrü," (Sağol, 1993, s.446); (YÇT) "*ḳıyâmet küningeçe…"* (Üşenmez, 2019, s.163);
"O kıyamet günü ne zaman?" diye sorar." (Kıyâmet 75/6).
Kar: "aytur ḳaçan bolur ḳıyâmet kün. (Ünlü, 2004, s.256); Hrz: Sorar: "Ḳaçan ḳıyâmat kün?" (Sağol, 1993, s.460); (YÇT) "*Ḳaçan bolġusı turur ḳıyâmet küni…"* (Üşenmez, 2019, s.265).

yevmü'l-faṣl

"Şüphesiz hüküm ve ayırma günü[9] belirlenmiş bir vakittir." (Nebe 78/17).
Kar: "çın kesgü bıçġu kün erür vaʿde ḳılınmış." (Ünlü, 2004, s.261); Hrz: "Ḥaḳîḳat üze ayırt küni, irdi muayyen ḳılınmış vaḳt." (Sağol, 1993, s.466); (YÇT) "*Dürüstlıḳġa kim ḳıyâmet küni ayırġaylar dostnı düşmendin…*" (Üşenmez, 2019, s. 294).
"Hüküm ve ayırım gününü[10] sen ne bileceksin." (Mürselât 77/14)
Kar: "ne bildürgey saŋa ne ol aḍırmaḳ küni." (Ünlü, 2004, s.259); Hrz: "Taḳı ne bildürdi sanga, ne turur ayır<t>küni?" (Sağol, 1993, s.464); (YÇT) "*Né bilgeysén kim* né *uluḳ kün turur ayrılmaḳ küni…*" (Üşenmez, 2019, s.285).

yevmü'd-dîn

"…ceza gününün[11] (ahiret gününün) maliki…" (Fâtiha 1/4); Kar: "erklig saḳış yanut küniniŋ." (Kök, 2004, s.1); Hrz: Erkligi, ceza künining." (Sağol, 1993, s.2); (YÇT) "*ḳıyāmet künining pādişāhı turur."* (Üşenmez, 2019, s. 118).
"Hesap ve ceza günü oraya gireceklerdir." (İnfitar 82/15).

[9] Türkçe tefsirde"Ayırım günü"nden maksat hakkın bâtıldan, haklının haksızdan, müminin inkârcıdan ayırt edileceği ve dünyada yapılanların karşılığının verileceği büyük hesap günüdür." şeklinde açıklanmıştır.
[10] Türkçe tefsirde "âhiret günü" olarak açıklanmıştır.
[11] Türkçe tefsirde Ödül ve ceza (din) günü, âhiretteki hesaba çekme ve hüküm verme günü" olarak açıklanmıştır.

Kar: “kigürgeyler aŋar ḳıyâmet kün.” (Ünlü, 2004, s.267); Hrz: “köyerler anga ceza küninde.” (Sağol, 1993, s.473); (YÇT) “*Kirgeyler tamuġ odınġa cezâ küninde”* (Üşenmez, 2019, s.330-331)

liyevmin ‘azîm

“Onlar, büyük bir gün [12] ; insanların, âlemlerin Rabbinin huzurunda duracakları gün diriltileceklerini sanmıyorlar mı?” (Mutaffifîn 83/5-6).

Kar: “uluġ künke, ol kün ḳopar kişiler ajunluġlar iḍisine.” (Ünlü, 2004, s.268); Hrz: “Uluġ künge? Ol kün ḳopar kişiler ‘âlemlarnıng erkliginge.” (Sağol, 1993, s.474); (YÇT) *"Bilmesler kim tirilgüsi tururlar ‘amellerining ḥesâbı üçün uluḳ künde. Ol kün kim ḳopġaylar ḫalâyıḳlar gûrdın ḫudây teʿālānıng ḥükmi birlen kim ʿālem ve âdem perverdigârı turur, yaḫşını yamandın ayırmak üçün.”* (Üşenmez, 2019, s.333)

4.Hesap

Arapça kökenli *ḥesāb*, “saymak, hesap etmek; sayma, sayım” anlamlarına gelmektedir. Dini literatürde hesap; "Mükellef insanların dünyadaki inanç ve davranışlarından dolayı âhirette hesaba çekilmeleri” olarak tanımlanmaktadır (Yüksel, 1998, s. 240).

“Çünkü onlar hesaba çekilmeyi ummuyorlardı.” (Nebe 78/27).

Kar: “ḳorḳmazlar erdi saḳışḳa.” (Ünlü, 2004, s.262); Hrz:“Ḫakîḳat üze anlar, irdiler ümenmesler saḳışnı.” (Sağol, 1993, s.467); (YÇT) *“Dürüstlıḳġa kim bu tamuġlıḳlar bar érdiler dünyāda hem ḳorḳmas érdiler ve ḥesāb künindin anıng üçün kim inanmas érdiler sizlerdin ḳıyāmet künini ve kîl ümîd tutmas érdiler ḥesābnı..”.* (Üşenmez, 2019, s. 296).

“Sonra onların sorguya çekilmesi de sadece bize aittir.” (Gaşiye 88/26).

Kar: “yana biziŋ üze turur saḳışları” (Ünlü, 2004, s.274); Hrz: “Andın song ḫaḳîḳat üze bizing üze, saḳışları” (Sağol, 1993, s.480); (YÇT) *“Pes bizning üze turur ḥesâb ḳılmak alarnıng ‘amellerini alarġa cezâ bermek biz alarnıng ‘amellerining cezâsın berürmiz …*”(Üşenmez, 2019, s.363)

“Hesabı çok kolay bir şekilde görülecek…” (İnşikâk 84/8).

Kar: “harayna saḳış ḳılınġay âsân saḳış ḳılmaḳ.” (Ünlü, 2004, s.269); Hrz. “Ḫisâb ḳılınġay, âsân ḫisâb” (Sağol, 1993, s.466); (YÇT) *“Hesâb ḳılınġay dünyâda ḳılġanlardın anga âsânlıḳ üze, yaʿnî ‘arz ḳılınsa anga ‘amelleri. Fe ammâ eger ḥesâb ḳılsalar ve muẕâyaḳa ḳılsa ḥesâbında ‘azabġa tüşgey”* (Üşenmez, 2019, s. 340).

5.Cehennem

“Kur'ân’da cehennem kelimesi 77 kez geçer. Bu ayetlerden 51'i Mekkî, 26'sı Medenîdir. Buradaki ayetlerde cehennem kavramı azabı hak edenlerin kalacakları mesken, mekan olarak isimlendirilmiştir.” (Tunç, 2023, s. 96). Kur'an'da cehennem kavramı yalnızca *cehennem* adıyla değil, ateşin niteliğini veya azabın farklı yönlerini ifade eden *saʿīr, caḥīm, laẓā, saḳar* ve *ḥuṭama* gibi çeşitli adlandırmalarla da ifade edilmektedir.

“Rablerini inkar edenler için cehennem azabı vardır. Ne kötü varılacak yerdir orası!” (Mülk 67/6).

Kar: “yme anlarḳa kim tandılar iḍileriŋḳa tamu ḳını neme yawuz yanış.” (Ünlü, 2004, s.240); Hrz: “Taḳı anlarġa kim küfr ketürdiler İḍileringe, tamuġ ḳını. Taḳı neme yawuz yanış!” (Sağol, 1993, s.443); (YÇT) “*ve ol kimerseler kim kāfir boldılar ḫudāy teʿālāġa munça delā’il ve tanuḳlarnı körüp alarġa turur dūzaḫ ve yaman yer turur ol yer kim alarnıŋ ḳaytışı ol yerge turur yaʿni tamuġġa” (* Üşenmez, 2019: s. 129).

“Şüphesiz cehennem, bir gözetleme yeridir…”(Nebe 78/21).

[12] Türkçe tefsirde“büyük gün”den maksat, kıyamet günüdür.”açıklaması yer almaktadır.

Kar: “yma tamuġ bolgay keçgü yol.” (Ünlü, 2004, s.261); Hrz: “Ḥakîḳat üze tamuġ, boldı küygü yir.” (Sağol, 1993, s.466); *(YÇT) “dürüstlıḳġa kim tamuġ bolġay ḫalḳnıŋ öter yolı..”.* (Üşenmez, 2019: s. 295).

“…cehennem azabı ve yangın azabı vardır.” (Buruc 85/10).

Kar: “anlarḳa ol tamuġ ḳını anlarḳa öetegen ḳın” (Ünlü, 2004, s.270); Hrz: “anlarga tamuġ ḳını taḳı anlarġa ot ḳını.” (Sağol, 1993, s.477); *(YÇT) “Pes alarġa turur tamuġ azabı”* (Üşenmez, 2019, s.348).

“…şu alevli ateştekilerden olmazdık.” (Mülk 67/10).

Kar: “aygaylar eger eşit(t)imiz erse azu uḳıt(t)ımız erse bolmaġay erdimiz tamu boḍınıdın (Ünlü, 2004, s.240); Hrz: Taḳı aydılar: "Eger işitse irdük ya bilse irdük, bolmaġay irdük tamuġ eyeleri içinde” (Sağol, 1993, s.443); (YÇT) “*...bolmaġay érdük bu tamuġ meṣāḥiblerining arasında.”* (Üşenmez, 2019, s. 131).

Laẓa: “Fakat ne mümkün! Bilinmeli ki o (cehennem) alev alev yanan, derileri kavurup soyan bir ateştir.” (Mearic 70/15).

Kar: “zînhâr ol küyer ot turur.” (Ünlü, 2004, s.247); Hrz: “Andaġ irmez, ḫaḳîḳat üze ol[13] biling.” (Sağol, 1993, s.450); (YÇY) “*…tamuġ otı.”* (Üşenmez, 2019, s.203).

Ḫuṭame: “Hayır! Andolsun ki o, Hutâme'ye atılacaktır.” (Hümeze 104/4).

Kar: “ḫaḳḳâ kemşilgey ḫuṭame tamuġı içre.” (Ünlü, 2004, s.284); Hrz: “Yıġılġıl; bıraḳılġay tamuġḳa…” (Sağol, 1993, s.466); (YÇT) “*tamuġġa…*”(Üşenmez, 2019, s.492).

“Hutame'nin ne olduğunu sen ne bileceksin? O, Allah'ın, yüreklere işleyen tutuşturulmuş ateşidir.” (Hümeze 104/ 5,6,7).

Kar: “ne bildürgey saŋa ḫutame tamuġı içre. taŋrınıŋ otı tamturulmış.” (Ünlü, 2004, s.284); Hrz: “Taḳı ne bildürdi sanga, ne turur ḫuṭame? Tangrının yandurmış otı.” (Sağol, 1993, s.466); (YÇT) “*Ve né bilgey sén ey Muḥammed kim né turur Ḫuṭâme bu Ḫuṭâme bir dereke turur tamuġda kim her kimni anga taşlasalar anı sındırġay. Bu Ḫuṭâme ḫudât tealanıng odı yurur…*”(Üşenmez, 2019, s.412);

Sa‘îr: “Ve (ahirette de) onlara alevli ateş azabını hazırladık.” (Mülk 67/5).

Kar: “anut(t)ımız anlar tamu ḳını küyer ot ḳınından.” (Ünlü, 2004, s.240); Hrz: “Taḳı anuḳ ḳılduḳ anlarġa, tamuġnung ḳının.” (Sağol, 1993, s.443); (YÇT) “*…ḳatıġ ‘azâb yani yanar ot…*” (Üşenmez, 2019, s.129).

Seḳar: “Ben onu "Sekar"a (cehenneme) sokacağım.” (Müddesir 74/26).

Kar: “kigürgey miz anı saḳr atlıġ tamuġḳa.” (Ünlü, 2004, s.254); Hrz: “Köydürgey men anı tamuġġa.” (Sağol, 1993, s.459); (YÇT) “*tamuġġa…”* (Üşenmez, 2019 s.257)

Cahîm: “Şüphesiz, günahkârlar da cehennemdedirler.” (İnfitar 82/14).

Kar: “neme yawuz işligler tamuġ içre tolġaylar.” (Ünlü, 2004, s.267); Hrz: “Taḳı ḫaḳîḳat üze fâsıḳlar, tamuġ içinde.” (Sağol, 1993, s.473); (YÇT) “*her âyine tamuġda odında bolġay…”* (Üşenmez, 2019, s.330).

Ḥâviye[14]: "İşte onun anası (varacağı yer) Hâviye'dir. Sen Hâviye'nin ne olduğunu ne bileceksin? O, kızgın bir ateştir." (Kâria101/9,10,11)

Kar: “anıŋ anası ya‘nî yanışı hâviya turur. O ne bildürgey saŋa. ne ol ol ot turur isig.” (Ünlü, 2004, s.283); Hrz: “anıng anası tüşgen, ya'ni yoḳalġan.Taḳı ne bildürdi sanga, ne turur ol? İsig ot.” (Sağol, 1993, s.490); (YÇT) “*pes anıng me’vâsı ya‘nî turġu yéri tamuġ bolġay. Ve né bilgey sén turur bu ṭamuġlıḳ. Beyan ḳıldı ve aydı. Bir ot turur köydürgüçi.”* (Üşenmez, 2019, s.408) olarak açıklanmıştır.

[13] Laẓa cehennemi “ol” zamiri ile ifade edilmiştir. Türkçe karşılığı verilmemiştir.
[14] Haviye tefsirde yukarıdan düşmek olarak açıklanmıştır.

6.Cennet

"Ebedî saadet yurdunu ifade etmek üzere Kur'an'ın birçok yerinde geçer. Kur'ân-ı Kerîm'de müfred, tesniye ve cemi şekilleriyle 147 defa geçer. İslam literatüründe cenneti ifade eden çok sayıda - Cennetü'n-naîm, Adn, Firdevsi- isim mevcuttur. (Topaloğlu, 1993, s. 376) Çalışma kapsamımıza dahil ayetlerde ise şu isimlerle yer almaktadır:"

"Şüphesiz Allah'a karşı gelmekten sakınanlar için Rableri katında Naîm cennetleri vardır." (Kalem 68/34)

Kar: "çın saḳnuḳlarḳa biz sınadımız anlarnı neteg kim sınadımız uştmag iḍileri üskinda ni' metlıġ büstanlar." (Ünlü, 2004, s.243); Hrz: "Ḥakîḳat üze saḳınġanlarġa, İḍileri ḳatında ni'metlig büstanlar." (Sağol, 1993, s.446); (YÇT) "*tolı niʿmet uçmaḥları bar turur kim anıng ḳadrini meger Ḥaḳ teʻâlâ özini bilgey hîç kimning közi körmegey…Muḥammed aytur; ṣallallâhu ʻaleyhi ve selem: bizge behişt bolġusu turur anıng üçün…"* (Üşenmez, 2019, s.161).

"Cennetime gir." (Fecr 89/30).

Kar: "kirgil meniŋ uştmaḥımḳa." (Ünlü, 2004, s.275); Hrz: "Taḳı kirgil uçmaḳımġa." (Sağol, 1993, s.482); (YÇT) "… *ve kirgil cennetġa."* (Üşenmez, 2019, s. 370).

"İman edip salih ameller işleyenlere gelince; onlara içinden ırmaklar akan, cennetler vardır." *(Buruc 85/11)*

Kar: "yana anlar kim kertgündiler taḳı ḳıldılar eḍgülügler anlarḳa turur büstanlar aḳar anıŋ altınından arıḳlar ol turur ulug ḳurtulmak." (Ünlü, 2004, s.271); Hrz: "Ḥakiḳât üze anlar kim bittiler taḳı ḳıldılar eḍgü 'amellerni, anlarġa uçmaḳlar, aḳar altınından arıḳlar. Ol, uluġ zafer." (Sağol, 1993, s.477); *(YÇT) "Dürüstlıḳġa üze ol kimerseler kim îmân keltürüp éygü ʻameller ḳılup turur anlar üçün turur bûstânlar kim daraḫtları astından aḳa turur arıḳ." (*Üşenmez, 2019, *s.348).*

"Kim de, Rabbinin huzurunda duracağından korkar ve nefsini arzularından alıkoyarsa, şüphesiz, cennet onun sığınağıdır." (Nazi'ât 79/41).

Kar: "bütünlükün uştmaḫ ol turur sıġınġu yer." (Ünlü, 2004, s.264); Hrz: "Ḥaḳîḳat üze uçmaḳ, ol sıġınġu yir." (Sağol, 1993, s.469); (YÇT) "*Dürüstlıḳġa kim behişt turur anıng eylenip kélür yeni yani herkim öz nefsining hevâsını bıraḳıp Ḥaḳ sübhânehu ve teʻalâ fermânınġa boyun sünse uçmaḫ anın yeri bolġay…"* (Üşenmez, 2019*, s.308)*

"Cennet yaklaştırıldığı zaman." (Tekvir 81/13).

Kar: "ḳaçan uştmaḫ yaġu bolsa (Ünlü, 2004, s.266); Hrz: "taḳı ol vaḳtın uçmaḫ yawutuldı…"(Sağol, 1993, s.472); *(YÇT) "Ve ḳaçan behişt yavuḳlansa mü'minlerġa."* (Üşenmez, 2019, *s.323)*

"Onlar cennetlerdedirler.?" (Müddesir 74/40).

Kar: "…büstanlar içinde aytışurlar." (Ünlü, 2004, s.255); Hrz: "…uçmaḳlar içinde, soruşurlar." (Sağol, 1993, s.459); *(YÇT) "bolġaylar bu aṣḥâb-ı yemîn bûstânlarda."* (Üşenmez, 2019, *s.261)*

7.Resul

Resul, terim olarak Allah'ın emir ve yasaklarını yaratılanlara bildirmekle görevli kişidir. Çoğu İslam düşünürü peygamber anlamındaki resul ve nebi[15] kelimelerinin anlam alanlarının farklı olduğunu savunsa da Kur'an'da bu iki kelime arasında bir anlam ayrımı görülmemektedir (Karahan, 2024, s.67). ilk Türkçe Kuran çevirilerinde resul ve yalavaç ile karşılanan bu kelime, tefsirde peygamber ve resul kelimeleriyle karşılanmış; Hz. Muhammed'i veya kıssalarda adı geçen belirli bir peygamberi işaret eden özel bir isim olarak kullanılmıştır.

*"Öyle ki Rablerinin elçilerine[16] karşı geldiler…" (*Hakka 69/10).

[15] Çalışma kapsamındaki ayetlerde "nebi" ismi geçmemektedir.

[16] 10. âyetteki "resul" kelimsinin tekil olması her bir kavme gönderilmiş olan ayrı bir peygamberi ifade eder (İbn Âşûr, XXIX, 122)

Kar: “âsi boldılar iḍileri yalavaçıŋa tut(t)ı anları ḳatıg tutmaḳ âṣḳârâ.” (Ünlü, 2004, s.245); Hrz: “Yazdılar İḍilerining yalavaçınga, tuttı anları ḳatıġ tutmaḳ.” (Sağol, 1993, s.448); (YÇT) “*Pes fermânsızlıḳ ḳıldılar yiberilgenge perverdigârnıng, yani ḥuday tealânıng peyġamberi sözin almadılar ve ḥudâyġa bitmediler.” (*Üşenmez, 2019, s.182)

“ O (Kur'an), hiç şüphesiz çok şerefli bir elçinin (Allah'dan alıp tebliğ ettiği) sözüdür.”(Hâkka 69/40)

Kar: “kim bu aġırlıġ yalavaç sözi.” (Ünlü, 2004, s.246); Hrz: “Ḥakîḳat üze ol, kerîm yalavaçnıng sözi.” (Sağol, 1993, s.449); (YÇT) “*her âyine sözi turur yiberilgen resūlnıŋ.”* (Üşenmez, 2019, s. 196).

“(Ey Mekkeliler!) Şüphesiz biz size üzerinize şahitlik edecek bir peygamber gönderdik. Nitekim, Firavun'a da bir peygamber göndermiştik.” *(*Müzemmil 73/15).

Kar: “biz ıḍ<d>ımız silerke yalavaç tanuḳ silerniŋ üze andaġ kim ıḍ<d>ımız fır‘avn tapa yalavaç (Ünlü, 2004, s.253); Hrz: “Biz ıḍduḳ sizing tapa yalawaç, tanuḳ sizing üze, neteg kim ıḍduḳ Fır‘avn tapa yalawaç.” (Sağol, 1993, s.456); (YÇT) “*Rastlıḳ dürüstġa kim biz yiberdük sizning sarıġa ey Mekke ehli uluḳ peyġamber ya‘nî Muhammed Mustafa ṣallallâhu aleyhi ve selem sizning üze ḳıyâmet küninde güvâ. Neçük kim Fir‘avn sarıġa yiberdük Mûsânı ‘aleyhi’s-selâm resûllıḳġa.”* (Üşenmez, 2019, s.247).

“Ama Firavun o peygambere isyan etti…(Müzemmil 73/16).

Kar: “yazdı fır‘avn yalavaç tut(t)umız anı ḳatıg aġırlıġ.” (Ünlü, 2004, s.253); Hrz: “Taḳı yazdı Fır‘avn yalawaçġa taḳı tuttuḳ anı, ḳatıg tutmaḳ.” (Sağol, 1993, s.456); *(YÇT) “Pes fermândın boyun tolġap resûlġa îmân kéltürmedi.”* (Üşenmez, 2019, s.247).

“Kim Allah'a ve Resülüne karşı gelirse…(Cin 72/23).

Kar: “‘asi bolsa teŋriḳe resûlıŋa.” (Ünlü, 2004, s.251); Hrz: “kim yazsa Tangrıġa taḳı yalawaçınġa…” (Sağol, 1993, s. 455); *(YÇT) “*Ve *her kim érse günâhkâr bolġay fermânından boyun tolġaġay ḥudâydın ve resûl-i ḥudâydın…”* (Üşenmez, 2019, s.234).

Ayetde Resul kelimesi önceki peygamberleri de kapsamaktadır.

“Ancak seçtiği resüller başka.” (Cin72/ 27).

Kar: “meger anı kim taplasa yalavaçdın.” (Ünlü, 2004, s.252); Hrz: “Meger ol kim irseni <kim> razi boldı, yalavaçdın.” (Sağol, 1993, s. 455); (YÇT) “*Meger anga kim bégendi anı peyġamberlerdin kim bildürgey vaḥy birle ya ilhâm birlen…*” (Üşenmez, 2019, s. 235)

“Peygamberler için (ümmetlerine şahitlik etmek üzere) vakit belirlendiği zaman (kıyamet gerçekleşir).” (Mürselât 77/11).

Kar: “Ḳaçan yalavaç tirgürülse.” (Ünlü, 2004, s.259); Hrz: “ol vaḳtın kim yalavaçlar vaḳtları belgülüg ḳılındı.” (Sağol, 1993, s.464); (YÇT) *“Ḳaçan peyġamberler yıġılsalar…*” (Üşenmez, 2019, s.284)

Resul olarak Salih peygamber kasdedilmektedir.

“Allah'ın Resülü de onlara şöyle demişti…” (Şems 91/13).

Kar: “aydı anlarḳa taŋrı yalavaçı…” (Ünlü, 2004, s.276); Hrz: “Aydı anlarġa Tangrınıng resülı…” (Sağol, 1993, s.466); (*YÇT) “Pes aydı alarġa ḥudây tealanıng peyġamberi kim Ṣâliḥ érdi ıraḳ turung…*” (Üşenmez, 2019, s.376).

8.Küfr / inkar etmek

"Kur'an-ı Kerim genelinde küfür ve inkâr kavramı; yalnızca zihinsel bir reddediş değil, Yüce Yaratıcı'nın kâinata koyduğu delilleri, gönderdiği vahiyleri ve nimetleri kibirle yok sayıp üstünü örtmek olarak tanımlanır.” (Diyanet İşleri, Başkanlığı, 2006, Mülk Suresi 6. Ayet Tefsiri).

“Rablerini inkar edenler için cehennem azabı vardır. Ne kötü varılacak yerdir orası!” (Mülk 67/6).

Kar: “yme anlarḳa kim tandılar iḍilerinḫke tamu ḳını neme yawuz yanış.” (Ünlü, 2004, s.240); Hrz: “Taḳı anlarġa kim küfr ketürdiler İḍileringe, tamuġ ḳını Taḳı neme yawuz yanış!” (Sağol, 1993, s.443); (YÇT)” "…*ve ol kimerseler kim* ***kāfir boldılar*** *ḫudāy teʿālāġa munça delā'il ve tanuḳlarnı körüp alarġa turur dūzaḫ ve yaman yer turur ol yer kim alarnıŋ ḳaytışı ol yerge turur yaʿnī tamuġġa.*” Üşenmez, 2019, s. 129).

9.Mü’minîn / mü’minât

îmân “güven duygusu içinde tasdik etmek, inanmak” demektir. Terim olarak iman genellikle “Allah’tan alıp din adına tebliğ ettiği kesinlik kazanan hususlarda peygamberleri tasdik etmek ve onlara inanmak” diye tanımlanır.Bu inanca sahip kimseye mü’min denir (Yavuz, 2020, s. 119). Kelime erkek ve kadın Müslümanları ifade etmek için çoğul (mü’minîn / mü’minât) olarak ayette şöyle geçmektedir:

“Şüphesiz mü'min erkeklerle mü'min kadınlara işkence edip…” (Buruc 85/ 10).

Kar: “bütünlükün anlar kim küyürdiler mü 'mîn erenlerni mü 'mîn ḫatunlarnı…” (Ünlü, 2004, s.270); “Hrz: “Ḥakîḳat üze anlar kim fitne ḳıldılar mu'mın erenlerge taḳı mu'mıne tişilerge…” (Sağol, 1993, s.477); *(YÇT)* “*Dürüstlıḳġa kim ol kimerseler kim ʿaẕâb ḳıldılar mü’mim “erenlerni ve mü’mine ḫatunlarnı ve hendaḳġa saldılar alarnı.”* (Üşenmez, 2019, *s.349)*

10.Şirk / Ortak Koşmak

Sözlükte şirk “ortak olmak” ve “ortaklık” anlamına gelir. Terim olarak ise “Allah'ın zâtında, sıfatlarında, fiillerinde veya O'na ibadet edilmesinde ortağı, dengi yahut benzerinin bulunduğuna inanma” demektir. Tek Tanrı'ya inanmanın (tevhidin) tam zıddıdır (Sinanoğlu, 2010, s. 1).

“Artık Rabbimize hiç kimseyi asla ortak koşmayacağız." (Cin 72/2).

Kar: “yolçılayur köni yolḳa kertgündimiz aŋar, ortaḳ ḳatmas(-)miz iḍimizke kim(-) esreni…” (Ünlü, 2004, s.250); Hrz: “köndürür könilik tapa. Bittük anga. Taḳı ortaḳ ḳoşmaġay biz İḍimüzge, bir kim irse." (Sağol, 1993, s.454); (YÇT) “*...hergiz mundın soŋ* ***şirk keltürgenimiz yoḳ*** *öz ḫudāyımızġa.” (*Üşenmez, 2019, s. 224).

“… O'na hiç kimseyi ortak koşmam.” (Cin 72/20).

Kar: “ayġıl bütünlükün men oḳır men iḍimke ortaḳ ḳatmas(-)men aŋar kim esreni.” (Ünlü, 2004, s.251); Hrz: “Ayğıl: "Ḥaḳîḳat üze ḳulluḳ ḳılur men İḍimge taḳı ortaḳ ḳoşmaz men anga bir kim irse." (Sağol, 1993, s.455); (YÇT) “*...ve* ***ortaḳ keltürmem*** *öz ḫudāyımġa hīç kimni ve hīç nerseni.”* (Üşenmez, 2019, s. 233).

11.Tövbe

Arapça’da tevbe (tevb, metâb) “geri dönmek, rücû etmek, dönüş yapmak” anlamındadır ve “dinde yerilmiş şeyleri terkedip övgüye lâyık olanlara yönelme” biçiminde tanımlanır. Kur’ân-ı Kerîm’de tövbe kavramı altmış dokuz âyette seksen yedi defa geçmekte, otuz dört âyette elli bir defa Allah’a, diğerlerinde insanlara nisbet edilmektedir (Topaloğlu, 1998, s. 114).

“…sonra da tövbe etmeyenlere; cehennem azabı ve yangın azabı vardır.” (Buruc 85/10).

Kar: “bütünlükün anlar kim küyürdiler mü 'mîn erenlerni mü 'mîn ḫatunlarnı yana öknüp yanmadılar anlarḳa ol tamuġ ḳını anlarḳa örtegen ḳın.” (Ünlü, 2004, s.270); Hrz: “Ḥakîḳat üze anlar kim fitne ḳıldılar mu'mın erenlerge taḳı mu 'mıne tişilerge, andın song tevbe ḳılmadılar; anlarga tamuġ ḳını taḳı anlarġa ot ḳını.” (Sağol, 1993, s.477); (YÇT) “*Pes tevbe etmediler ve günâh u küfrdin ḳaytmadılar. Pes alarġa turur tamuġ azabı.”* (Üşenmez, 2019, s.348)

12. Ölüm ve Hayat Kavramı

Arapça'da mevt, vefât, helâk gibi kelimelerle ifade edilen ölüm hayâtın karşıtı olup sözlükte "hayatın sona ermesi" anlamına gelir (Gürkan, 2007, s. 434). Tefsirde bu kavram Türkçe kelimeyle karşılanmıştır.

"O, hanginizin daha güzel amel yapacağını sınamak için ölümü ve hayatı yaratandır…" (Mülk 67/ 2).

Kar: "ol iḍi yarat(t)ı ölümni tiriglikni belgürtgü üçün silerni silerde ḳayusı eḍgü işligrek ol turur küşüş örtgen" (Ünlü, 2004, s.240); Hrz: "Ol kim yarattı ölümni taḳı tiriglikni, munung üçün kimsınasa sizni, ḳayungız körklügrekiş yanından. Taḳı ol yinggen, yarlıḳaġan." (Sağol, 1993, s.443); (YÇT) "*Ol ḫuday kim yaratdı ölmeklikni ve tiriglikni tâ sınagay sizlerni*…" (Üşenmez, 2019, s.124).

SONUÇ

Yapılan incelemeler ve elde edilen veriler sonucunda; çalışmaya konu olarak seçilen kelimelerin Karahanlı ve Harezm Türkçesi Kur'an tercümelerinde tamamına yakını için Türkçe karşılıklar verildiği; Yakub-ı Çerhî tercümesinde ise - Allah lafzı "Allah" ve "hudāy"; Rabb kelimesi "Rabb", "ḫudāy Teʿālā", "ḫudāy" ve "Ḥaḳ Teʿālā"; kıyamet kelimesi "ḳıyāmet küni", "ayrılmaḳ küni" ve "cezâ küni"; hesap kelimesi "ḥesāb" ve "ḥesâb ḳılmak"; cehennem ve çeşitleri "duzah", "tamug" ve " tamuġ azabı ", "tamuġ otı", "yanar ot", "köydürgüçi ot"; cennet kelimesi "uçmaḫ", "behişt", "cennet" ve "büstan"; resul kelimesi, "peyġamber" ve "resūl"; küfür/inkar etmek kavramı "kafir bolmak"; müminîn/müminât kelimeleri "mü'min erenler" ve "mü'mine ḫatunlar"; şirk/ortak koşmak kavramı "şirk keltür-" ve "ortaḳ keltür-"; tövbe kelimesi "tövbe etmek"; ölüm ve hayat kelimeleri ise "ölmek" ve "tirilmek" olarak - Türkçe karşılıkların yanında Farsça ve Arapça kökenli kelimelerin de tercih edildiği tespit edilmiştir.

Çalışmamız Fâtiha suresi ile 29. ve 30. cüzlerle (Mekkî dönem ağırlıklı metinler) sınırlandırıldığından, elde edilen bulgular incelenen kavramların Kur'an'ın tamamındaki karşılıklarını kapsamamaktadır."

KAYNAKÇA

Ata, A. (2004). *Türkçe ilk Kur'an tercümesi (Rylands nüshası): Karahanlı Türkçesi (Giriş-Metin-Notlar-Dizin)*. Türk Dil Kurumu Yayınları.

Caferoğlu, A. (2000). *Türk dili tarihi I-II*. Enderun Kitabevi.

Canatan, K. (2019). Erken Mekkî surelerde 'Tanrı tasavvuru' üzerine bir inceleme. *Eskiyeni*, (38), 77-102. https://izlik.org/JA39ZU34DD

Diyanet İşleri Başkanlığı. (2006). *Mülk suresi 6. ayet tefsiri*. Kur'an Yolu Türkçe Meal ve Tefsiri. Erişim tarihi: 5 Ekim 2026, diyanet.gov.tr

Diyanet İşleri Başkanlığı. (y.o.). *Kur'an-ı Kerim portalı*. Kur'an-ı Kerim Meali. Erişim tarihi: 4 Ekim 2026, diyanet.gov.tr

Eckmann, J. (2014). Doğu Türkçesinde bir Kur'an çevirisi (Rylands nüshası). O. F. Sertkaya (Haz.), *Harezm, Kıpçak ve Çağatay Türkçesi üzerine araştırmalar* içinde (ss. 254-272). Türk Dil Kurumu Yayınları.

Gürkan, S. L. (2007). Ölüm: Dinler tarihi. TDV İslâm Ansiklopedisi (Cilt 34, ss. 434-437). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

Harman, Ö. F. (1993). Cehennem. *TDV İslâm Ansiklopedisi* içinde (Cilt 7, ss. 225-233). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

Hökelekli, H. (2007). Ölüm. *TDV İslâm Ansiklopedisi* içinde (Cilt 34, ss. 434-437). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

İnan, A. (1991). *Makaleler ve incelemeler (Cilt II)*. Türk Tarih Kurumu Yayınları.

Karahan, A. (2017). Karahanlı dönemi Türkçe Kur'an çevirilerinde Allah'ın ad ve sıfatları hakkında. *Türklük Bilimi Araştırmaları*, (41), 127-156.

Karahan, A. (2024). İlk Türkçe Kur'an çevirilerinde peygamber kavramını karşılayan sözler. A. Akpınar (Ed.), *Tarihî Türkçe Kur'an tercümeleri üzerine araştırmalar* içinde (ss. 59–93). Kriter Yayınevi.

Kaya, M. (2023). Kur'ân-ı Kerîm'de "cehennem" kavramı. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 3(5), 112-125.

Kök, A. (2004). *Karahanlı Türkçesi satır-arası Kur'an tercümesi (TİEM 73 1v-235v/2) giriş-inceleme-metin-dizin* (Yayımlanmamış doktora tezi). Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Kök, A. (2013). Doğu Türkçesi ilk Kur'an çevirilerinde türlü 'cehennemler' üzerine. *VI. Uluslararası Türk Dil Kurultayı Bildirileri (20-25 Ekim 2008)* içinde (ss. 2919–2948). Türk Dil Kurumu Yayınları.

Küçük, S. (2019). Doğu ve batı Türkçesi satır altı Kur'an tercümelerinde kıyamet günü kavramı için kullanılan ad aktarmaları. *Dede Korkut Uluslararası Türk Dili ve Edebiyatı Araştırmaları Dergisi*, 8(18), 71–89.

Mobinyar, M. T. (2024). Yakub-ı Çerhi ve Tefsir-i Yakub-ı Çerhî adlı tefsiri üzerine inceleme. *GİBTÜ İslami Araştırmalar Dergisi*, 5(2), 55-81.

Sağol, G. (1993). *Harezm Türkçesi satır arası Kur'an tercümesi (Giriş-Metin-Sözlük) I-II* (Yayımlanmamış doktora tezi). Marmara Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü, İstanbul.

Sinanoğlu, M. (2010). Şirk. *TDV İslâm Ansiklopedisi* içinde (Cilt 39, ss. 1-4). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

Şahin, M. S. (1993). Cennet. *TDV İslâm Ansiklopedisi* içinde (Cilt 7, ss. 374-376). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

Topaloğlu, B. (1989). Allah. *TDV İslâm Ansiklopedisi* içinde (Cilt 2, ss. 471-482). TDV İslâm Araştırmaları Merkezi. Erişim tarihi: 4 Eylül 2026

Topaloğlu, B. (1993). Cehennem. *TDV İslâm Ansiklopedisi* içinde (Cilt 7, ss. 225-233). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

Topaloğlu, B. (1993). Cennet. *TDV İslâm Ansiklopedisi* içinde (Cilt 7, ss. 376-386). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

Topaloğlu, B. (1998). Tövbe. ***TDV İslâm Ansiklopedisi*** (Cilt 41, ss. 114-116). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

Tunç, G. (2023). Kur'ân-ı Kerîm'de "cehennem" kavramı. *EKEV Akademi Dergisi*, (95), 94-108. https://doi.org/10.17753/sosekev.1277301

Ünlü, S. (2004). *Karahanlı Türkçesi satır-arası Kur'an tercümesi (TİEM 73 235v/3-450r/7) giriş-metin-inceleme-analitik dizin* (Yayımlanmamış doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Üşenmez, E. (2014). XVI. yüzyıl doğu Türkçesi ile yazılmış bir Kuran tefsiri: Tercüme-i tefsir-i Yakub-i Çerhî (H. 993/M. 1585). *Uluslararası Türkçe Edebiyat Kültür Eğitim Dergisi*, 3(1), 167–190.

Üşenmez, E. (Haz.). (2019). *Çağatay Türkçesi Kur'an tefsiri: Tercüme-i Tefsîr-i Ya'kūb-i Çerhî, H. 993/M. 1585 (Giriş-Gramer-Metin-Dizin-Tıpkıbasım)*. Bilge-Türk Yayınları.

Yavuz, Y. Ş. (1998). Hesap: Ahirette. *TDV İslâm Ansiklopedisi* içinde (Cilt 17, ss. 240-244). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

Yavuz, Y. Ş. (2020). Mümin. TDV İslâm Ansiklopedisi (Cilt 32, ss. 119-122). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

Yüksel, E. (1998). Hesap. *TDV İslâm Ansiklopedisi* içinde (Cilt 17, ss. 240). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

MÜZE TURİZMİNİN GELİŞİMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ: ESKİŞEHİR ODUNPAZARI ÖRNEĞİ

Serenay ÇAĞLAR
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0000-4910-5207

Burcu GÖKÖZKUT
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü
ORCID: 0000-0002-2214-8327

ÖZET
Müzeler, kültürel mirasın korunması ve gelecek kuşaklara aktarılmasının yanı sıra eğitim, kültürel iletişim, kent imajı ve turizm açısından da önemli işlevler üstlenen kurumlardır. Bu çalışma, Eskişehir'in Tarihi Odunpazarı Bölgesi'nde müze turizminin gelişimini ve sürdürülebilirlik boyutlarını incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırmada nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde örnek olay (durum) çalışması deseni benimsenmiştir. Çalışma alanı Odunpazarı kentsel sit alanı; örneklem ise farklı müzecilik ve ziyaretçi deneyimi biçimlerini temsil eden Odunpazarı Modern Müze (OMM), Yılmaz Büyükerşen Balmumu Heykeller Müzesi ve Çağdaş Cam Sanatları Müzesi olarak belirlenmiştir. Veri toplama sürecinde saha gözlemleri ve araştırmacı fotoğrafları ile kurumsal dokümanlar, resmi internet sayfaları, yerel yönetim verileri ve hakemli akademik çalışmalar birlikte değerlendirilmiştir. Bulgular, Odunpazarı'ndaki müzelerin tarihî çevreyle bütünleşerek destinasyon çekiciliğini çeşitlendirdiğini; çağdaş sanat, popüler kültür ve geleneksel/uygulamalı sanat eksenlerinde farklı ziyaretçi profillerine hitap ettiğini göstermektedir. Buna karşılık ziyaretçi yoğunluğunun yönetimi, tarihî dokunun özgünlüğünün korunması, yerel halkın süreçlere katılımı, erişilebilirlik, dijitalleşme ve müzeler arası koordinasyon sürdürülebilirlik açısından geliştirilmesi gereken alanlar olarak öne çıkmaktadır. Çalışma, Odunpazarı'nda müze turizminin yalnızca ziyaretçi sayısını artırmaya dayalı değil; koruma-kullanma dengesi, yerel fayda ve nitelikli ziyaretçi deneyimi temelinde yönetilmesi gerektiği sonucuna ulaşmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Müze turizmi, sürdürülebilir turizm, kültür turizmi, Odunpazarı,Eskişehir.

THE DEVELOPMENT AND SUSTAINABILITY OF MUSEUM TOURISM: THE CASE OF ODUNPAZARI, ESKİŞEHİR

ABSTRACT
Museums are institutions that play significant roles not only in preserving cultural heritage and transmitting it to future generations, but also in education, cultural communication, urban image and tourism. This study aims to examine the development and sustainability dimensions of museum tourism in the Historical Odunpazarı District of Eskişehir. A qualitative case study design was adopted. The study area consists of the Odunpazarı urban conservation area, while the sample includes three museums representing different forms of museology and visitor experience: Odunpazarı Modern Museum (OMM), Yılmaz Büyükerşen Wax Museum, and the Museum of Contemporary Glass Art. Data were obtained through field observation and researcher photographs, complemented by institutional documents, official web pages, local government data, and peer-reviewed academic literature.

Findings indicate that museums in Odunpazarı diversify destination attractiveness by integrating with the historical environment and appealing to different visitor profiles through contemporary art, popular culture, and traditional/applied arts. However, visitor-flow management, preservation of the historical fabric, participation of local residents, accessibility, digitalization, and inter-museum coordination remain important areas for sustainability. The study concludes that museum tourism in Odunpazarı should be managed not merely through visitor growth, but through a balance between conservation and use, local benefit, and high-quality visitor experience.
Keywords: Museum tourism, sustainable tourism, cultural tourism, Odunpazarı, Eskişehir.

1. GİRİŞ

Kültür turizmi, ziyaretçilerin bir destinasyonun tarihini, sanatını, yaşam biçimini, somut ve somut olmayan mirasını tanıma isteğiyle şekillenen önemli turizm türlerinden biridir. Güncel literatür, kültür turizminin yalnızca anıtlar ve tarihî yapılarla sınırlı olmadığını; çağdaş sanat, yaratıcı endüstriler, gündelik yaşam kültürü ve deneyim odaklı tüketim biçimleriyle giderek çeşitlendiğini ortaya koymaktadır (Richards, 2018). Dünya Turizm Örgütü de kültür ile turizm arasında karşılıklı bir etkileşim bulunduğunu ve kültür turizminin destinasyonların farklılaşmasında ve yerel kalkınmada önemli bir araç olduğunu vurgulamaktadır (UNWTO, 2018). Müzeler, bu etkileşimin merkezinde yer alan kurumlardandır. Kültür turizminin önemli çekicilik unsurlarından biri olmalarının yanı sıra destinasyonların ziyaretçi sayısını ve turizm gelirlerini artırabilecek kültürel kaynaklar arasında da yer almaktadırlar (Kervankıran, 2014). Bununla birlikte müze kavramı tarihsel süreç içerisinde önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Geleneksel müzecilikte temel vurgu koleksiyonların toplanması, korunması ve sergilenmesi üzerindeyken günümüzde müzeler; eğitim, katılım, kapsayıcılık, toplumsal bellek ve sürdürülebilirlik gibi çok boyutlu işlevlerle tanımlanmaktadır. Uluslararası Müzeler Konseyi'nin 2022 yılında kabul ettiği tanımda müze; somut ve somut olmayan mirası araştıran, toplayan, koruyan, yorumlayan ve sergileyen; topluma hizmet eden, erişilebilir, kapsayıcı, çeşitliliği ve sürdürülebilirliği destekleyen kalıcı ve kâr amacı gütmeyen bir kurum olarak ele alınmaktadır (ICOM, 2022). Bu tanım, çağdaş müzeciliğin eser merkezli bir yaklaşımdan ziyaretçi, toplum ve katılım odaklı bir anlayışa yöneldiğinin kurumsal düzeyde de kabul edildiğini göstermektedir. Benzer biçimde UNESCO da müzeleri kültürel çeşitliliğin korunması, yaşam boyu öğrenme, toplumsal uyum ve sürdürülebilir kalkınmanın yanı sıra yaratıcı endüstriler ile turizm ekonomisini destekleyebilecek önemli aktörler olarak görmektedir (UNESCO, 2015).

Müze turizminin gelişimi, ziyaretçilerin seyahat motivasyonlarındaki ve müzelerin ziyaretçiyle kurduğu ilişkideki değişimle yakından ilişkilidir. Ziyaretçinin pasif bir izleyici olarak kabul edildiği geleneksel sergileme biçimleri yerini etkileşimli, deneyimsel ve dijital uygulamalara bırakmakta; bu uygulamalar müze deneyimini fiziksel ziyaretin öncesine ve sonrasına taşımaktadır. Günümüzde ziyaretçiler yalnızca koleksiyonları görmek değil, mekânı deneyimlemek, hikâyelerle bağ kurmak ve ziyaret ettikleri kültürel çevreyle bütüncül bir deneyim yaşamak istemektedir. Falk ve Dierking'in (2016) bağlamsal öğrenme modeli de müze deneyimini kişisel, sosyo-kültürel ve fiziksel bağlamların etkileşimiyle açıklamaktadır. Bu yaklaşım, başarılı müze yönetiminin koleksiyon kalitesinin yanında yönlendirme, erişilebilirlik, mekânsal konfor ve anlatı tasarımı gibi unsurları da kapsayan bütüncül bir deneyim anlayışı gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Kültür turizminin somut miras odaklı bir yapıdan deneyim, yaratıcılık ve somut olmayan kültürel unsurları daha fazla içeren bir yapıya evrilmesi (Richards, 2018), müzeleri de yalnızca koleksiyon sergileyen kurumlar olmaktan çıkarıp kültürel deneyim üreten destinasyon aktörlerine dönüştürmektedir.

Bu nedenle müzeler ile turizm arasındaki ilişki çift yönlüdür: Müzeler destinasyonun kültürel çekiciliğini artırırken, turistik talep de müzelerin görünürlüğünü, gelir kaynaklarını ve program çeşitliliğini etkilemektedir. Müzeler ayrıca konaklama, yeme-içme, ulaşım ve perakende gibi sektörlerle bağlantılı ekonomik etkiler yaratabilmekte; özellikle tarihî kent merkezlerinde ziyaretçilerin alanda daha uzun süre kalmasına katkı sağlayabilmektedir. Ancak turistik talebin baskın hâle gelmesi, müzenin bilimsel ve kamusal işlevlerinin ikincilleşmesi riskini doğurabildiği gibi aşırı ziyaretçi yoğunluğu, tarihî çevre üzerinde baskı, ticarileşme ve özgünlüğün zayıflaması gibi sorunlara da yol açabilir. Kültürel miras turizmi literatüründe koruma, yönetim, yorumlama ve özgünlük konuları bu nedenle temel tartışma alanları arasında yer almaktadır (Timothy & Boyd, 2003). Kültürel miras ile turizm arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar da yerel paydaşların katılımının ve faydanın yerel topluma yansımasının sürdürülebilirliğin temel koşulları arasında olduğunu vurgulamaktadır (Aas vd., 2005).

Bu değerlendirmeler, müze turizmini sürdürülebilirlik kavramıyla doğrudan ilişkilendirmektedir. Sürdürülebilir turizm ise 1990'ların başında turizm sektörü, ziyaretçiler, çevre ve ev sahibi topluluklar arasındaki gerilimleri azaltmayı amaçlayan, gelişmekte olan küresel bir yaklaşım olarak tanımlanmıştır (Bramwell ve Lane, 1993). Kavramın kapsamına ve uygulanabilirliğine ilişkin farklı tanımlar ve eleştiriler bulunmakla birlikte (Butler, 1999; Liu, 2003), sürdürülebilir turizmin tek tip bir reçete değil, her destinasyonun koşullarına göre uyarlanması gereken esnek bir yaklaşım olduğu vurgulanmaktadır (Hunter, 1997). Uluslararası düzeyde en yaygın kabul gören tanıma göre sürdürülebilir turizm, ziyaretçilerin, turizm sektörünün, çevrenin ve ev sahibi toplulukların ihtiyaçlarını gözeterek mevcut ve gelecekteki ekonomik, sosyal ve çevresel etkilerini bütünüyle dikkate alan turizmdir (UNEP ve UNWTO, 2005, 11–12). Bu yaklaşım, ev sahibi toplulukların sosyokültürel özgünlüğüne saygı gösterilmesini ve yapılı ve yaşayan kültürel mirasın korunmasını da sürdürülebilirliğin temel ilkeleri arasında saymaktadır (UNEP ve UNWTO, 2005).

Müze turizminde sürdürülebilirlik; koleksiyonların ve tarihî yapıların korunması, kaynak kullanımının azaltılması, ziyaretçi yoğunluğunun yönetilmesi, erişilebilirliğin geliştirilmesi ve turizm gelirlerinin yerel düzeyde fayda üretmesi gibi boyutları kapsamaktadır. Sürdürülebilirliğin ICOM'un 2022 tanımında müze kavramının içine doğrudan dâhil edilmesi, bu yaklaşımın artık bir tercih olmanın ötesinde kurumsal bir sorumluluk olarak görüldüğünü göstermektedir (ICOM, 2022). Kurum düzeyinde ise Guliyeva ve Özel (2025), sergi işlevinin yanı sıra kafe, müze mağazası ve sosyal etkileşim alanları gibi tamamlayıcı mekânlara yer veren müzelerin hem ziyaretçi çekiciliklerini artırdığını hem de ekonomik ve finansal sürdürülebilirliklerine katkı sağladığını belirtmektedir. Bu çerçevede sürdürülebilir müze turizmi, ziyaretçi sayısının sürekli artırılmasından ziyade ziyaretçi deneyiminin niteliğine ve destinasyonun taşıma kapasitesine odaklanmalıdır.

Anadolu'nun farklı uygarlıklara ev sahipliği yapmış olması Türkiye'ye zengin bir müze potansiyeli kazandırmıştır. Son yıllarda kent müzeleri, tematik müzeler, özel sanat müzeleri ve deneyim odaklı yeni müzecilik biçimlerinin çeşitlenmesi, müze turizminin yalnızca büyük arkeoloji müzeleri üzerinden değil, yerel kimliği ve çağdaş kültürel üretimi görünür kılan çok sayıda kurum üzerinden gelişmesine olanak sağlamaktadır. Eskişehir ise, son yıllarda kent kimliğini kültür, sanat ve müzecilik yatırımlarıyla görünür kılan kentlerden biridir. Tarihî Odunpazarı Bölgesi ise geleneksel konut dokusu, dar sokakları, el sanatları ve farklı temalara sahip müzeleriyle bu dönüşümün en yoğunlaştığı alandır. Bölgedeki müzelerin birbirine yürüme mesafesinde bulunması, alanın tekil bir müze ziyareti yerine bir ‘müze rotası’ veya ‘kültür bölgesi’ olarak deneyimlenmesini mümkün kılmakta ve ziyaretçiyi gastronomi, el sanatları ve alışveriş gibi tamamlayıcı faaliyetlere yönlendirmektedir.

Odunpazarı'ndaki turizm etkilerini ele alan Coşkun ve Okuyucu (2022a), yerel halkın kültürel mirasın korunmasına ve turizmin etkilerine ilişkin algılarının genel olarak olumlu olduğunu belirlemiştir. Aynı araştırmacıların işletmecilerle yürüttüğü nitel çalışma da turizmin ekonomik gelişime ve kültürel mirasın korunmasına katkı sağladığı yönündeki görüşlerin öne çıktığını göstermektedir (Coşkun & Okuyucu, 2022b). Bu sonuçlar, Odunpazarı'nda sürdürülebilir turizmin yalnızca fiziksel mirasın korunması olarak değil, yerel paydaşların desteği ve katılımıyla birlikte düşünülmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, Eskişehir Odunpazarı örneğinde müze turizminin gelişimini incelemek ve üç farklı müze üzerinden bölgedeki müzecilik faaliyetlerini sürdürülebilir turizm perspektifiyle değerlendirmektir. Bu doğrultuda şu sorulara yanıt aranmıştır: (1) Odunpazarı'ndaki müzeler destinasyonun turistik çekiciliğine nasıl katkı sağlamaktadır? (2) İncelenen müzelerin tarihî doku ve kent kimliğiyle kurduğu ilişki hangi özellikleri göstermektedir? (3) Müze turizminin sürdürülebilirliği açısından öne çıkan fırsatlar ve sorun alanları nelerdir?

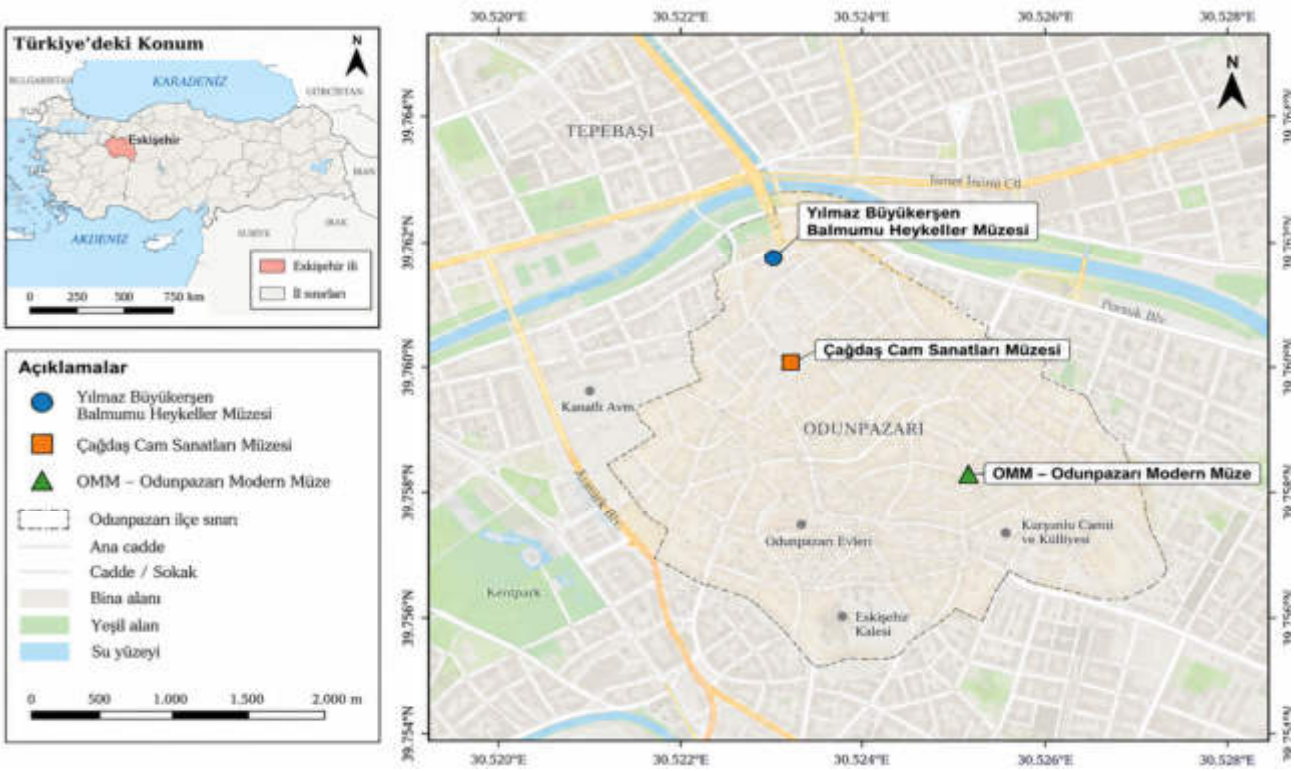
2. YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Deseni

Bu araştırmada nitel araştırma yaklaşımı kapsamında örnek olay (durum) çalışması deseni benimsenmiştir. Durum çalışması, güncel bir olgunun kendi gerçek yaşam bağlamı içerisinde ve birden fazla veri kaynağından yararlanılarak derinlemesine incelenmesine olanak sağlayan bir araştırma stratejisidir (Yin, 2018). Çalışmada Odunpazarı'ndaki müzeleşme, turistik çekicilik ve sürdürülebilirlik olguları belirli bir mekânsal bağlam ve seçilmiş müzeler üzerinden ele alınmıştır.

2.2. Araştırma Alanı ve Örneklem

Araştırmanın çalışma alanını Eskişehir'in Tarihi Odunpazarı Bölgesi oluşturmaktadır. Alan, geleneksel konut dokusu, kültürel miras unsurları ve yoğunlaşmış müze varlığı nedeniyle amaçlı olarak seçilmiştir. Örneklem, müzecilik yaklaşımı ve ziyaretçi deneyimi bakımından farklılaşan üç müzeden oluşmaktadır: Odunpazarı Modern Müze (modern ve çağdaş sanat), Yılmaz Büyükerşen Balmumu Heykeller Müzesi (popüler kültür ve deneyim odaklı müzecilik) ve Çağdaş Cam Sanatları Müzesi (uygulamalı sanat ve cam sanatı(Şekil 1). Bu seçim, tek bir müzecilik türü yerine farklı içerik ve deneyim biçimlerinin karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmesini amaçlamaktadır.



Şekil 1: Eskişehir Odunpazarı özel müzelerin konumu

2.3. Veri Toplama Araçları ve Süreci

Araştırmada veri çeşitliliğini artırmak amacıyla iki temel veri kaynağı kullanılmıştır. Birincil veri kaynağını Eylül 2026 döneminde Odunpazarı'nda gerçekleştirilen saha gözlemleri ve araştırmacı tarafından çekilen fotoğraflar oluşturmaktadır. Gözlemlerde tarihî çevrenin fiziksel yapısı, müzelerin konumları, yaya hareketliliği, ticari kullanım, yönlendirme ve ziyaretçi deneyimine ilişkin mekânsal unsurlar dikkate alınmıştır. İkincil veri kaynağını ise müzelerin ve yerel yönetimlerin resmi internet sayfaları, kurumsal tanıtım metinleri, belediye veriler olmak üzere ilgili konu üzerine yapılan literatür değerlendirmesine dayanmaktadır. Veri kaynaklarının birlikte kullanılması, bulguların farklı kanıtlardan yararlanılarak değerlendirilmesine imkân vermiştir.

2.4. Verilerin Analizi

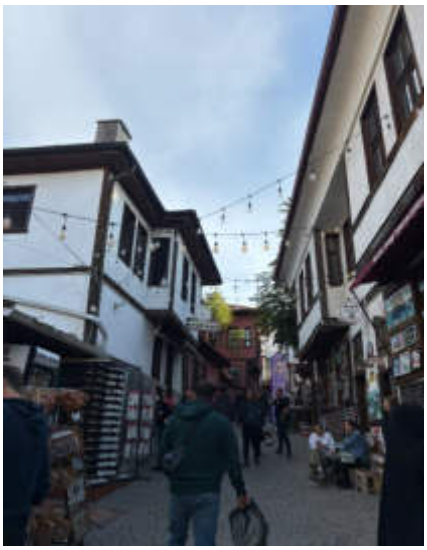
Saha fotoğrafları ve gözlem notları, araştırmanın amacı doğrultusunda betimsel analiz yaklaşımıyla incelenmiştir. Bu kapsamda tarihî doku, mekânsal özellikler, turistik kullanım biçimleri ve ziyaretçi deneyimine ilişkin gözlemler değerlendirilmiştir. Doküman ve literatür verileri ise müze turizminin gelişimi ve sürdürülebilirliğine ilişkin temel konular çerçevesinde tematik olarak sınıflandırılmıştır. Elde edilen veriler, araştırma kapsamında ele alınan müzelerin özellikleri, ziyaretçi deneyimleri, turizme katkıları ve sürdürülebilirlik açısından ortaya koydukları farklılıklar dikkate alınarak karşılaştırmalı biçimde yorumlanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Saha gözlemleri, Odunpazarı'nın müze turizmi açısından en belirgin avantajlarından birinin tarihî doku ile kültürel işlevlerin mekânsal olarak iç içe geçmiş olması olduğunu ortaya koymaktadır. Geleneksel konutlar, dar ve kıvrımlı sokaklar, küçük ölçekli ticari işletmeler, el sanatı atölyeleri ve müzeler, yaya ölçeğinde birbirini tamamlayan bütünleşik bir turistik çevre oluşturmaktadır.

Bu mekânsal kurgu, müze ziyaretini yalnızca iç mekâna yönelik bir etkinlik olmaktan çıkarmakta; sokak dokusu, mimari, alışveriş ve gastronomi deneyimleriyle bütünleşen çok katmanlı bir kültürel deneyime dönüştürmektedir.

Bununla birlikte, turistik kullanımların tarihî çevrede yoğunlaşması, sürdürülebilirlik açısından dikkatle yönetilmesi gereken bir süreçtir. Odunpazarı'ndaki dar sokak kesitleri (Şekil 1ve 2), bir yandan geleneksel mimari ölçeği ve yaya deneyimini yansıtırken, diğer yandan ticari tabelaların, açık oturma alanlarının, dekoratif unsurların ve ziyaretçi yoğunluğunun sınırlı bir mekânda üst üste bindiğini göstermektedir (Şekil 3 ve 4). Bu durum, tarihî çevrenin canlılığını desteklemekle birlikte; görsel bütünlüğün korunması, yaya konforunun sağlanması ve taşıma kapasitesinin gözetilmesi bakımından planlama gereksinimini beraberinde getirmektedir.

Şekil 2 ve 3: Tarihi Odunpazarı sokak dokusundan görünüm (Eylül, 2026).




Şekil 4 ve 5: Tarihi Odunpazarı sokak dokusundan görünüm (Eylül, 2026).

3.1. Odunpazarı Modern Müze (OMM): Çağdaş Mimari ve Yeni Kültürel Çekicilik

Odunpazarı Modern Müze (OMM), tarihî Odunpazarı dokusu içinde çağdaş sanat ile çağdaş mimariyi bir araya getiren özgün bir örnektir. Müzenin resmî tanıtımında OMM'nin Türkiye'den ve dünyadan modern ve çağdaş sanat eserlerini bir araya getiren bir kültür-sanat platformu olduğu ve binanın Kengo Kuma and Associates tarafından tasarlandığı belirtilmektedir (OMM, 2026a). Müzenin mimari tasarımı, Odunpazarı'nın tarihî dokusunu ahşap malzeme, katmanlanma ve ışık kullanımı üzerinden çağdaş bir yorumla ilişkilendirmektedir (OMM, 2026b). Guliyeva ve Özel (2025) de OMM'nin geleneksel ve modern unsurları buluşturan mimarisini, farklı sanat akımlarına yer veren sergileme yaklaşımını ve ziyaretçiye sunduğu etkileşimli deneyimleri öne çıkararak müzeyi günümüz müzeciliğinin dikkat çekici örnekleri arasında değerlendirmektedir.

Bu özellikler, OMM'yi yalnızca sergilenen koleksiyon üzerinden değil, mimari yapının kendisi üzerinden de turistik bir çekicilik unsuruna dönüştürmektedir. Müze, geleneksel çevre içinde yeni bir kültürel odak oluştururken tarihî bölgenin kültür turizmi profilini çağdaş sanatla çeşitlendirmektedir. Bu durum, Richards'ın (2018) kültür turizminin yaratıcı ve çağdaş kültürel üretimlerle genişlediği yönündeki değerlendirmesiyle örtüşmektedir.

Sürdürülebilirlik açısından OMM'nin güçlü yönlerinden biri, tarihi taklit etmeyen ancak yerin malzeme ve ölçek özelliklerine gönderme yapan mimari yaklaşımıdır. Bununla birlikte, ulusal ve uluslararası ölçekte görünürlük kazanmış bir müzenin popülerliği, özellikle yoğun dönemlerde ziyaretçi hareketlerini dar tarihî sokaklara yönlendirebilmektedir. Bu nedenle yaya dolaşımının, toplu ulaşım bağlantılarının, yönlendirme sistemlerinin ve yoğun ziyaret dönemlerinin alanın bütünü ölçeğinde yönetilmesi önem taşımaktadır.





Şekil 6 ve 7: Odunpazarı Omm Müzesi giriş kısmından bir fotoğraf (Eylül, 2026).



Şekil 8: Odunpazarı Omm Müzesi içinden bir fotoğraf (Eylül, 2026).

3.2. Yılmaz Büyükerşen Balmumu Heykeller Müzesi: Popüler Kültür ve Deneyim Odaklı Ziyaret

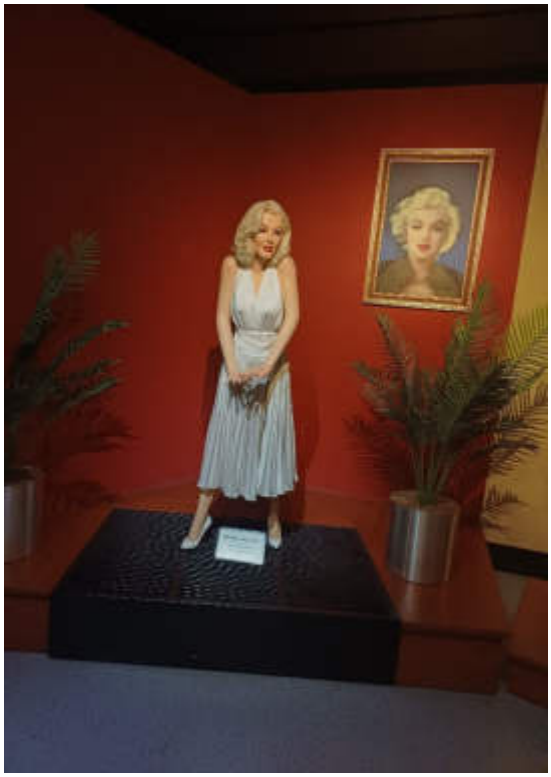
Yılmaz Büyükerşen Balmumu Heykeller Müzesi, 19 Mayıs 2013 tarihinde ziyarete açılmıştır. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi verilerine göre müzede tarihî kişiliklerin yanı sıra yerli ve yabancı tanınmış kişilerin yüzlerce balmumu heykeli sergilenmekte olup müze, 2024 yılı başına kadar üç milyonu aşkın ziyaretçi ağırlamıştır (Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, 2026a). Bu veri, müzenin kent turizmi içindeki yüksek görünürlüğünü ve kitlesel çekim gücünü ortaya koymaktadır.

Balmumu müzesindeki ziyaret deneyimi, klasik eser incelemesinden farklı olarak tanıdık kişiliklerle görsel karşılaşma ve fotoğraf üretimi üzerine kuruludur. Bu deneyim biçimi, ziyaretçinin aktif katılımını desteklemekte ve deneyimin sosyal medya aracılığıyla yeniden üretilmesini kolaylaştırmaktadır. Falk ve Dierking'in (2016) vurguladığı üzere müze deneyimi ziyaretçinin kişisel ilgileri ve sosyal bağlamıyla şekillendiğinden, popüler kültür figürleri farklı ziyaretçi grupları için erişilebilir bir başlangıç noktası oluşturabilmektedir.

Müzenin yüksek ziyaretçi sayısı, sürdürülebilirlik açısından hem bir fırsat hem de bir yönetim sorumluluğu doğurmaktadır. Yoğun talep, çevredeki işletmeler için ekonomik hareketlilik sağlayabilmekle birlikte; dar sokaklarda yığılma, sıra yönetimi, iç mekân kapasitesi ve ziyaret kalitesinin korunması gibi sorunları da gündeme getirmektedir. Bu nedenle yüksek talebin yalnızca bir başarı göstergesi olarak değil, taşıma kapasitesi ve ziyaretçi yönetimi açısından da sistematik biçimde izlenmesi gerekmektedir.



Şekil 9: Odunpazarı Balmumu Müzesi içinden bir fotoğraf (Eylül, 2026).





Şekil 10 ve11: Odunpazarı Balmumu Müzesi içinden bir fotoğraf (Eylül ,2026).

3.3 Çağdaş Cam Sanatları Müzesi: Yerel Sanat Üretimi ve Kültürel Süreklilik

Çağdaş Cam Sanatları Müzesi, 1 Aralık 2007'de ziyarete açılmış olup Türkiye'nin ilk çağdaş cam sanatları müzesi olarak tanımlanmaktadır. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, Anadolu Üniversitesi ve Cam Dostları Grubu'nun iş birliğiyle kurulan müze, ulusal ve uluslararası sanatçılara ait, farklı tekniklerle üretilmiş cam eserleri üç salonda ziyaretçilerle buluşturmaktadır (Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, 2026b; Eskişehir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2026).

Müzenin önemi, yalnızca koleksiyonunu sergilemesinden değil, Eskişehir'in cam sanatı ve yaratıcı üretimle kurduğu ilişkiyi görünür kılmasından kaynaklanmaktadır. Cam sanatının malzeme, ışık ve zanaat boyutları, ziyaretçiye hem estetik bir deneyim hem de üretim süreçlerine ilişkin bir öğrenme olanağı sunmaktadır. Bu yönüyle müze, kültürel mirasın durağan bir geçmiş anlatısı olarak değil, yaşayan ve yeniden üretilebilen bir kültürel pratik olarak aktarılmasına katkı sağlamaktadır.

Çağdaş Cam Sanatları Müzesi'nin kent müzeleri kompleksi içindeki konumu, farklı müzelerin aynı alanda birbirini tamamlayacak biçimde ziyaret edilmesine olanak tanımaktadır. Bu müze kümelenmesi, ziyaretçinin bölgede kalış süresini artırma potansiyeli taşıyan önemli bir avantajdır. Söz konusu avantajın sürdürülebilir bir destinasyon ürününe dönüşebilmesi için ortak bilet, ortak yönlendirme, tematik yürüyüş rotaları ve dijital ziyaret planlayıcıları gibi bütünleşik uygulamaların geliştirilmesi önem taşımaktadır.



Şekil 12: Odunpazarı Çağdaş Cam Sanatları Müzesi dışarıdan bir fotoğraf (Eylül, 2026).



Şekil 13: Odunpazarı Çağdaş Cam Sanatları Müzesi içinden bir fotoğraf (Eylül, 2026).



Şekil 14: Odunpazarı Çağdaş Cam Sanatları Müzesi içinden bir fotoğraf (Eylül ,2026).

3.4. Üç Müzenin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

İncelenen üç müze, Odunpazarı'ndaki müze turizminin tek tip bir yapı göstermediğini ortaya koymaktadır. OMM çağdaş sanat ve mimariyi öne çıkarırken, Balmumu Heykeller Müzesi popüler kültür ve fotoğraf temelli deneyim üzerinden geniş kitlelere ulaşmakta; Çağdaş Cam Sanatları Müzesi ise uygulamalı sanat, zanaat ve kültürel üretim ilişkisini güçlendirmektedir. Bu çeşitlilik, farklı yaş, eğitim, ilgi ve motivasyona sahip ziyaretçilerin aynı destinasyon içinde kendilerine uygun kültürel deneyimlere ulaşabilmesini sağlamaktadır.

Müzelerin birbirine yakın konumda bulunması, destinasyon yönetimi açısından önemli bir sinerji yaratmaktadır. Ziyaretçinin bir müzeye gelerek diğer müzelere, tarihî yapılara ve yerel işletmelere yönelmesi "çoklu çekicilik" etkisi yaratabilir. UNWTO (2018), kültür ve turizm arasındaki sinerjinin destinasyon geliştirme ve pazarlama açısından önemini vurgulamaktadır. Odunpazarı'nda bu sinerji mekânsal olarak güçlü olmakla birlikte, kurumsal düzeyde ortak tanıtım ve ziyaret yönetimi araçlarının daha sistematik kullanılması potansiyeli bulunmaktadır.

Tablo 1: Eskişehir'de Ziyaretçi Kitlesi, Sürdürülebilirlik ve Turizme Katkı Açısından Üç Müzenin Karşılaştırılması[1]

Karşılaştırma Ölçütü	Yılmaz Büyükerşen Balmumu Heykeller Müzesi	Çağdaş Cam Sanatları Müzesi	OMM – Odunpazarı Modern Müze
Ana tema	Tanınmış kişilerin balmumu heykelleri; tarih, kültür ve sanat odaklı sergileme.	Çağdaş cam sanatı ve cam işçiliğinin farklı teknikleri.	Modern ve çağdaş sanat; ulusal ve uluslararası sanatçıların eserleri.
Eser/koleksiyon özelliği	Gerçeğe yakın balmumu figürleri; sanatçı, devlet adamı, bilim insanı ve tarihî kişilikler.	Cam üfleme, şekillendirme ve farklı cam teknikleriyle hazırlanmış eserler.	Modern sanat eserleri; farklı disiplinlerden ve dönemlerden seçilmiş koleksiyon.
Hedef ziyaretçi kitlesi	Yerli-yabancı turistler, aileler, öğrenciler ve tarih/kültür meraklıları.	Sanatseverler, öğrenciler, turistler ve cam sanatına ilgi duyan ziyaretçiler.	Çocuklar, gençler, yetişkinler, sanatseverler, öğrenciler ve kültür turistleri.
Ziyaretçi yoğunluğu	Yüksek; açılışından bu yana yaklaşık 3 milyon ziyaretçiye ulaşmıştır. Mayıs 2025'te tek günde 8.000'in üzerinde ziyaretçi kaydedilmiştir.	Ziyaretçi ilgisi yüksek olmakla birlikte güncel yıllık müze bazlı veriler düzenli olarak yayımlanmamaktadır.	Yüksek ziyaretçi ilgisine sahip; ancak 2023–2025 için yıllık müze bazlı ziyaretçi sayıları kamuya açık kaynaklarda düzenli değildir.
Kültürel sürdürülebilirlik	Yerel tarih ve kültürel hafızanın ziyaretçilere aktarılmasına katkı sağlar.	Cam sanatının korunması, tanıtılması ve gelecek kuşaklara aktarılmasına katkı sağlar.	Modern sanatın ve kültürel üretimin geniş kitlelerle buluşturulmasını destekler.
Çevresel sürdürülebilirlik	Kamuya açık kaynaklarda müze özelinde ayrıntılı çevresel sürdürülebilirlik uygulamaları sınırlıdır.	Kamuya açık kaynaklarda müze özelinde ayrıntılı çevresel sürdürülebilirlik uygulamaları sınırlıdır.	Atık azaltma, geri dönüşüm/yeniden kullanım, plastik tüketimini azaltma ve çevre farkındalığı gibi sürdürülebilirlik çalışmaları öne çıkar.
Sürdürülebilir turizm açısından değerlendirme	Yüksek ziyaretçi çekme kapasitesi ve kültürel tanıtım gücüyle turizm açısından önemli bir çekim noktasıdır.	Yerel kültür, sanat ve zanaatın korunmasına katkısı nedeniyle sürdürülebilir kültür turizmini destekler.	Sanat, eğitim, etkinlik ve sürdürülebilirlik uygulamalarını bir arada yürütmesiyle çağdaş müzecilik ve sürdürülebilir turizm açısından dikkat çekicidir.

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

[1] Müze bazında 2023–2025 yıllarına ait ziyaretçi sayıları tüm kurumlar için düzenli ve ayrı şekilde yayımlanmadığından, tabloda yalnızca kamuya açık kaynaklarda doğrulanabilen güncel/toplu bilgiler ve nitel karşılaştırmalar kullanılmıştır.

Tablo 1 incelendiğinde, Eskişehir'de yer alan Yılmaz Büyükerşen Balmumu Heykeller Müzesi, Çağdaş Cam Sanatları Müzesi ve OMM–Odunpazarı Modern Müze'nin tema, koleksiyon yapısı, hedef ziyaretçi kitlesi ve sürdürülebilir turizme katkıları bakımından farklı özellikler taşıdığı görülmektedir. Yılmaz Büyükerşen Balmumu Heykeller Müzesi daha geniş bir ziyaretçi kitlesine hitap eden ve yüksek ziyaretçi yoğunluğuyla öne çıkan bir kültürel çekim merkezi niteliğindeyken, Çağdaş Cam Sanatları Müzesi yerel sanat ve zanaatın korunması ve tanıtılmasına katkı sağlamaktadır. OMM ise modern ve çağdaş sanat odaklı yapısının yanı sıra çevresel sürdürülebilirlik, eğitim ve kültürel etkinliklere yönelik uygulamalarıyla diğer iki müzeden ayrılmaktadır. Bu yönüyle söz konusu müzeler, farklı özellikleri üzerinden Eskişehir'in kültür turizmi çeşitliliğine ve sürdürülebilir turizm gelişimine katkı sunmaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Eskişehir Odunpazarı'nda müze turizminin gelişimini ve sürdürülebilirlik boyutlarını üç farklı müze üzerinden değerlendirmiştir. Bulgular, Odunpazarı'nın tarihî çevresi ile müzelerin oluşturduğu kültürel kümelenmenin destinasyonun çekiciliğini önemli ölçüde çeşitlendirdiğini göstermektedir. OMM çağdaş sanat ve mimariyi, Yılmaz Büyükerşen Balmumu Heykeller Müzesi popüler kültür ve deneyim odaklı ziyareti, Çağdaş Cam Sanatları Müzesi ise sanat-zanaat ilişkisini temsil ederek birbirini tamamlayan bir müze ekosistemi oluşturmaktadır. Bu çeşitlilik, Odunpazarı'nın yalnızca tarihî konutlarıyla değil, farklı dönem ve içerikleri bir araya getiren yaşayan bir kültür destinasyonu olarak algılanmasına katkı sağlamaktadır. Müzelerin yürüme mesafesinde kümelenmesi, ziyaretçinin bölgede daha uzun süre kalmasına ve kültürel deneyimin sokak, gastronomi, alışveriş ve sanat etkinlikleriyle bütünleşmesine olanak tanımaktadır. Buna karşılık aynı yoğunlaşma, ziyaretçi baskısının tarihî çevrede dikkatle yönetilmesini zorunlu kılmaktadır.

Çalışmanın bulguları doğrultusunda Odunpazarı'nda müze turizminin sürdürülebilirliği beş temel boyutta ele alınabilir. Birincisi, kültürel mirasın korunması turizm faaliyetlerinin temel sınırını oluşturmalı; tarihî sokakların ve yapıların fiziksel kapasitesi, ticari kullanımlar ve ziyaretçi yoğunluğu karşısında düzenli olarak izlenmelidir. İkincisi, yerel halkın ve işletmecilerin sürece katılımı büyük önem taşımaktadır. Coşkun ve Okuyucu'nun (2022a, 2022b) bulguları, yerel paydaşların turizmin etkilerini genel olarak olumlu değerlendirdiğini ortaya koymaktadır; bu olumlu toplumsal zeminin katılımcı yönetim mekanizmalarıyla güçlendirilmesi gerekmektedir. Üçüncüsü, ziyaretçi deneyiminin ve erişilebilirliğin geliştirilmesi gerekmektedir. Engelli bireyler, çocuklar, yaşlılar ve yabancı ziyaretçiler için fiziksel erişimin iyileştirilmesi, çok dilli içeriklerin sunulması ve anlaşılır yönlendirme sistemlerinin oluşturulması, sürdürülebilir müzeciliğin kapsayıcılık boyutunu güçlendirecektir. Dördüncüsü, dijitalleşme müze deneyimini yoğun fiziksel ziyaret baskısından kısmen ayrıştırma olanağı sunmaktadır. Çevrim içi koleksiyonlar, sanal turlar, rezervasyon sistemleri ve anlık yoğunluk bilgisi sağlayan uygulamalar, ziyaretçi akışının yönetilmesinde etkili araçlar olarak kullanılabilir. Beşincisi, turizmin ekonomik faydasının yerel düzeyde yaygınlaştırılması gerekmektedir. Müze ziyaretlerinin çevredeki el sanatları, yeme-içme ve yerel ürün işletmeleriyle ilişkilendirilmesi, turizm gelirlerinin daha geniş bir kesime ulaşmasına katkı sağlayabilir. Ancak bu sürecin, tarihî çevrenin aşırı ticarileşmesine yol açmayacak biçimde yönetilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sürdürülebilirlik, büyüme ile koruma arasında optimum bir denge arayışı olarak değerlendirilmelidir.

Araştırma sonuçları doğrultusunda Odunpazarı'nda müze turizminin sürdürülebilirliğini güçlendirmeye yönelik şu öneriler geliştirilmiştir. Müzeler ve tarihî çevre için düzenli ziyaretçi yoğunluğu ölçümleri yapılmalı, yoğun gün ve saatlerde yönlendirme ve rezervasyon sistemlerinden yararlanılmalıdır.

Müzeler arasında ortak bilet veya kültür rotası uygulamaları geliştirilerek ziyaretçi hareketinin tek bir çekim noktasında yoğunlaşması yerine alana dengeli biçimde dağılması sağlanmalıdır. Yaya yönlendirmeleri, çok dilli dijital bilgi sistemleri ve erişilebilirlik düzenlemeleri bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Yerel halk, esnaf, belediyeler, müzeler ve üniversiteler arasında sürekli iş birliğini sağlayacak destinasyon yönetim platformları oluşturulmalıdır. Tarihî dokudaki ticari tabelalar, açık alan kullanımları ve görsel müdahaleler koruma ilkeleriyle uyumlu biçimde yönetilmelidir. Son olarak müze turizminin başarısı yalnızca toplam ziyaretçi sayısıyla değil; ziyaretçi memnuniyeti, yerel ekonomiye katkı, mirasın korunma durumu, erişilebilirlik ve yerel halkın yaşam kalitesi gibi göstergelerle birlikte izlenmelidir.

Odunpazarı örneği, müze turizminin kentsel kültür turizminin güçlü bir bileşeni olabileceğini göstermektedir. Ancak uzun dönemli sürdürülebilirlik, yeni müze açılışlarından ya da ziyaretçi artışından çok, müzelerin tarihî çevreyle, yerel toplumla ve birbirleriyle kurduğu ilişkinin niteliğine bağlıdır. Bu nedenle Odunpazarı'nda gelecekte geliştirilecek müze ve turizm politikalarının koruma-kullanma dengesi, katılımcılık ve nitelikli ziyaretçi deneyimi ilkeleri temelinde şekillendirilmesi önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

Aas, C., Ladkin, A., & Fletcher, J. (2005). Stakeholder collaboration and heritage management. Annals of Tourism Research, 32(1), 28–48. *https://doi.org/10.1016/j.annals.2004.04.005*

Bramwell, B., & Lane, B. (1993). Sustainable tourism: An evolving global approach. *Journal of Sustainable Tourism, 1*(1), 1–5. https://doi.org/10.1080/09669589309450696

Butler, R. W. (1999). Sustainable tourism: A state-of-the-art review. *Tourism Geographies, 1*(1), 7–25. https://doi.org/10.1080/14616689908721291

Coşkun, R., & Okuyucu, A. (2022a). Kültürel mirasın korunması ve turizmle ilişkisine yönelik yerel halkın algı ve tutumları: Odunpazarı örneği. Coğrafi Bilimler Dergisi, 20(1), 246–281. https://doi.org/10.33688/aucbd.1051375

Coşkun, R., & Okuyucu, A. (2022b). İşletmecilerin turizme ilişkin algı ve tutumlarına yönelik nitel bir araştırma: Odunpazarı örneği. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 9(1), 41–56.*

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi. (2026a). Yılmaz Büyükerşen Balmumu Heykeller Müzesi. https://www.eskisehir.bel.tr/sayfalar.php?sayfalar_id=82

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi. (2026b). Çağdaş Cam Sanatları Müzesi. https://www.eskisehir.bel.tr/sayfalar.php?sayfalar_id=58

Eskişehir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. (2026). Çağdaş Cam Sanatları Müzesi (Odunpazarı). https://eskisehir.ktb.gov.tr/TR-339434/cagdas-cam-sanatlari-muzesi-odunpazari.html

Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2016). *The Museum Experience.* Revisited. Routledge.

Guliyeva, G., & Özel, Ç. H. (2025). Müzelerde postmodern dönemin izlerinin incelenmesi: Odunpazarı Modern Müze (OMM) örneği. *GSI Journals Serie A: Advancements in Tourism Recreation and Sports Sciences*, 143–162. https://doi.org/10.53353/atrss.172634

Hunter, C. (1997). Sustainable tourism as an adaptive paradigm. *Annals of Tourism Research, 24*(4), 850–867. https://doi.org/10.1016/S0160-7383(97)00036-4

ICOM. (2022). Museum definition. International Council of Museums. https://icom.museum/en/resources/standards-guidelines/museum-definition/

Kadıoğlu, R. Ö., & Yüksek, G. (2021). Müze rehberlerinin müze deneyimi üzerindeki etkileri: Eskişehir Odunpazarı Modern Müze (OMM) örneği. *Journal of Gastronomy, Hospitality and Travel, 4*(2), 736–748.

Kervankıran, İ. (2014). Dünyada değişen müze algısı ekseninde Türkiye'deki müze turizmine bakış. *Turkish Studies – International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic, 9*(11), 345–369. https://doi.org/10.7827/TurkishStudies.7522

Liu, Z. (2003). Sustainable tourism development: A critique. *Journal of Sustainable Tourism, 11*(6), 459–475. https://doi.org/10.1080/09669580308667216

Odunpazarı Modern Müze [OMM]. (2026a). Hakkımızda. https://omm.art/tr/bilgi/hakkimizdaOdunpazarı Modern Müze [OMM]. (2026b). Bina hakkında. https://www.omm.art/en/details/the-buildingRichards, G. (2018). Cultural tourism: A review of recent research and trends. *Journal of Hospitality and Tourism Management,* 36, 12–21. https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2018.03.005Timothy, D. J., & Boyd, S. W. (2003). *Heritage Tourism.* Prentice Hall.

UNEP ve UNWTO. (2005). *Making tourism more sustainable: A guide for policy makers*. United Nations Environment Programme ve World Tourism Organization.

UNESCO. (2015). Recommendation concerning the protection and promotion of museums and collections, their diversity and their role in society. UNESCO.

World Tourism Organization (UNWTO). (2018). *Tourism and Culture Synergies.* UNWTO. https://doi.org/10.18111/9789284418978

Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6th ed.). SAGE Publications.

KÜLTÜREL MİRAS YAPILARINDA YERİN RUHUNUN MİMARİ ÖZELLİKLER ÜZERİNDEN DİJİTAL ANLATISI: ÇAPANOĞLU CAMİİ ÖRNEĞİ

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Kader Reyhan danışmanlığında Aynur Savaş tarafından hazırlanan doktora tezinden üretilmiştir.

Aynur SAVAŞ
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
ORCID: 0000-0002-2496-845X

Doç. Dr. Kader REYHAN
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
ORCID: 0000-0003-2564-1907

ÖZET

Kültürel mirasın korunmasına yönelik yaklaşımlar çoğunlukla yapıların fiziksel sürekliliğine odaklanmaktadır. Kullanıcı deneyimiyle şekillenen algısal, duygusal ve anlamsal boyutlar ise ikinci planda kalmaktadır. ICOMOS Québec Bildirgesi (2008b) yerin ruhunun esas olarak insanlar aracılığıyla aktarıldığını vurgular ve dijital ortamları bu aktarımın araçları arasında sayar. ICOMOS Kültürel Miras Alanlarının Yorumlanması ve Sunumuna İlişkin Tüzük (2008a) ise yorumun hem bilimsel kanıta dayanmasını hem de bireyi kendi algısı üzerine düşünmeye teşvik etmesini bekler. Ancak dijital miras uygulamalarında anlatı içeriğinin hangi mimari özelliklerden, hangi gerekçelerle ve hangi ölçütlerle seçildiği çoğunlukla görünür değildir. Bu durum anlatıyı araştırmacının denetlenemeyen öznel tercihlerine bağımlı kılmaktadır.

Bu bildiri, söz konusu soruna yanıt olarak üç aşamalı ve ölçütlere dayalı bir yöntemsel yaklaşım önermekte ve bunu Yozgat Çapanoğlu Camii üzerinde uygulamaktadır. Birinci aşamada Steele'in (1981) yer duygusu kuramındaki fiziksel etmenler; ışık, doku, renk, sıcak renkler, soğuk renkler, ölçek-oran, sınır koşulları ve sembolik öğelerden oluşan sekiz mimari özellik kategorisine dönüştürülmüştür. İkinci aşamada bu kategoriler mimarlık tarihi kaynakları, arşiv belgeleri, rölöve çizimleri ve alan incelemesiyle yapının somut öğeleriyle eşleştirilmiştir. Üçüncü aşamada her eşleşme bakış yönlendirmesi, yapım tekniği, dönem bağlamı, koruma ilkesi, kavramsal çerçeve, hareket yönlendirmesi ve kullanıcıya sorudan oluşan yedi bileşenli bir anlatı modeliyle kurgulanmıştır. Bileşenlerin seçimi ve TAG noktalarına dağılımı, ICOMOS (2008a) ilkeleri ile Tilden (1957), Psarra (2009) ve Banfi vd. (2023) temel alınarak tanımlanan ölçütlere bağlanmış; anlatı kararları belgelenebilir nesnel ölçütler ve kuramsal kaynağa dayanan öznel ölçütler olarak ayrıştırılmıştır. Sesli, metinsel ve görsel olarak hazırlanan anlatılar, Matterport tabanlı 360° sanal gezinti ortamında on dört TAG noktasına yerleştirilmiş; yapı, belgelenmiş inşa evrelerine uygun olarak içten dışa doğru okunmuştur. Çalışma, yerin ruhunun mimari özellikler üzerinden dijital anlatıya aktarılmasına yönelik sistematik bir yöntemsel çerçeve ortaya koymakta; mimari özelliklerin belirlenmesi, anlatı bileşenlerinin seçimi ve dijital ortamda yapılandırılması arasındaki karar sürecini açık ve izlenebilir hâle getirmektedir. Önerilen yaklaşım, mimari özellikleri belgelenebilen farklı kültürel miras yapılarına uyarlanabilecek bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kültürel miras, yerin ruhu, mimari anlatı, sanal gerçeklik, dijital yorumlama, ICOMOS, Çapanoğlu Camii

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

THE DIGITAL NARRATIVE OF THE SPIRIT OF PLACE THROUGH ARCHITECTURAL FEATURES IN CULTURAL HERITAGE BUILDINGS: THE CASE OF ÇAPANOĞLU MOSQUE

ABSTRACT

Approaches to the conservation of cultural heritage predominantly focus on the physical continuity of structures, while perceptual, emotional, and semantic dimensions—shaped by user experience—often remain secondary. The ICOMOS Québec Declaration (2008b) emphasizes that the "spirit of place" is primarily transmitted through people and identifies digital environments as one of the vehicles for this transmission. Meanwhile, the ICOMOS Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites (2008a) requires that interpretation be grounded in scientific evidence while also encouraging individuals to reflect on their own perceptions. However, in digital heritage applications, the architectural features selected for narrative content—and the rationales and criteria guiding these choices—are often not made explicit. This renders the narrative dependent on the researcher's unchecked subjective preferences.

In response to this issue, this paper proposes a three-stage, criteria-based methodological approach and applies it to the Yozgat Çapanoğlu Mosque. In the first stage, the physical factors from Steele's (1981) theory of "sense of place" are translated into eight categories of architectural features: light, texture, color, warm colors, cool colors, scale and proportion, boundary conditions, and symbolic elements. In the second stage, these categories are matched with the building's tangible elements using architectural history sources, archival documents, measured drawings, and field surveys. In the third stage, each pairing is structured using a seven-component narrative model comprising viewing orientation, construction technique, period context, conservation principle, conceptual framework, movement guidance, and a user-directed question. The selection of these components and their distribution across TAG points were determined based on ICOMOS (2008a) principles and criteria derived from Tilden (1957), Psarra (2009), and Banfi et al. (2023); narrative decisions were categorized into documentable objective criteria and subjective criteria grounded in theoretical sources. Narratives—prepared in audio, textual, and visual formats—were embedded at fourteen TAG points within a Matterport-based 360° virtual tour environment, allowing the structure to be interpreted from the inside out in alignment with its documented construction phases. The study establishes a systematic methodological framework for conveying the "spirit of place" into a digital narrative through architectural features, rendering the decision-making process—spanning the identification of architectural features, the selection of narrative components, and their structuring within the digital environment—transparent and traceable. The proposed approach offers a framework adaptable to various cultural heritage structures with documentable architectural features.

Keywords: Cultural heritage, spirit of place, architectural narrative, virtual reality, digital interpretation, ICOMOS, Çapanoğlu Mosque

1. GİRİŞ

Kültürel miras yapılarının korunmasına yönelik çalışmaların büyük bölümü, yapının fiziksel varlığının belgelenmesi, korunması ve onarılması üzerine kurulmuştur. Rölöve çizimleri, malzeme analizleri ve bozulma tespitleri bu sürecin öncelikli araçlarıdır. Ancak kültürel miras yapıları fiziksel varlıklarının yanı sıra kullanıcıların o mekâna yüklediği anlamlar, orada katmanlaşan deneyimler ve kolektif bellek aracılığıyla da varlığını sürdürmektedir. Augé (1995), fiziksel dokusu korunduğu hâlde insanlar için taşıdığı anlam aktarılamayan mekânların zamanla kimlik ve ilişkiden yoksun "yer olmayan"lara dönüştüğünü belirtir.

Koruma belgeleri de bu anlamsal boyutu giderek daha açık biçimde tanımlamaktadır. Nara Özgünlük Belgesi (ICOMOS, 1994) özgünlüğü malzeme ve biçimin yanı sıra ruh ve anlatım ile de ilişkilendirir. Yerin Ruhunun Korunmasına Dair Québec Bildirgesi (ICOMOS, 2008b), yerin ruhunun esas olarak insanlar aracılığıyla aktarıldığını, korunmasının ise katılım, deneyim ve iletişim süreçlerine bağlı olduğunu vurgular; anlatıları, ritüelleri, dijital ortamları ve çoklu ortam uygulamalarını bu aktarımın araçları arasında sayar. ICOMOS Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi (2013) ise "Mimari mirasın korunması konusunda kamu bilincinin gelişimi, her aşamada verilecek eğitimle sağlanabilir" ifadesiyle aktarımı doğrudan bir koruma edimi olarak konumlandırır.

Kültürel Miras Alanlarının Yorumlanması ve Sunumuna İlişkin Tüzük (ICOMOS, 2008a) ise yorumlama ve sunumu koruma sürecinin ayrılmaz bir parçası olarak tanımlar ve yoruma iki temel beklenti yükler. Yorum bir yandan kabul görmüş bilimsel ve akademik yöntemlerle elde edilen kanıtlara dayanmalı, diğer yandan bireyleri alana ilişkin kendi algıları üzerine düşünmeye teşvik etmeli ve alanla anlamlı bir bağ kurmalarına yardımcı olmalıdır. Bu iki beklenti, dijital anlatının aynı anda hem belgeye dayalı hem de kullanıcının yorumuna açık olmasını gerektirmektedir.

Sanal gerçeklik teknolojileri kültürel miras alanında yaygın biçimde kullanılmakla birlikte çoğunlukla görselleştirme, sunum ve dijital belgeleme amaçlarıyla sınırlı kalmaktadır. Yapının geometrisini yüksek doğrulukla aktaran üç boyutlu taramalar; kullanıcının mekânı nasıl deneyimlediğine, hangi mimari özelliği fark ettiğine ve mekâna ilişkin hangi anlamları ürettiğine dair doğrudan bilgi sunmaz. Bu boşluğu doldurmak üzere kurgulanan dijital anlatılarda ise içeriğin hangi mimari özelliklerden, hangi gerekçelerle ve hangi ölçütlerle seçildiği çoğunlukla açıklanmamaktadır. Böylece anlatı, araştırmacının denetlenemeyen öznel tercihlerinin bir ürünü olarak kalmakta ve yöntem başka yapılara aktarılamamaktadır.

Bu noktada yöntemsel bir soru ortaya çıkmaktadır: Yerin ruhu gibi soyut bir kavram, dijital anlatı içeriğine nasıl sistematik, gerekçelendirilebilir ve tekrarlanabilir biçimde dönüştürülebilir? Sorunun güçlüğü kavram ile içerik arasındaki mesafeden kaynaklanmaktadır. Yerin ruhu doğrudan aktarılabilir bir içerik değildir; ancak yapının somut mimari özellikleri üzerinden okunabilir ve bu okuma anlatıya aktarılabilir. Bunun için kavram ile anlatı arasında mimari özellik kategorilerinden oluşan bir ara katmana ve bu katmandan anlatıya geçişi gerekçelendiren açık ölçütlere ihtiyaç vardır.

Bu bildirinin amacı, söz konusu ara katmanı tanımlayan ve buradan dijital anlatıya ölçütlere dayalı olarak uzanan üç aşamalı bir yöntemsel yaklaşım önermek ve bu yaklaşımı Yozgat Çapanoğlu Camii üzerinde uygulamaktır. Bildiri iki soruya yanıt aramaktadır:

S1. Yerin ruhu, bir kültürel miras yapısında hangi mimari özellik kategorileri üzerinden okunabilir ve bu kategoriler yapının somut öğeleriyle nasıl eşleştirilir?

S2. Bu mimari okuma, hangi ölçütlerle, koruma söylemiyle bağını koruyarak ve kullanıcının yorum üretmesine alan bırakacak biçimde dijital anlatı içeriğine aktarılır?

Bildiri, kapsamı gereği kullanıcı verisi toplanmadan önceki tasarım aşamasını sunmaktadır. İkinci bölümde kuramsal çerçeve, üçüncü bölümde yöntem ve anlatı kararlarının ölçütleri, dördüncü bölümde Çapanoğlu Camii uygulaması sunulmaktadır. Tartışma bölümünde ise bu ölçütlerin anlatı içeriğinin seçim gerekçesini ne ölçüde görünür kıldığı ve yerin ruhunun aktarımında öznelliğin nasıl denetim altına alınabileceği ele alınmaktadır.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde çalışmanın kuramsal temeli üç başlık altında ele alınmaktadır. Önce yerin ruhu kavramı ve deneyimle ilişkisi tartışılmakta, ardından Steele'in (1981) fiziksel etmenlerinden türetilen mimari özellik kategorileri tanımlanmaktadır. Son olarak mimari anlatı, yorumlama ilkeleri ve dijital aktarım arasındaki ilişki, yöntemin seçim ölçütlerine temel oluşturacak biçimde değerlendirilmektedir.

2.1. Yerin Ruhu Kavramından Deneyime

Yerin ruhu, bir mekanı diğerinden ayıran karakter veya öz olarak tanımlanmaktadır. (Norberg-Schulz, 1980). Norberg-Schulz (1980), yerin ruhu kavramını fenomenolojik bir yaklaşımla ele almaktadır. Yeri, fiziksel özelliklerinin ötesinde, insanın çevresiyle kurduğu varoluşsal ilişki üzerinden açıklamaktadır. Bu ilişkide yönelme (orientation) ve özdeşleşme (identification), insanın bir yere ait olabilmesinin temel koşulları olarak öne çıkmaktadır. Steele (1981) ise, yer duygusunu bireyin fiziksel çevreyle etkileşimden doğan bir sonuç olarak ele almaktadır. Bu etkileşim bireyin deneyime beraberinde getirdiği algısal faktörler (dikkat düzeyi, kültürel birikim, beklentiler, ruh hali ve manevi/sembolik algı eğilimi) ile mekânın sahip olduğu fiziksel etmenler (renk, doku, ışık, ölçek-oran, sınır koşulları, sembolik öğeler) olarak ikiye ayrılmaktadır. Steele'in bu ikili yapısı, yerin ruhunu tanımlanamaz bir atmosfer olmaktan çıkarıp bileşenlerine ayrılabilir bir etkileşim olarak ele almaya olanak tanıdığı için bu çalışmanın yapısal zeminini oluşturmaktadır.

Çalışmanın ikinci kuramsal eksenini ise yer ve deneyim arasındaki ilişki oluşturmaktadır. Relph'e (1976) göre yer, insanın eylem ve niyetlerinin merkezidir. Tuan (1977), uzamdan yere geçiş sürecini deneyim ve anlam üzerinden açıklamakta; farklılaşmamış uzamın deneyimlendikçe ve anlam kazandıkça yere dönüştüğünü belirtmektedir. Usta'ya (2020) göre yer, bireyin bir alanı deneyimlemesi ve bu deneyim aracılığıyla mekâna ilişkin bilişsel ve duygusal anlamlar geliştirmesi sonucunda oluşmaktadır. Venter (2016) ise yeri, kendisine maddi bir biçim kazandıran fiziksel yapısının yanı sıra tasarlanan, öngörülen, düzenlenen ve zaman içinde yeniden yapılandırılan bir olgu olarak tanımlar. Bu bağlamda kültürel miras yapıları da yalnızca fiziksel varlıklarıyla değil, gündelik yaşamları bu yapılarla ilişki içerisinde biçimlenen bireyler, gruplar ve topluluklar tarafından kendilerine atfedilen değerler, anlamlar ve duygular aracılığıyla varlık kazanmaktadır. İnşa edilmiş çevre, deneyim ve etkileşim yoluyla anlam kazandığı ölçüde insanların toplumsal gerçekliklerinin oluşumunda ve güçlenmesinde etkili olmaktadır (Venter, 2016). Bu çerçevede yerin ruhu, yalnızca mekânın fiziksel özelliklerinden kaynaklanan sabit bir nitelik değil, bireyin bu özelliklerle kurduğu algısal, duygusal ve anlamsal ilişkiler sonucunda ortaya çıkan dinamik bir deneyim olarak değerlendirilebilir.

2.2 Fiziksel Etmenlerden Mimari Özellik Kategorileri ve Deneyimsel İşlevi

Steele'in fiziksel etmenler çerçevesi, büyük ölçüde değiştirilebilir koşullar olarak kurgulanmış olmasına rağmen bu çalışmada fiziksel etmenler, mimari kategorilerle eşleştirilerek değiştirilebilir değişkenler değil, yapının tarihi ve mimari kimliğini temsil eden sabit nitelikler olarak ele alınmıştır. Bir kubbenin çapı ya da bir kemerin geometrisi tasarım kararı olarak yeniden ele alınamayan yalnızca okunup aktarılabilir özelliklerdir.

Bu bildiride, Steele'in fiziksel etmenleri bu ayrım gözetilerek kültürel miras yapılarına özgü sekiz mimari özellik kategorisine dönüştürülmüştür (Tablo 1). Dönüştürme işleminde ele alınan iki ölçüt şunlardır:

1. Yapıda gözle görülür ve konumu gösterilebilir bir karşılığı bulunmalıdır.
2. Kullanıcı deneyiminde tanımlı bir işlevi olmalıdır.

Tablo 1. Steele'in (1981) fiziksel etmenlerinin mimari özellik kategorilerine dönüştürülmesi (Savaş & Reyhan, 2026)

Kategori	Kuramsal Kaynak	Mimari Karşılık	Deneyimsel İşlevi
Renk	Steele (1981); Tuan (1977);Norberg	Doğal mermer damarları, renkli taş süslemeler, bezeme renkleri	Estetik tepki ve atmosfer oluşturur.
Sıcak Renkler	Steele (1981); Tuan (1977)	İç mekânda ahşap detaylar, sıcak tonlu yüzeyler	Yakınlık, sıcaklık ve samimiyet hissini tetikler.
Soğuk Renkler	Steele (1981)	Taş yüzeyler, gölge alanları, mavi-yeşil tonlu yüzeyler	Sakinlik, dinginlik ve mesafe hissi yaratır.
Doku	Steele (1981); Venedik Tüzüğü (1964) Md.11	Taş, ahşap, mermer, sıva, kalem işi ve yüzey detayları	Fiziksel ve görsel yüzey karakterini oluşturur.
Işık	Steele (1981); Norberg-Schulz (1980)	Kubbe açıklıkları, pencereler, vitray pencereler, aydınlatma öğeleri	Atmosfer, yönlenme ve mekansal algı üzerinde belirleyici rol oynar.
Sembolik Öğeler	Steele (1981); ICOMOS (2008b)	Mihrap, minber, kubbe, hat yazıları, dini semboller	Kültürel, tarihsel ve manevi anlam yüklemeyi sağlar.
Sınır Koşulları	Steele (1981); Relph (1976)	Duvarlar, kemerler, geçişler, avlu-geçiş ilişkileri	Yönlenme, mahremiyet ve mekânsal bütünlük hissi oluşturur.
Ölçek-Oran	Steele (1981); Norberg-Schulz (1980)	Kubbe yüksekliği, iç hacim büyüklüğü, insan bedeniyle oran ilişkisi	İhtişam, küçüklük veya yakınlık hissi yaratır.

Renk kategorisi çalışma kapsamında renk, sıcak renkler ve soğuk renkler olmak üzere üç farklı kategoride ele alınmıştır. Bu durumun temel sebebi, yerin ruhu bağlamında ele alınan çalışmalardan Steele'in (1981) sıcak ve soğuk renklerin psikolojik etkilerine odaklanmaktayken Norberg-Schulz'un (1980) ise renk kategorisini malzeme ve yüzeysel özellikler üzerinden ele almasıdır.

2.3 Mimari Anlatı, Yorumlama ve Dijital Aktarım

Anlatı, kullanıcıların mekânda nasıl ilerlediği, mekânı nasıl deneyimlediği ve bu deneyimden nasıl farklı anlamlar ürettiğiyle ilişkilidir. Mimarlıkta anlatı ise bir yapının kullanıcılarına bir hikâye sunma biçimi olarak ele alınabilir. Bu hikâye; mekânın tasarımı, iç düzeni, kullanılan malzemeler ve kullanıcıya sunduğu deneyim aracılığıyla biçimlenmektedir (Psarra, 2009). Bu açıdan mimari anlatının değeri yalnızca bilgi aktarmasında değil, kullanıcının mekânla kurduğu deneyimi ve anlam ilişkisini zenginleştirmesinde yatmaktadır. Nitekim mekânsal özelliklerin karakterleri ve olayları etkileyebilmesi, mekânın anlatı içerisinde yalnızca edilgen bir arka plan değil, anlamın oluşumuna katılan bir unsur olduğunu göstermektedir (Jahn, 2015).

Mekân, anlatı ve anlam arasında kurulan bu ilişki, kültürel mirasın kullanıcıya aktarılmasında anlatının nasıl yapılandırılması gerektiği sorusunu da beraberinde getirmektedir. Bu noktada anlatı, mirasa ilişkin bilgilerin doğrudan aktarılmasının ötesine geçerek kullanıcının yapı ile kişisel ve deneyimsel bir ilişki kurmasını sağlayan bir yorumlama aracına dönüşmektedir. Tilden'in (1957) yorumlama ilkeleri bu yaklaşımın erken kuramsal temellerinden birini oluşturmaktadır. Tilden'e göre yorumlamanın temel amacı yalnızca bilgi vermek değil, sunulan bilgiyi ziyaretçinin deneyimi ve kişiliğiyle ilişkilendirerek onun ilgisini uyandırmak ve daha geniş anlamları keşfetmesini sağlamaktır.

Tilden'in yorumlama yaklaşımında bu çalışma açısından iki ilke öne çıkmaktadır. Bunlardan ilki, yorumlamanın sunulan içeriği ziyaretçinin kişisel deneyimiyle ilişkilendirmesi gerektiğidir. İkincisi ise yorumlamanın temel amacının yalnızca bilgi aktarmak değil, ziyaretçiyi düşünmeye, sorgulamaya ve kendi anlamını oluşturmaya yöneltmek olduğudur (Tilden, 1957). Dijital ortamda anlatı tasarımını ele alan Banfi vd. (2023, s. 25–26) ise görsel anlatı literatürüne dayanarak sanal-görsel anlatının uyması gereken kuralları tanımlar. Bu çerçevede anlatı kim, ne, nerede, ne zaman ve neden sorularını açıkça yanıtlamalı; söylemek yerine göstermeli; hedef kitlesi için bütünlüklü ve inandırıcı olmalı; hayal gücüne ve ayrıntıya alan bırakmalıdır. Yazarlar ayrıca anlatının güvenilirliği için olabildiğince nitelikli ve nesnel kaynaklara dayanılmasını ve anlatının görme, işitme ve dokunma gibi duyular aracılığıyla deneyimlenmesini önerir.

ICOMOS'un Kültürel Miras Alanlarının Yorumlanması ve Sunumu Tüzüğü (2008a), yorumun alanın çok yönlü manevi ve sanatsal bağlamlarındaki önemini araştırması gerektiğini belirtir. Quebec Bildirgesi (2008b) ise dijital teknolojilerin kullanımını kültürel miras aktarımında doğrudan tavsiye etmektedir. İki koruma belgesi de dijital anlatının koruma pratiğinde önemli bir bileşen olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda dijital anlatı oluşumunda koruma söylemiyle bağ kurulması gereklidir. Bir mimari öğe anlatılırken yalnızca ne olduğu değil, hangi koruma ilkesince değerli sayıldığı da kullanıcıya iletilmelidir.

Tüzük, yorumlama ve sunumun dayanması gereken erişim ve anlama, bilgi kaynakları, bağlam ve çevre, özgünlük, sürdürülebilirlik, kapsayıcılık ile araştırma, eğitim ve değerlendirmeden oluşan yedi ilke tanımlamaktadır (ICOMOS, 2008a). Bu ilkelerden bilgi kaynakları, bağlam ve özgünlük ilkeleri, yorumlamanın belgelenmiş ve güvenilir bilgi kaynaklarına dayanmasını vurgularken; erişim ve anlama ilkesi, yorumlamanın ziyaretçinin kişisel deneyimini zenginleştirmesini ve kültürel miras alanıyla anlamlı bir bağ kurmasını desteklemektedir.Tüzükteki bu ikili yönelim, Steele'in (1981) mekânın fiziksel etmenleri ile bireyin algısal faktörleri arasında yaptığı ayrımla ve Banfi vd.'nin (2023) nesnel kaynak ile hayal gücüne alan bırakma arasında kurduğu dengeyle örtüşmektedir. Bu çalışmada anlatı bileşenlerinin seçim ölçütleri (Bölüm 3.3) ve anlatı kararlarının nesnel ve öznel ölçütler olarak ayrıştırılması (Bölüm 3.6) bu örtüşmeye dayandırılmıştır.

3. YÖNTEM: ÜÇ AŞAMALI AKTARIMIN YÖNTEMSEL ÇERÇEVESİ

Önerilen yöntemsel çerçeve, yerin ruhu kavramından dijital anlatı içeriğine uzanan yolu üç aşamaya ayırmaktadır. Aşamalar birbirini beslemekte; her aşamanın çıktısı izleyen aşamanın girdisini oluşturmaktadır. Birinci aşamada mimari özellik kategorileri tanımlanmakta, ikinci aşamada bu kategoriler yapının somut öğeleriyle eşleştirilmekte, üçüncü aşamada ise her eşleşme tanımlı ölçütlere göre seçilen anlatı bileşenleriyle dijital anlatıya aktarılmaktadır. Her aşamada verilen kararlar, Bölüm 3.6'da nesnel ve öznel ölçütler olarak sınıflandırılmıştır.

3.1 Birinci Aşama: Kategorilerin Tanımlanması

İlk aşama, Bölüm 2.2'de tanımlanan sekiz mimari özellik kategorisinin belirlenmesidir. Bu aşama yapıdan bağımsızdır ve yöntemsel çerçevenin kuramsal temelini oluşturur. Kategoriler, mimari özelliklerinin envanteri çıkarılabilen her kültürel miras yapısına uygulanabilir niteliktedir (Savaş & Reyhan, 2026).

3.2 İkinci Aşama: Yapının Kategoriler Üzerinden Okunması

İkinci aşamada yapı, sekiz kategorinin her biri için taranarak somut karşılıklar belirlenir. Bu okuma üç kaynak grubuna dayandırılmıştır:

a) Mimarlık tarihi literatürü
b) Kurumsal arşiv belgeleri ve rölöve çizimleri
c) Yapının bulunduğu konumda alan incelemesi

Çapanoğlu Cami için literatür taramasını Acun (1981), Acun (2005) ve Arık'ın (1971) çalışması oluşturmaktadır. Yapıya dair kurumsal arşiv belgeleri ise Sivas Vakıflar Bölge Müdürlüğü'nden elde edilmiştir.

Bu aşamanın çıktısı, her mimari özellik kategorisinin yapıdaki konumunu ve niteliğini gösteren bir eşleştirme tablosudur (Bölüm 4.2.). Eşleştirmede tek bir mimari öğenin birden fazla mimari özellik kategoriye karşılık gelebileceği kabul edilmiştir. Örneğin mihrap hem sembolik öğe hem renk kategorisi altında okunmaktadır. Bu çokluk bir belirsizlik değil, yapının katmanlılığının göstergesidir (Savaş & Reyhan, 2026).

3.3 Üçüncü Aşama: Anlatıya Aktarım ve Anlatı Bileşenlerinin Seçim Ölçütleri

Üçüncü aşamada her eşleşme sesli, metinsel ve görsel anlatı içeriğine dönüştürülerek sanal ortamda bir durağa bağlanmıştır. Anlatımda kolaylık sağlaması amacıyla bu duraklar "TAG noktası" olarak adlandırılmıştır. TAG noktaları, kullanıcıyı yapı içinde içeriden dışarıya doğru gezdirecek biçimde TAG1, TAG2, TAG3… olarak numaralandırılmış ve on dört farklı konuma yerleştirilmiştir (Şekil 1). Her TAG noktası, mimari özellik kategorilerinden en az birini içeren bir başlık altında kurgulanmış ve yedi bileşenli bir anlatı modeliyle yapılandırılmıştır.



Şekil 1. Dijital anlatı ortamında TAG'ların görünümü

Anlatı bileşenlerinin belirlenmesinde ve TAG noktalarına dağılımında, ICOMOS Kültürel Miras Alanlarının Yorumlanması ve Sunumuna İlişkin Tüzük'ün (2008a) ilkelerinden türetilen seçim ölçütleri temel alınmıştır. Tüzük, yorumlama ve sunumu kültürel mirasın korunması sürecinin bir parçası olarak tanımlamaktadır. Yorumun bilimsel ve akademik yöntemlerle elde edilen kanıtlara dayanmasını (İlke 2), alanın tarihsel, manevi ve sanatsal bağlamlarıyla birlikte ele alınmasını ve ardışık evrelerinin ayırt edilerek tarihlendirilmesini (İlke 3), kullanıcının alanla anlamlı bir ilişki kurmasının desteklenmesini (İlke 1) öngörmektedir. Yedi bileşenli anlatı modeli bu çalışmaya özgüdür; tüzük bileşenlerin kendisini tanımlamamakta, ancak bunların neden ve hangi koşullarda kullanıldığını gerekçelendiren normatif çerçeveyi sağlamaktadır. Bu doğrultuda bileşenler kullanıcının mimari öğeyi algılamasını sağlamak, öğeye ilişkin bilgiyi belgelenmiş kaynaklara dayandırmak, öğeyi tarihsel ve kültürel bağlamı içinde açıklamak, öğenin koruma değerini görünür kılmak ve kullanıcının kendi algısı üzerinden yorum üretmesine alan açmaktan oluşan beş ölçüte göre yapılandırılmıştır Bileşenlerin tanımları aşağıda verilmiştir.

1. **Bakış Yönlendirmesi:** Anlatı bu kısımda betimleyici değildir. Kullanıcıyı bakış yönüne yönlendirir ve ne göreceğini söyler. Örneğin; "Kubbeye bakın. Durun. Karşınızdaki üç boşluğa bakın." gibi söylemler şeklindedir. Kullanıcının dikkatini çekmeyi amaçlamaktadır.
2. **Yapım Tekniği:** Öğelerin nasıl yapıldığını, hangi geometrik ya da yapısal sorunu çözdüğünü açıklayan katmandır.
3. **Dönem Bağlamı:** Öğenin hangi tarihsel evreye ait olduğunu açıklar. Yapının inşa edildiği dönemin üslup özelliklerinin anlatımını içerir.
4. **Koruma ilkesi:** Her anlatı durağında ele alınan mimari özellik, ilgili uluslararası koruma ilkeleriyle ilişkilendirilir.
5. **Kullanıcıya soru:** Anlatı bir bilgi ifadesi yerine açık uçlu soruyla kapatılır. Soru o noktada dikkat çekilen mimari öğenin kullanıcıda ne uyandırdığını sorar. Bunu yaparken yanıtı adlandırmaktan ziyade kullanıcının kendi yorumuna bırakır.
6. **Hareket Yönlendirmesi**: Kullanıcıyı bir noktadan diğerine taşır. Yerdeki beyaz yuvarlaklar ile kullanıcıyı mekan içerisinde hareket ettirir. Yönlendirme butonları ile TAG'lar arası geçişler sağlanır. İşlevi yalnız teknik bir gezinmeden ibaret değildir. Işık, ölçek-oran ve sınır etmenlerinde kullanıcıya etkileşim kurması üzerinde yönlendirme söylemlerini içerir. Özellikle sınır da eşikten geçme ediminin gerçekleşmesi amacını içermekte olup bazı noktalarda ses değişiklikleri ile kullanıcıların dikkati çekilerek ve "seçim sizin, tercih sizin" gibi ifadelerle nasıl bir yol izlemesi gerektiği kullanıcıya bırakılmıştır.
7. **Kavramsal Çerçeve:** Anlatı içerisinde üç işlevi vardır. Terminolojik işlevi, kullanıcının bilmediği bir mimari terimin tanımı anlatıya yerleştirilir. Kuramsal işlevde, öğenin ürettiği deneyimin literatürdeki karşılığı anlatıya taşınır. Yorumsal işlevde ise yapıya ilişkin bir uzman değerlendirilmesi aktarılır.

Tablo 2. Anlatı bileşenlerinin seçim ölçütleri ve dayanakları (kullanım sayıları sesli anlatıya göredir)

Anlatı bileşeni	Seçim ölçütü	Kullanım	ICOMOS (2008a)	Literatür dayanağı
Bakış yönlendirmesi	Mimari öğenin fark edilmesi ve düşünsel erişimin desteklenmesi	Tüm TAG'lar (14/14)	İlke 1; 1.1	Banfi vd. (2023): söylemek yerine göstermek
Yapım tekniği	Öğenin biçimlenişi ya da yapısal/geometrik niteliği açıklanmayı gerektirdiğinde	8/14	İlke 2; 2.2	Banfi vd. (2023): ne ve nasıl; nesnel kaynak
Dönem bağlamı	Öğenin yapım evreleri ya da tarihsel gelişim içindeki konumunun aktarılması gerektiğinde	9/14	İlke 3.2	Banfi vd. (2023): ne zaman
Koruma ilkesi	Öğenin koruma değerinin ve koruma sorunlarının görünür kılınması	Tüm TAG'lar (14/14)	İlke 1.1; 5.4	ICOMOS Türkiye (2013)
Kavramsal çerçeve	Öğenin anlaşılması terminolojik, kuramsal ya da belgelenmiş uzman bilgisi gerektirdiğinde	6/14	İlke 1.3; 2.2	Psarra (2009); Banfi vd. (2023): neden
Hareket yönlendirmesi	Mimari özelliğin hareket yoluyla deneyimlenmesi anlatının parçası olduğunda	6/14	İlke 1.1	Psarra (2009)
Kullanıcıya soru	Kullanıcının kendi algısı üzerine düşünmesi ve mekânla anlamlı bağ kurması	Tüm TAG'lar (14/14)	İlke 1.2	Tilden (1957); Banfi vd. (2023): hayal gücüne alan

Bakış yönlendirmesi, koruma ilkesi ve kullanıcıya soru; algılama, koruma değeri ve yorum üretimi ölçütlerini her mimari öğe için karşıladıklarından tüm TAG noktalarında ortak bileşenler olarak kullanılmıştır. Diğer dört bileşenin TAG noktalarına atanması ise içerik ölçütlerine bağlanmıştır. Yapım tekniği, mimari öğenin biçimlenişinin ya da yapısal niteliğinin açıklanmasını gerektirdiği; dönem bağlamı, öğenin tarihsel gelişim ya da yapım evreleri içindeki konumunun aktarılması gerektiği; kavramsal çerçeve, öğenin anlaşılmasının terminolojik, kuramsal ya da belgelenmiş uzman bilgisi gerektirdiği; hareket yönlendirmesi ise ele alınan mimari özelliğin hareket yoluyla deneyimlenmesinin anlatının bir parçasını oluşturduğu durumlarda kullanılmıştır (Tablo 2). Böylece bir bileşenin bir TAG noktasında yer alıp almaması, araştırmacının serbest tercihine değil, ele alınan mimari öğenin niteliğine ve tanımlanan ölçüte bağlanmıştır. Ölçütlerin uygulanması araştırmacının yorumunu tamamen dışlamamakla birlikte her kararın gerekçesini izlenebilir kılmaktadır (Bölüm 3.6).

Bileşenlerin anlatı içindeki sırası ve dili de yorumlama ve anlatı literatürüne dayandırılmıştır. Anlatı, Banfi vd.'nin (2023) söylemek yerine göstermek kuralı doğrultusunda bakış yönlendirmesiyle açılmakta; ardından yapım tekniği, dönem bağlamı ve kavramsal çerçeve bileşenleriyle öğenin ne olduğu, ne zaman ve nasıl yapıldığı ve neden önemli olduğu sorularını yanıtlamaktadır. Psarra'nın (2009) mimari anlatıyı mekânın düzeni ve deneyimi üzerinden tanımlayan yaklaşımı doğrultusunda hareket yönlendirmesi, anlatıyı kullanıcının mekân içindeki ilerleyişine bağlamaktadır. Anlatı, Tilden'in (1957) yorumun amacını düşünmeye teşvik etmek olarak tanımlayan ilkesi ve ICOMOS'un (2008a) bireyi kendi algısı üzerine düşünmeye teşvik etme ilkesi doğrultusunda açık uçlu bir soruyla kapanmaktadır. Sesli anlatı kısa cümleler, doğrudan kullanıcıya seslenme ve duraklamalarla sözlü anlatım geleneğine yakın tutulmuştur (Tilden, 1957). Metinsel anlatı, Banfi vd.'nin (2023) nitelikli ve nesnel kaynak vurgusu doğrultusunda akademik dilde ve tam atıflı biçimde yazılmıştır. Görsel anlatı ise anlatılan mimari öğeyi kullanıcıya göstermek amacıyla oluşturulmuştur.

3.4 Sanal Ortam

Dijital aktarım olarak Matterport tabanlı 360° sanal gerçeklik sistemi kullanılmıştır. Matterport tabanlı Platformun seçim gerekçeleri şunlardır:

a) Yapının mevcut mimari karakterini yüksek çözünürlüklü biçimde temsil etme kapasitesi

b) TAG yani etiket özelliği aracılığıyla sesli, metinsel ve görsel içeriklerin belirli mimari noktalara bağlanabilmesi

c) Başa takılan görüntüleme sistemleriyle uyumlu olması

Deneyim, Meta Quest 3 başa takılan görüntüleme sistemi aracılığıyla iki aşamalı olarak kurgulanmıştır. Birinci aşamada kullanıcı, gözlük içerisindeki sanal ekran üzerinden anlatı destekli sanal gezinti turuna katılarak yapının mimari özelliklerine ilişkin bilgi edinmektedir. İkinci aşamada ise aynı yapıyı anlatı desteği olmaksızın saran sanal gerçeklik ortamında serbestçe keşfetmektedir. Bu ikili kurgu ile kullanıcının ilk aşamada edindiği bilgileri, ikinci aşamada daha yüksek düzeyde mekânsal bulunma hissi sağlayan saran sanal gerçeklik ortamında doğrudan deneyimlemesi ve ilgili mimari özellikleri kendi keşif süreci içerisinde yeniden algılaması amaçlanmıştır.

Sanal ortamda yapının sunulan fiziksel özellikleri, anlatı içeriği ve süresi ile deneyimin uygulanma sırası tüm katılımcılar için standartlaştırılmıştır. Buna karşılık, kullanıcıların algısal faktörleri ve mekâna ilişkin bireysel yorumları katılımcılar arasında farklılaşabilmektedir. Deneyim koşullarının bu şekilde standartlaştırılması, uygulamanın tüm katılımcılar için aynı yöntemsel çerçevede yürütülmesine ve elde edilen verilerin karşılaştırılabilirliğinin desteklenmesine olanak sağlamaktadır.

Sanal ortamın tercih edilmesi, ICOMOS'un (2008a) fiziksel erişimin koruma kaygıları, kültürel hassasiyetler ya da güvenlik nedenleriyle kısıtlandığı durumlarda yorumun alan dışında da sunulması gerektiğini belirten ilkesiyle (İlke 1.6) uyumludur. Bu sayede ibadet işlevini sürdüren yapının gündelik kullanımı kesintiye uğratılmadan anlatı tüm katılımcılara aynı koşullarda sunulabilmektedir.

3.5. Dijital Anlatının Sunum Biçimleri: Sesli, Metinsel ve Görsel Anlatım

Bölüm 3.3'te tanımlanan yedi anlatı bileşeni, doğrudan sesli anlatının kurgusunu oluşturmaktadır. Ancak her TAG noktasında kullanıcıya sesli, metinsel ve görsel olmak üzere üç farklı anlatım biçimi sunulmaktadır. Bu anlatım biçimleri, aynı içeriğin farklı yollarla tekrarlanması yerine, birbirini tamamlayan farklı işlevler üstlenecek biçimde kurgulanmıştır. On dört TAG noktasının tamamı bu doğrultuda ayrı ayrı incelenmiş ve anlatım biçimlerinin işlevsel dağılımı Tablo 3'te gösterilmiştir.

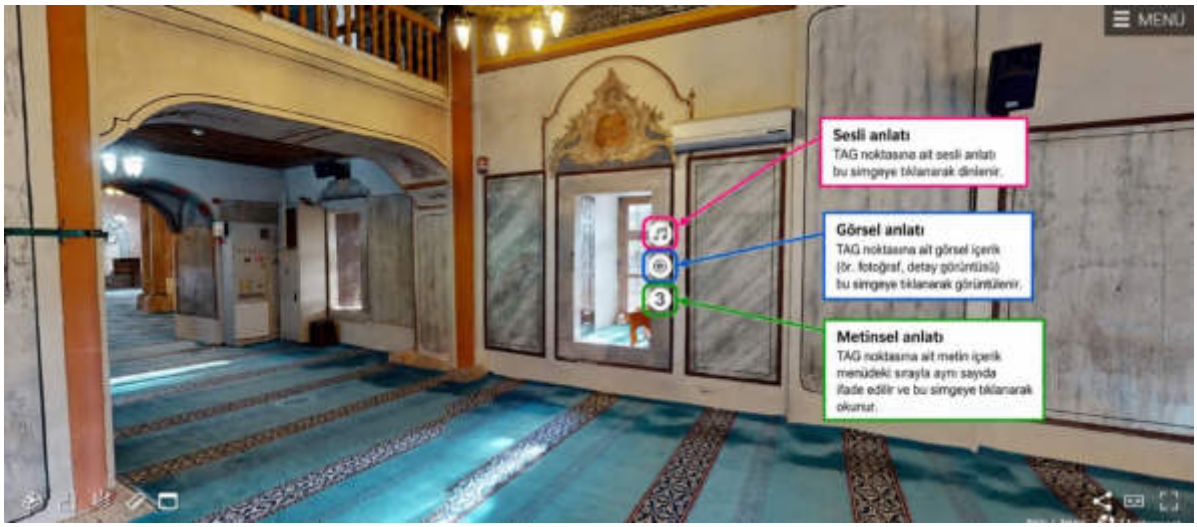
Tablo 3. Sesli, metinsel ve görsel anlatım biçimlerinin içeriklerinin dağılımı

	Sesli anlatı	**Metinsel anlatı**	**Görsel anlatı**
İşlev	Mekânsal deneyimi yönlendirir	Bilgiyi ayrıntılandırır ve kaynaklandırır	Mimari öğeyi görsel olarak görünür kılar
Bakış yönlendirmesi	14 / 14	–	fotoğrafın kendisi
Hareket yönlendirmesi	6 / 14	–	–
Kullanıcıya soru	14 / 14	–	–
Yapım tekniği	8 / 14	8 / 14	–
Dönem bağlamı	9 / 14	9 / 14	–
Koruma kriteri	14 / 14	14 / 14	–
Kavramsal çerçeve	6 / 14	14 / 14	–
Dil	Sözlü anlatım, ikinci tekil şahıs	Akademik dil, tam atıflı	–
Toplam Kelime Sayısı	~2.685 kelime	~1.367 kelime	14 fotoğraf

Sesli anlatı, kullanıcının mekânsal deneyimini yönlendirir. Yedi anlatı bileşeninin tamamı yalnızca bu kanalda bulunmakta; bakış yönlendirmesi, hareket yönlendirmesi ve kullanıcıya soru bileşeni görsel ve metinsel anlatıda yer almamaktadır. Sesli anlatı, zamana bağlı bir aktarım biçimidir; kullanıcı içeriği kendi okuma hızına göre ilerletmek yerine, anlatının belirlenen temposunu takip eder. Bu özellik, anlatı bileşenlerinin belirli bir sıra içerisinde sunulmasına olanak tanımaktadır. Böylece kullanıcı önce ilgili mimari öğeye yönlendirilmekte, ardından öğeye ilişkin bilgiyi edinmekte ve anlatının sonunda yöneltilen soru aracılığıyla kendi deneyimi üzerine düşünmeye teşvik edilmektedir.

Metinsel anlatı, bilgiyi ayrıntılandırır ve kaynaklandırır. On dört metnin hiçbirinde bakış yönlendirmesi, hareket yönlendirmesi ya da kullanıcıya yöneltilen soru bulunmamaktadır. Metin kullanıcıya seslenmez, yapıyı anlatır. Buna karşılık koruma ilkeleri on dört metnin tamamında yer almaktadır. Metinsel anlatı toplam kelime sayısı olarak sesli anlatının yaklaşık yarısı kadardır; bu kısalık bir özetleme değildir. Bunun yerine kullanıcıya seslenen katmanların çıkarılmasının doğrudan sonucudur.

Görsel anlatı, mimari öğeyi görsel olarak görünür kılar. Her TAG için yapıdan çekilmiş bir fotoğraf sunulmakta ve anlatılan mimari öğenin yapıdaki karşılığı gösterilmektedir. Bu anlatının işlevi süsleme değil, gösterme edimidir (Şekil 2.).



Şekil 2. TAG noktasında sesli, görsel ve metinsel anlatı simgelerinin açıklaması

Her TAG noktasında sesli, metinsel ve görsel anlatım içerikleri ayrı bağlantılara gömülerek yan yana veya alt alta konumlandırılmıştır. Bu içerikler, menü üzerinden ilgili TAG noktası seçildiğinde kullanıcının belirlenen bakış yönü içerisinde doğrudan görebileceği bir açıya yerleştirilmiştir. Sesli anlatılar ses simgesiyle, görsel anlatılar merkezinde nokta bulunan dairesel bir simgeyle, metinsel anlatılar ise menüdeki TAG sıralamasıyla eşleşen numaralandırılmış simgelerle temsil edilmiştir (Şekil 3.).



Şekil 3. Dijital anlatı ortamında sesli, görsel ve metinsel anlatı görünümü

Anlatının üç biçimde sunulması, Banfi vd.'nin (2023) anlatının farklı duyular aracılığıyla deneyimlenmesi gerektiği yönündeki önerisiyle ve ICOMOS'un (2008a) yorumun farklı hedef kitlelere ulaşacak biçimde tasarlanmasını öngören ilkesiyle (İlke 1.3) örtüşmektedir. Böylece aynı içerik, işitsel, okumaya dayalı ve görsel alışkanlıklara sahip kullanıcılar için birbirini tamamlayan üç yolla sunulmaktadır.

3.6 Anlatı Kararlarının Gerekçelendirilmesi: Nesnel ve Öznel Ölçütler

Önerilen yöntemde anlatı içeriğine ilişkin kararlar, ICOMOS (2008a) tüzüğü temel alınarak gerekçelendirilmiştir. Tüzük, yorumun bir yandan kabul görmüş bilimsel yöntemlerle elde edilen kanıtlara dayanmasını (İlke 2), alanın birbirini izleyen evrelerini ayırt edip tarihlendirmesini (İlke 3.2) ve özgünlüğe saygı göstermesini (İlke 4) ister. Diğer yandan bireyleri alana ilişkin kendi algıları üzerine düşünmeye teşvik etmesini ve alanla anlamlı bir bağ kurmalarına yardımcı olmasını (İlke 1.2) öngörür. Bu ikili beklenti doğrultusunda yöntemde yapının kendisine ilişkin kararlar nesnel ölçütlere, kullanıcının deneyimine ilişkin kararlar ise kuramsal kaynağa dayandırılan öznel ölçütlere bağlanmıştır. Ölçütler, yöntemdeki karşılıkları ve dayandıkları tüzük ilkeleri Tablo 4'te sunulmuştur.

Nesnel ölçütler, aynı kaynaklar kullanıldığında başka bir araştırmacı tarafından denetlenebilen ve yeniden üretilebilen ölçütlerdir. Bir mimari özellik kategorisi, yalnızca yapıda gözle görülür ve konumu gösterilebilir bir karşılığı bulunduğunda anlatıya alınmıştır (N1). Yapım tekniği ve dönem bağlamına ilişkin her bilgi mimarlık tarihi literatürüne ya da kurumsal arşiv belgelerine dayandırılmış ve metinsel anlatıda kaynaklarıyla birlikte verilmiştir (N2). Anlatının içten dışa ilerleyen sırası, araştırmacının tercihi olarak değil, yapının belgelenmiş iki inşa evresinin kronolojisine göre belirlenmiştir (N3). Bu karar, yorumun alanın birbirini izleyen evrelerini ayırt etmesi ve tarihlendirmesi gerektiğini belirten tüzük ilkesinin doğrudan karşılığıdır. Her TAG noktası, ele alınan mimari özelliğin niteliğine karşılık gelen bir uluslararası koruma belgesiyle ilişkilendirilmiş (N4); restorasyon müdahaleleri ve kayıplar da anlatının dışında bırakılmamıştır (N5).

Öznel ölçütler ise araştırmacının yorumunu içeren, ancak her biri belirli bir kuramsal kaynağa ya da tüzük ilkesine bağlanarak gerekçesi izlenebilir kılınan ölçütlerdir. Kategorilerin kullanıcı deneyimindeki işlevi, örneğin ışığın atmosfer ve yönlenme üzerindeki etkisi, Tablo 1'de gösterilen kuramsal kaynaklardan türetilmiştir (Ö1). Yedi anlatı bileşeninden hangilerinin bir TAG noktasında kullanılacağı Tablo 2'deki içerik ölçütlerine bağlanmıştır; ancak bir mimari öğenin örneğin bir kavram açıklaması gerektirip gerektirmediğine karar vermek araştırmacının yorumunu içerdiğinden bu ölçüt öznel grupta değerlendirilmiştir (Ö2). Bakış ve hareket yönlendirmesi; Tilden'in (1957) yorumlama ilkeleri, Psarra'nın (2009) mimari anlatı yaklaşımı ve Banfi vd.'nin (2023) göstermeye dayalı anlatı kuralı doğrultusunda kurgulanmıştır (Ö3). Her anlatının sonunda yöneltilen açık uçlu soru, bireyin kendi algısı üzerine düşünmesini teşvik etmek amacıyla bilinçli olarak öznel tutulmuştur (Ö4). Anlatının üç biçimde sunulması ve dil düzeyi, 18–55 yaş arası yerel halktan oluşan hedef kitlenin farklı okuma alışkanlıkları gözetilerek belirlenmiştir (Ö5).

Tablo 4. Anlatı kararlarının nesnel ve öznel ölçütleri ve ICOMOS (2008a) tüzüğündeki karşılıkları

Ölçüt	Tür	Yöntemdeki karşılığı	ICOMOS (2008a) ilkesi
N1. Görünürlük ve konumlanabilirlik	Nesnel	Kategorinin yapıda rölöve, fotoğraf ya da alan incelemesiyle gösterilebilir bir karşılığının bulunması (Bölüm 2.2; Tablo 5)	İlke 2.2: Alanın iyi araştırılmış, çok disiplinli incelemesi
N2. Belgesel dayanak	Nesnel	Yapım tekniği ve dönem bilgisinin literatür, arşiv belgeleri ve rölöveye dayanması; metinsel anlatıda tam atıf	İlke 2.1: Bilgi kaynaklarının belgelenmesi ve erişilebilir kılınması
N3. Kronolojik sıra	Nesnel	Anlatının içten dışa ilerlemesi; A Bloğu (1777–1779) ve B Bloğu (1794) düzeni	İlke 3.2: Birbirini izleyen evrelerin ayırt edilmesi ve tarihlendirilmesi
N4. Koruma ilkesiyle eşleşme	Nesnel	Her TAG noktasının en az bir uluslararası koruma belgesiyle ilişkilendirilmesi (Tablo 8)	İlke 1.1 ve İlke 4: Korumanın öneminin aktarılması; özgünlüğe saygı
N5. Koruma sorunlarının görünürlüğü	Nesnel	Restorasyon müdahaleleri ve kayıpların anlatıya katılması (TAG3, TAG13)	İlke 5.4: Alandaki koruma sorunlarına ilişkin farkındalık
Ö1. Deneyimsel işlev	Öznel	Her kategoriye kuramsal kaynaktan türetilen bir deneyimsel işlev atanması (Tablo 1)	İlke 1.1: Kişisel deneyimin zenginleştirilmesi
Ö2. Bileşen seçimi	Öznel	Tablo 2'deki içerik ölçütlerinin her TAG noktasına uygulanması (Bölüm 4.4)	İlke 3.1: Alanın çok yönlü bağlamlarıyla yorumlanması
Ö3. Deneyim kurgusu	Öznel	Bakış ve hareket yönlendirmesi; eşikten geçme edimi	İlke 1.1: Kişisel deneyimin zenginleştirilmesi
Ö4. Açık uçlu soru	Öznel	Her anlatının kullanıcıya yöneltilen bir soruyla kapanması	İlke 1.2: Bireyin kendi algısı üzerine düşünmeye teşvik edilmesi
Ö5. Hedef kitle ve sunum biçimi	Öznel	Sesli, metinsel ve görsel olmak üzere üç anlatım biçimi; dil düzeyinin hedef kitleye göre ayarlanması	İlke 1.3: Hedef kitlenin tanımlanması

Bu ayrım, yöntemin tekrarlanabilirliği açısından belirleyicidir. Nesnel ölçütlere bağlı kararlar farklı bir yapıda aynı biçimde uygulanabilir; öznel ölçütlere bağlı kararlar ise her yapıda yeniden yorumlanmalıdır. Ancak bu yorumun dayandığı kuramsal kaynak ve tüzük ilkesi sabit tutulduğu için karar süreci izlenebilir kalmaktadır. Tablo 2 ve Tablo 4, tüzüğün yorum programlarının belgelenmesi ve arşivlenmesi gerektiğini belirten ilkesi (İlke 2.5) doğrultusunda bu kararların kaydını oluşturmaktadır. Matterport ortamındaki TAG yapısı da içeriğin sonradan gözden geçirilmesine ve genişletilmesine olanak tanımaktadır (İlke 7.2).

4. UYGULAMA: ÇAPANOĞLU CAMİİ

Bu bölümde, Bölüm 3'te tanımlanan üç aşamalı yöntemsel yaklaşım Yozgat Çapanoğlu Camii üzerinde uygulanmaktadır. Önce yapı tanıtılarak alan seçiminin gerekçeleri açıklanmakta; ardından mimari özellik kategorilerinin yapıdaki karşılıkları, anlatı kurgusu ve on dört durak, üç örnek TAG noktası üzerinden aktarımın gösterimi ve aktarımın koruma söylemiyle bağlantısı sunulmaktadır.

4.1 Yapının Tanıtımı ve Alan Seçim Gerekçesi

Çapanoğlu Cami, Yozgat il merkezinde yer almaktadır. Temelleri 1777 yılında atılan yapı iki evrede tamamlanmıştır. Birinci evrede, Çapanoğlu ailesinden Mustafa Bey tarafından 1777–1779 yılları arasında bugünkü iç cami bölümü yaptırılmıştır. İkinci evrede, Süleyman Bey tarafından 1794 yılında dış cami, revak ve avlu düzeni eklenmiştir. Yapının mimarı bilinmemekte; ancak yapı Osmanlı Barok mimarisinin Anadolu'daki özgün örneklerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Acun, 1981).

Yapının, bu sistematik yaklaşımın uygulama alanı olarak seçilmesinin üç temel sebebi vardır. Birincisi, Yozgat kentinin tarihsel ve simgesel merkezinde yer alması ve yerel halk tarafından güçlü bir şekilde sahiplenilmesidir. Bu niteliğiyle yapı, Lynch'in (1960) tanımladığı anlamda güçlü bir belirteç (landmark) işlevi görmektedir. İkincisi yapının iki ayrı inşaat evresine dair olan katmanlılığı, sekiz kategorinin tamamına somut karşılık bulunmasını sağlamaktadır. Üçüncüsü Barok etkiler ve yerel malzeme geleneğinin bir arada okunabilmesidir.

4.2 Kategorilerin Yapıdaki Karşılıkları

Sistematik yaklaşımın ikinci aşaması uyarınca sekiz kategori yapı üzerinde okunmuş ve Tablo 5'teki eşleştirme elde edilmiştir.

Tablo 5. Mimari özellik kategorilerinin Çapanoğlu Cami'ndeki karşılıkları

Kategori	Çapanoğlu Camii'ndeki somut karşılığı
Işık	İç camide kubbe kasnağındaki on altı yuvarlak kemerli vitray pencere; dış camide altta sekiz yuvarlak kemerli, üstte sekiz ajurlu olmak üzere iki katlı pencere düzeni
Doku	Beyaz kesme taş (1777–1779) ile kahverengi kesme taş (1794) kontrastı; İyon başlıklı çift mermer sütunlar
Renk	Mihrap ve minberde kırmızı, siyah, beyaz, sarı ve yeşil damarlı beş farklı doğal mermer; taç kapıda siyah, beyaz, açık sarı ve kırmızı mermerin nöbetleşe dizilişi, kalem işleri
Ölçek-Oran	15,15 m çaplı ana kubbe; yaklaşık 21 m iç yükseklik; kubbenin insan bedeniyle kurduğu oran ilişkisi
Sınır Koşulları	İç cami ile dış camiyi bağlayan yuvarlak kemerli üç açıklık; üç bölmeli revak; avlu duvarları ve kapıları; platform ve merdivenler
Sembolik Öğeler	Mihrap ve minber; taç kapı ve üzerindeki tuğra biçimli yazı; üst mahfil tonozundaki üç pano; Çapanoğlu Türbesi'ndeki lahitler
Sıcak Renkler	Altın yaldızlı kalem işleri ve lahit bezemeleri; mihrap ve minberdeki kırmızı-sarı damarlı mermerler
Soğuk Renkler	Beyaz kesme taş dış cephe, mihrap ve minberdeki renkler

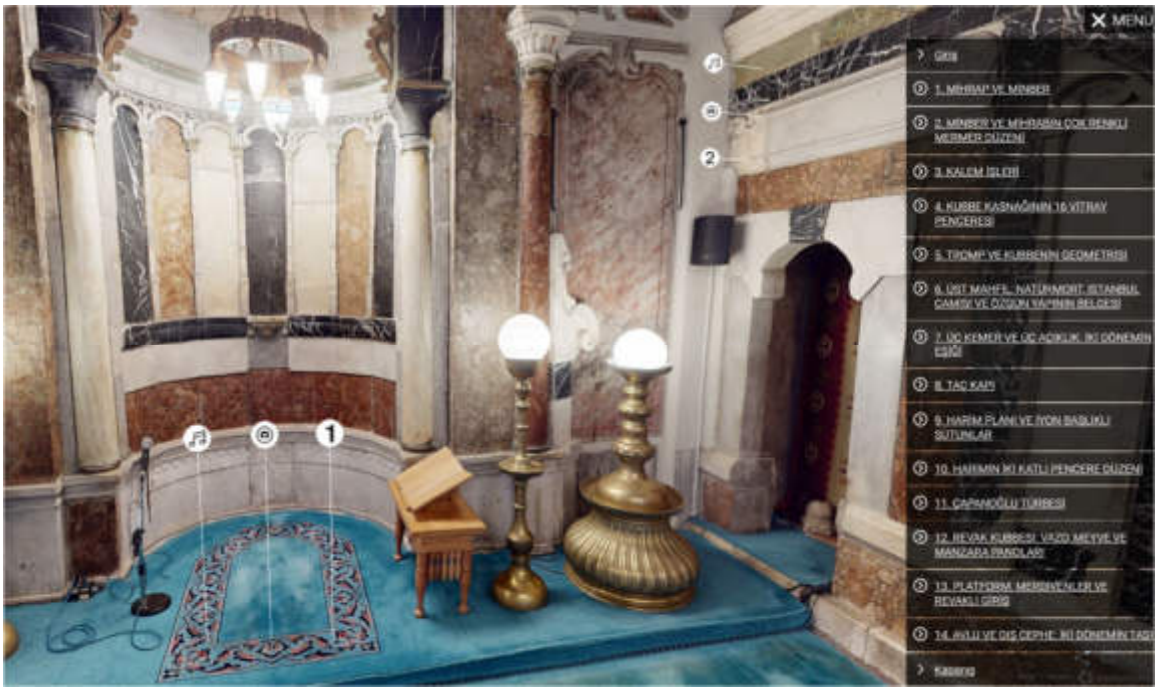
Camiyi içeriden dışarıya doğru deneyimlerken kategorilerin hepsine çok katmanlı olan bu cami de karşılık bulunmuştur. Kategorilerin bazıları hem iç hem dış camide karşılık bulmaktayken bazıları ise ağırlıklı olarak caminin bir bölümünde yoğunlaşmaktadır.

Bu dağılım, anlatı kurgusunun mekânsal sırasını doğrudan belirlemiştir.

4.3 Anlatı Kurgusu ve On Dört Durak

Çapanoğlu Cami için kurgulanan dijital anlatı, giriş ve kapanış anlatıları ile birlikte on dört TAG durağından oluşmaktadır. Duraklar, yapının iki inşa evresine karşılık gelen iki blok altında düzenlenmiştir: A Bloğu iç camiye (1777–1779) ait yedi durağı, B Bloğu dış cami, türbe, revak ve avluya (1794) ait yedi durağı kapsamaktadır.

Anlatı kurgusunun oluşturulmasındaki temel karar yapının okunma yönüne ilişkindir. Fiziksel deneyimlediğimiz bir yapıyı keşfetmeye çoğunlukla dışarıdan içeriye yönlenerek yaparız. Dijital deneyimde ise kullanıcıyı istediğimiz şekilde yönlendirebiliriz. Bu bağlamda bu anlatıda yapının özünden başlayarak dışarıya doğru ilerlenmektedir. Böylece kullanıcı, mekânsal bir gezinti yapmakla kalmayıp yapının oluşum sırasını izlemekte; 1777'den 1794'e doğru hareket etmektedir. Bu kararın anlatısal karşılığı, 7. durakta belirginleşmektedir. İki yapım aşamasını bağlayan üç kemerli açıklık, kullanıcının içinden geçtiği bir tarihsel eşiğe dönüşür (Şekil 4.) (Tablo 6.).



Şekil 4. Dijital anlatı ortamında menünün görünümü

Tablo 6. Çapanoğlu Camii dijital anlatı durakları

No	Durak	Blok	Kategori
G	Giriş — Karşılama	—	—
1	Mihrap ve minber	A	Sembolik öğeler
2	Minber ve mihrabın çok renkli mermer düzeni	A	Sıcak ve soğuk renkler
3	Kalem işleri	A	Renk
4	Kubbe kasnağının 16 vitray penceresi	A	Işık
5	Tromp ve kubbenin geometrisi	A	Ölçek-oran
6	Üst mahfil: natürmort, İstanbul camisi ve özgün yapının belgesi	A	Renk + sembolik öğeler
7	Üç kemer ve üç açıklık: iki dönemin eşiği	A	Sınır koşulları
8	Taç kapı	B	Sembolik öğe + renk
9	Harim planı ve İyon başlıklı sütunlar	B	Doku + sembolik öğe
10	Harimin iki katlı pencere düzeni	B	Işık
11	Çapanoğlu Türbesi	B	Sembolik öğe
12	Revak kubbesi: vazo, meyve ve manzara panoları	B	Renk + sembolik öğe
13	Platform, merdivenler ve revaklı giriş	B	Geçiş + sınır koşulları
14	Avlu ve dış cephe: iki dönemin taşı	B	Sınır koşulları + doku + soğuk renkler
K	Kapanış	—	—

Duraklarda üç farklı anlatıdan biri olan sesli anlatı süreleri, içeriğin yoğunluğuna göre yaklaşık 37 ile 152 saniye arasında değişmektedir. En kısa anlatı, 2 numaralı duraktır (~37 saniye); en uzun anlatı ise kullanıcıların bilgilendirildiği giriş anlatısıdır. Her duraktaki anlatı süreleri Tablo 7'de yer almaktadır. Toplam 25 dakika 55 saniyedir. Sesli anlatılar yapay zekâ tabanlı çevrim içi ses sentezleme platformunda (ElevenLabs) araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 7. Dijital sesli anlatı süreleri

Dijital sanal gezinti ortamındaki menüde yer alan TAG noktaları	**Zaman (Saniye)**
Giriş	~152 saniye
1. Mihrap ve Minber	~126 saniye
2. Minber ve Mihrabın Çok Renkli Mermer Düzeni	~37 saniye
3. Kalem İşleri	~66 saniye
4. Kubbe Kasnağının 16 Vitray Penceresi	~69 saniye
5. Tromp ve Kubbenin Geometrisi	~142 saniye
6. Üst Mahfil: Natürmort, İstanbul Camisi ve Özgün Yapının Belgesi	~130 saniye
7. Üç Kemer ve Üç Açıklık: İki Dönemin Eşiği	~113 saniye
8. Taç Kapı	~65 saniye
9. Harim Planı ve İyon Başlıklı Sütunlar	~53 saniye
10. Harimin İki Katlı Pencere Düzeni	~62 saniye
11. Çapanoğlu Türbesi	~84 saniye
12. Revak Kubbesi: Vazo, Meyve ve Manzara Panoları	~81 saniye

13. Platform, Merdivenler ve Revaklı Giriş	~143 saniye
14. Avlu ve Dış Cephe: İki Dönemin Taşı	~115 saniye
Kapanış	~117 saniye
Toplam	25 dakika 55 saniye

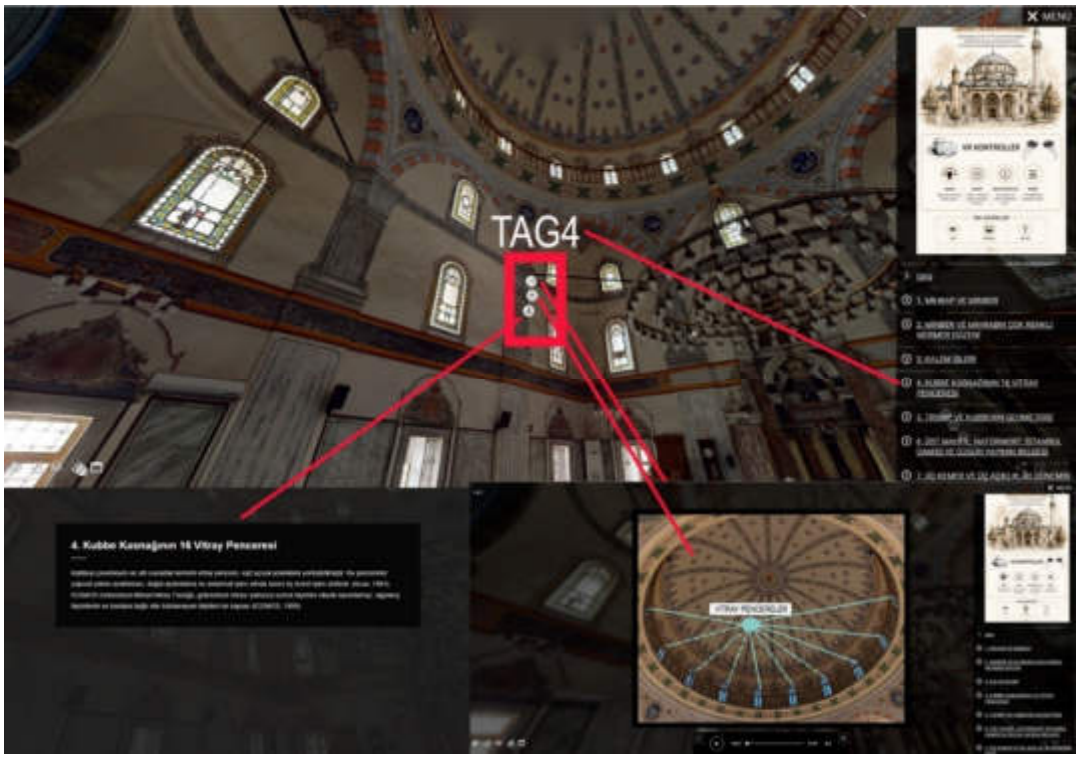
4.4 Aktarımın Üç Örnek Üzerinden Gösterimi

Yedi anlatı bileşeninin TAG noktalarındaki kullanım biçimi, anlatı bileşeni sayısının kademeli olarak arttığı üç örnek üzerinden incelenebilir. Her üç örnekte bakış yönlendirmesi, koruma ilkesi ve kullanıcıya soru bileşenleri ortak olarak yer alırken, diğer bileşenlerin kullanımı ele alınan mimari öğenin niteliğine ve anlatım gereksinimine göre farklılaşmaktadır. Örnekler, Tablo 2'deki atama ölçütlerinin TAG düzeyinde nasıl uygulandığını göstermektedir.

Örnek 1. Işık Kategorisi: TAG4 – Kubbe Kasnağındaki 16 Vitray Pencere

Bu TAG noktasındaki anlatı, dört anlatı bileşeni üzerinden kurgulanmıştır. Bakış yönlendirmesi bileşeni, "Kubbeye bakın. On altı pencere." ifadesiyle kullanıcının dikkatini kubbe kasnağındaki pencerelere yönlendirmektedir. Ardından, kasnakta eşit açısal aralıklarla sıralanan on altı yuvarlak kemerli renkli cam mozaik pencerenin mimari özellikleri aktarılmaktadır. Yapım tekniği bileşeninde, pencerelerin kasnak üzerindeki geometrik düzeni açıklanmakta; her bir pencerenin merkez açısının eşit olması üzerinden bu düzenin estetik ve yapısal niteliğine dikkat çekilmektedir. Koruma ilkesi bileşeninde ise anlatı, ICOMOS Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü'nün (1999) geleneksel mirası yalnızca somut biçimleriyle değil, bunların algılanma biçimleri ve somut olmayan ilişkileriyle birlikte ele alan yaklaşımıyla ilişkilendirilmektedir. Bu doğrultuda pencerelerden süzülen ışık, mimari öğenin kullanıcı tarafından algılanma ve deneyimlenme biçiminin bir parçası olarak ele alınmaktadır. Kullanıcıya soru bileşeni, "Bu ışığın altında durmak size ne hissettiriyor?" sorusuyla kullanıcının dikkatini kendi mekânsal deneyimine yöneltmektedir. Dönem bağlamı, kavramsal çerçeve ve hareket yönlendirmesi bileşenlerine ise bu TAG noktasında yer verilmemiştir. Ele alınan mimari öğenin aktarımı dönemler arası bir karşılaştırma, ayrıca açıklanması gereken bir kavram ya da kullanıcının fiziksel olarak farklı bir konuma yönlendirilmesini gerektirmediğinden, söz konusu bileşenler anlatı kurgusuna dâhil edilmemiştir.

Aynı TAG'ın metinsel anlatısı elli dört kelimedir ve sesli anlatının yönlendirici bölümlerini tümüyle dışarıda bırakır: pencerelerin sayısı, yerleşimi ve üç işlevi aktarılır, ardından Acun (1981) ve ICOMOS (1999) kaynak olarak verilir. Görsel anlatı ise kubbe kasnağının fotoğrafıyla hangi pencerelerden söz edildiğini sabitler (Şekil 5.).

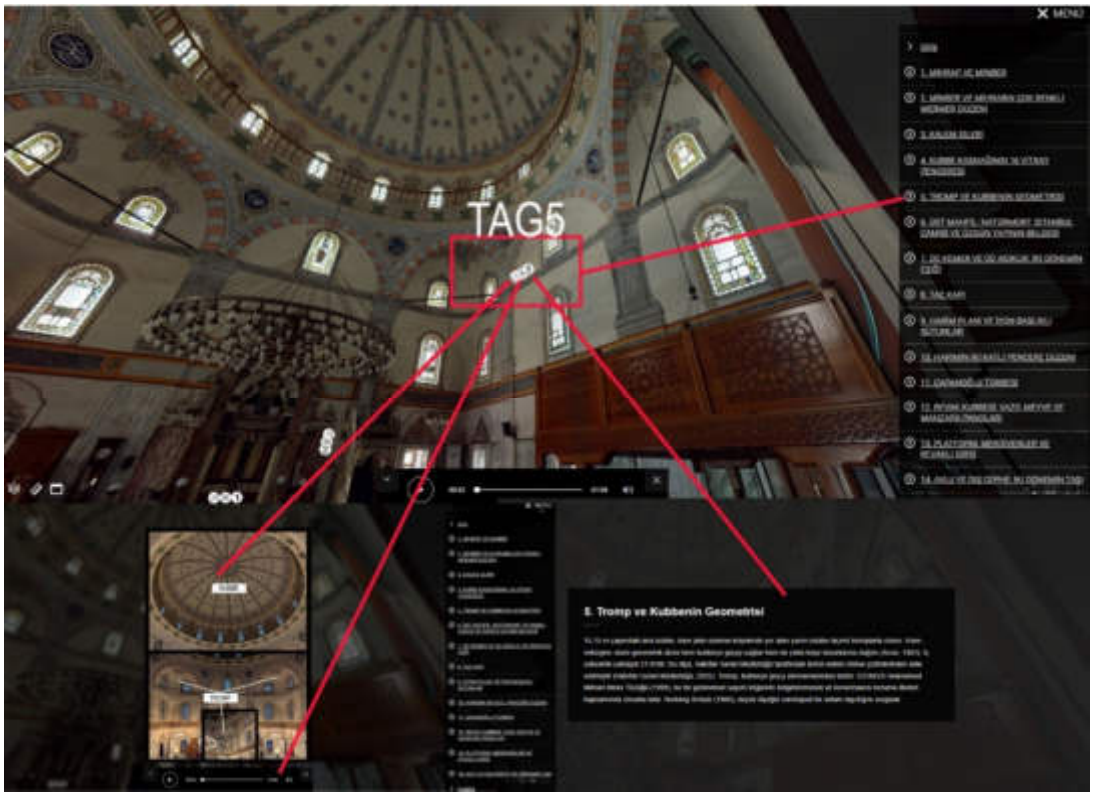


Şekil 5. TAG4'teki sesli, görsel ve metinsel anlatı görünümü

Örnek 2. Ölçek-Oran Kategorisi: TAG5 – Tromp ve Kubbenin Geometrisi

Bu TAG noktasındaki anlatı, altı anlatı bileşeni üzerinden kurgulanmıştır. Bakış yönlendirmesi bileşeni, kullanıcının dikkatini yeniden kubbeye yöneltmektedir. Yapım tekniği bileşeninde, kare planlı bir mekânın üzerinin dairesel bir kubbeyle örtülmesinde ortaya çıkan geometrik geçiş problemi ele alınmakta olup ardından kullanıcının dikkatini köşelere yönlendirilerek trompların bu geçişteki işlevi açıklanmaktadır. Bu çerçevede kareden sekizgene oradan da daire biçimine ilerleyen geometrik geçiş kullanıcıya adım adım aktarılmaktadır. Kavramsal çerçeve bileşeninde, Norberg-Schulz'un (1980) mekânsal ölçek ile insanın mekânı algılama ve anlamlandırma biçimi arasındaki ilişkiye yönelik yaklaşımından yararlanılmaktadır. Bu TAG noktasındaki sesli anlatıda kullanıcı sesle, 15,15 m çapındaki kubbe ile yaklaşık 21 m'lik iç yüksekliği algılayabilmesi için önce sanal ekran üzerinden gözlemlemesi önerilmektedir. Ardından sesli anlatıda saran sanal gerçeklik ortamında da aynı yerden geçildiğinde başını yukarı yönelterek mekânsal ölçeği doğrudan deneyimlemesi yönünde öneride bulunulmaktadır. Koruma ilkesi bileşeninde ise anlatı, ICOMOS Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü'nün (1999) geleneksel yapım tekniklerinin belgelenmesine yönelik yaklaşımıyla ilişkilendirilmektedir. Kullanıcıya soru bileşeni, aktarılan mimari ve kavramsal bilgiyi kullanıcının kendi mekânsal deneyimi üzerinden değerlendirmesine olanak tanımaktadır. Anlatı, hareket yönlendirmesi bileşeniyle tamamlanmakta; kullanıcı yerdeki beyaz yönlendirme işaretlerini izleyerek üst mahfile çıkarılmakta ve menü aracılığıyla bir sonraki TAG noktasına yönlendirilmektedir. Dönem bağlamı bileşenine ise bu TAG noktasında yer verilmemiştir; çünkü burada tromp belirli bir dönemsel karşılaştırmanın konusu olarak değil, kubbeye geçişi sağlayan bir yapım tekniği olarak ele alınmaktadır.

Aynı TAG'ın metinsel anlatısı, sesli anlatının bakış yönlendirmesi, hareket yönlendirmesi ve kullanıcıya soru gibi deneyimi yönlendiren bölümlerini içermemektedir. Metinde, kare planlı mekândan kubbeye geçişi sağlayan trompların işlevi ile kubbenin çapı ve iç yüksekliğine ilişkin bilgiler daha kısa biçimde aktarılmış; sesli anlatıdan farklı olarak bu bilgiler Acun (1981) ve ICOMOS (1999a) kaynaklarıyla doğrudan ilişkilendirilmiştir. Görsel anlatıda ise trompların ve kubbenin fotoğrafına yer verilerek sesli ve metinsel anlatıda sözü edilen geometrik geçişin görsel karşılığı sunulmuştur (Şekil 6.).



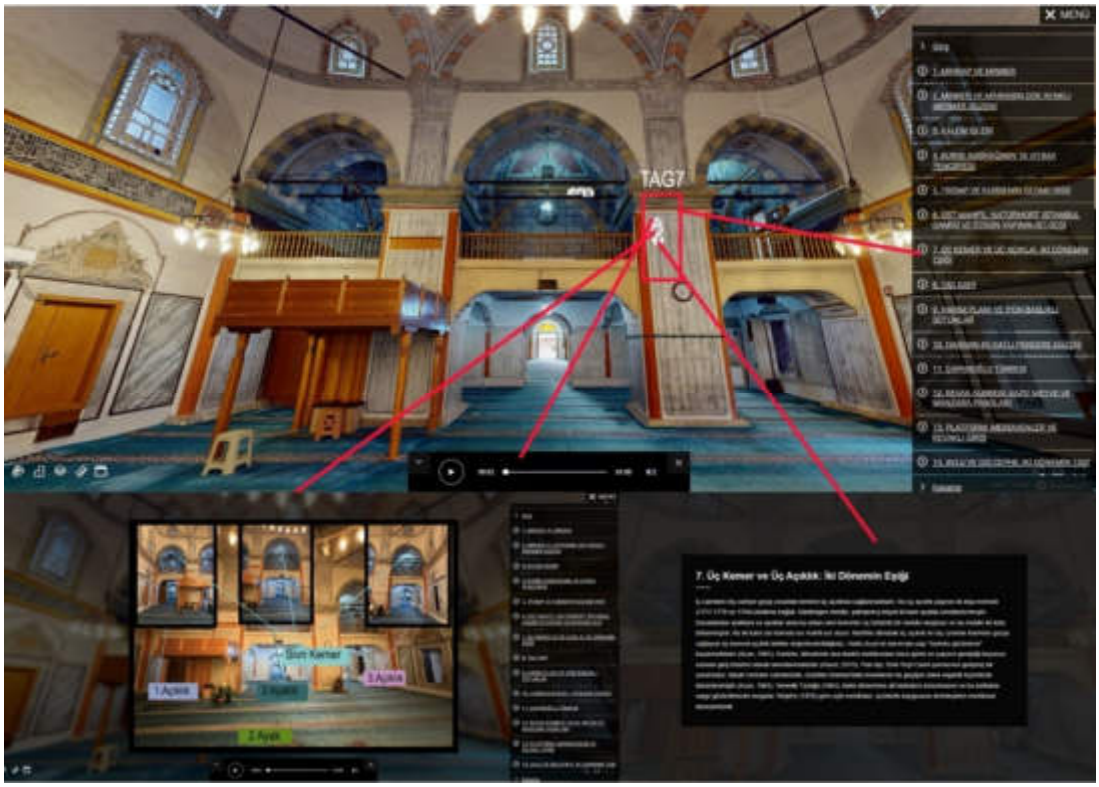
Şekil 6. TAG5'teki sesli, görsel ve metinsel anlatı görünümü

Örnek 3. Sınır Koşulları Kategorisi: TAG7 – Üç Kemer ve Üç Açıklık

Bu TAG noktasındaki anlatı, yedi anlatı bileşeninin tamamının birlikte kullanıldığı tek örnektir. Bakış yönlendirmesi bileşeni, kullanıcının dikkatini karşısında yer alan üç açıklığa yönlendirmektedir. Yapım tekniği bileşeninde, pahlanmış köşelere sahip kare ayaklar ve bu ayaklar arasındaki sivri kemerler kısaca tanımlanmaktadır. Dönem bağlamı bileşeninde, üç açıklık 1777 ve 1794 tarihli iki yapım evresi arasında mekânsal bir eşik olarak ele alınmakta ve plan düzeninin İznik Yeşil Cami şemasının gelişmiş bir yorumu olduğu aktarılmaktadır. Kavramsal çerçeve bileşeninde, Acun'un (1981) söz konusu düzenlemeyi "narteks görünümü" olarak nitelendirmesi, Hasol'un (2013) narteks tanımı ve Relph'in (1976) eşik mekânlarına ilişkin yaklaşımı birlikte ele alınarak mimari düzenlemenin kavramsal ve kuramsal bağlamı açıklanmaktadır. Koruma ilkesi bileşeninde ise farklı yapım dönemlerinin bir arada okunabilmesi, Venedik Tüzüğü'nün (ICOMOS, 1964) farklı dönemlere ait katkılara saygı gösterilmesine ilişkin ilkesiyle ilişkilendirilmektedir.

Hareket yönlendirmesi bileşeninde, kullanıcı beyaz yönlendirme işaretlerini izleyerek ortadaki açıklıktan geçmekte ve böylece anlatıda tanımlanan eşik mekânını sanal ortamda hareket ederek deneyimlemektedir. Bu doğrultuda eşik, yalnızca hakkında bilgi verilen bir mimari unsur olarak kalmamakta; kullanıcının hareketi aracılığıyla deneyimlenen bir geçişe dönüşmektedir.

Böylece anlatıda 1777 ve 1794 tarihli iki yapım evresi arasındaki geçiş olarak açıklanan mekânsal ilişki, kullanıcının sanal ortamdaki hareketiyle de desteklenmektedir. Son olarak kullanıcıya soru bileşeni, "Şu an o eşikteyken kendinizi nerede hissediyorsunuz? Hangi dönemde, hangi mekânda?" sorusuyla kullanıcının bulunduğu mekânı ve iki yapım evresi arasındaki konumunu kendi deneyimi üzerinden değerlendirmesine yöneliktir.
Sesli anlatıda kaynaklara dayalı bilgiler, anlatının akışına uygun ve kullanıcı tarafından kolaylıkla anlaşılabilecek bir dille aktarılırken, metinsel anlatıda ilgili bilgiler akademik atıflarıyla birlikte kısa anlatı ile sunulmaktadır. Görsel anlatı ise üç kemerli açıklığın fotoğrafını sunarak anlatıda tanımlanan eşik mekânının görsel olarak tanınmasını desteklemektedir (Şekil 7).



Şekil 7. TAG7'deki sesli, görsel ve metinsel anlatı görünümü

Üç örnek, bakış yönlendirmesi, koruma ilkesi ve kullanıcıya soru bileşenlerinin tüm TAG noktalarında ortak olarak kullanıldığını; diğer dört anlatı bileşeninin ise ele alınan mimari öğenin niteliği ve anlatım gereksinimine bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir. Bu nedenle anlatı kurgusunun tutarlılığı, her TAG noktasında aynı sayıda anlatı bileşeninin kullanılmasına değil, kullanıcının mimari öğeye yönelmesini, öğeyi koruma bağlamında değerlendirmesini ve kendi deneyimi üzerinden yorumlamasını sağlayan üç temel bileşenin sürekliliğine dayanmaktadır.
Bu farklılaşma, Tablo 2'deki atama ölçütlerinin TAG düzeyinde işlediğini göstermektedir. TAG4'te ışık, dönemler arası bir karşılaştırma, kavram açıklaması ya da fiziksel yer değiştirme gerektirmediği için dönem bağlamı, kavramsal çerçeve ve hareket yönlendirmesi kullanılmamıştır. TAG5'te kare plandan kubbeye geçişin geometrik problemi yapım tekniğini, kubbe ölçeğinin algılanması kavramsal çerçeveyi ve üst mahfile geçiş hareket yönlendirmesini gerektirmiş; tromp dönemsel bir karşılaştırmanın konusu olmadığı için dönem bağlamı kullanılmamıştır. TAG7'de ise iki yapım evresi arasındaki eşik, yedi bileşenin tamamını gerekli kılmıştır.

4.5 Aktarımın Koruma Söylemiyle Bağlanması

Koruma ilkesi bileşeni kapsamında, on dört TAG noktasının her biri en az bir uluslararası koruma belgesiyle ilişkilendirilmiştir. Anlatı kurgusunda yararlanılan koruma belgeleri ve ilişkilendirildikleri TAG noktaları Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. Uluslararası Koruma Belgelerinin TAG Noktalarıyla İlişkilendirilmesi

Koruma belgesi	**Anlatıyla ilişkilendirilen koruma ilkesi**	**İlişkilendirildiği TAG noktaları**
Venedik Tüzüğü (ICOMOS, 1964)	Özgün malzeme ve belgeye saygı; anıtların hem sanat eseri hem de tarihi belge olarak korunması gerektiği; farklı dönemlere ait katkıların korunması; anıtın çevresiyle bütünlüğünün gözetilmesi	TAG3, TAG6, TAG7, TAG11, TAG13, TAG14
Nara Özgünlük Belgesi (ICOMOS, 1994)	Özgünlüğün tasarım, malzeme ve işçilik özellikleriyle birlikte değerlendirilmesi; bir anıtın özgünlük yargısı, yapının kültürel bağlamına bağlı olarak ilk tasarımını ve tarihsel evrimini içermesi	TAG8, TAG9, TAG12
ICOMOS Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü (ICOMOS, 1999a)	Mirasın algılanma biçimleri ve somut olmayan ilişkileriyle birlikte ele alınması; geleneksel yapı tekniklerinin belgelenmesinin ve korunmasının önemini	TAG4, TAG5
ICOMOS Québec Bildirgesi (ICOMOS, 2008b)	Yerin ruhunun somut ve somut olmayan unsurlar arasındaki ilişkiler bütünü olarak ele alınması	TAG2, TAG10
ICOMOS Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi (ICOMOS, 2013)	Estetik ve sanatsal değerin, kültür varlığının tasarım anlayışını, beğeni düzeyini, bezeme özelliklerini ve niteliğini yansıtması; koruma konusunda toplumsal bilincin eğitim yoluyla geliştirilmesi	Giriş, TAG1

Tablo 8, koruma ilkelerinin anlatı boyunca sistematik biçimde dağıtıldığını göstermektedir. Bu dağılım, her TAG noktasında ele alınan mimari özelliğin niteliğine göre oluşturulmuştur. Yapım tekniğinin öne çıktığı TAG noktaları ICOMOS Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü, tarihsel katmanlılığın belirginleştiği noktalar Venedik Tüzüğü, malzeme, işçilik ve özgünlük özelliklerinin ele alındığı noktalar ise Nara Özgünlük Belgesi ile ilişkilendirilmiştir. Böylece kullanıcının anlatı boyunca yalnızca yapının mimari özellikleriyle değil, bu özelliklerin korunmasına yönelik farklı yaklaşımlarla da kademeli olarak karşılaşması amaçlanmıştır.

Bu kurguda, yapının geçirdiği restorasyon müdahaleleri ve koruma sürecinde ortaya çıkan değişimler de anlatının bir parçası olarak ele alınmıştır. TAG3'te kalem işlerinin önemli bir bölümünün restorasyon sürecinde yenilendiği belirtilmekte ve ardından kullanıcıya *"Bu bir kayıp mı, yoksa süreklilik mi?"* sorusu yöneltilmektedir. Benzer biçimde TAG13'te, avludaki özgün şadırvanın yıkılması ve sütunlarının yeniden kullanılması Arık'ın (1971) aktarımına dayanılarak açıklanmakta; söz konusu sütunların günümüzde yerinde bulunmaması, kullanıcının dikkatine sunulan bir değişim olarak ele alınmaktadır.

Böylece koruma sürecinde gerçekleşen müdahale, değişim ve kayıplar anlatının dışında bırakılmamış; kullanıcının bunları fark etmesi ve kendi değerlendirmesini oluşturması anlatı kurgusunun bir parçası hâline getirilmiştir.

5. TARTIŞMA

Kültürel miras alanındaki dijital uygulamalarda tartışılması gereken temel sorun, yerin ruhu gibi soyut bir kavramın hangi bilgi seçimiyle ve hangi gerekçelerle anlatıya dönüştürüldüğünün çoğunlukla görünür olmamasıdır. ICOMOS (2008a) bu soruna iki yönden yaklaşır: Yorumun kaynaklarının belgelenmesini ve erişilebilir kılınmasını isterken (İlke 2.1), yorumun bireyin kendi algısı üzerine düşünmesine alan açmasını da bekler (İlke 1.2). Banfi vd. (2023) de sanal anlatının bir yandan nesnel kaynaklara dayanmasını, diğer yandan hayal gücüne alan bırakmasını önerir. Başka bir deyişle hem normatif belgeler hem de dijital anlatı literatürü yorumdan aynı anda nesnel ve öznel olmasını önermektedir. Bu bölümde Çapanoğlu Camii uygulamasının bu iki öneriyi nasıl karşıladığı, Bölüm 3.3 ve 3.6'da tanımlanan ölçütler üzerinden üç noktada tartışılmaktadır.

1. Bilgi seçiminin gerekçesinin görünür kılınması: Dijital miras uygulamalarında mimarlık tarihi bilgisinin doğrudan aktarılması, hangi bilginin neden seçildiğinin izlenmesini güçleştirmektedir. Bu çalışmada içerik iki düzeyde ölçüte bağlanmıştır. Kategori düzeyinde nesnel ölçütler (N1–N3) anlatının içeriğini ve sırasını belirlemiş; sekiz mimari özellik kategorisinin tamamı on dört TAG noktasına dağıtılabilmiştir (Tablo 6). Bileşen düzeyinde ise her bileşenin bir TAG noktasında yer alması Tablo 2'deki içerik ölçütlerine bağlanmıştır. Bu bağlamda mimari özellik kategorilerinin kuramsal çerçeve ile anlatı içeriği arasında işlevsel bir ara katman oluşturduğunu göstermektedir. Bununla birlikte tek bir öğenin birden fazla kategori altında okunması (örneğin mihrabın hem sembolik öğe hem renk kategorisinde yer alması) ve bir öğenin kavram açıklaması gerektirip gerektirmediğine karar verilmesi araştırmacının yorumunu gerektirmektedir. Bu durum, nesnel ve öznel ölçütler arasındaki sınırın keskin değil geçişli olduğuna işaret etmektedir.

2. Koruma söyleminin anlatının içine yerleştirilmesi: Dijital miras uygulamalarında koruma bilgisi çoğunlukla anlatıdan bağımsız, ek bir bilgi katmanı olarak sunulmaktadır. Bu çalışmada her TAG noktasının en az bir koruma belgesiyle ilişkilendirilmesi (N4) ve restorasyon müdahalelerinin anlatıya katılması (N5), tüzüğün yorumu koruma sürecinin ayrılmaz bir parçası olarak gören yaklaşımıyla (İlke 5.4) örtüşmektedir. TAG3'te kalem işlerinin yenilenmesine ilişkin bilginin ardından yöneltilen "Bu bir kayıp mı, yoksa süreklilik mi?" sorusu, nesnel bir koruma bilgisinin öznel bir değerlendirmeye açıldığı noktayı örneklemektedir. Böylece koruma ilkeleri kullanıcıya yalnızca bir kural olarak aktarılmamakta, mimari öğenin deneyimiyle birlikte sorgulanabilir hâle gelmektedir. Bu yaklaşım, koruma bilincinin eğitim yoluyla geliştirilmesini öngören ICOMOS Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi (2013) ile de uyumludur.

3. Anlamın kullanıcıyla birlikte üretilmesi: Dijital anlatıların önemli bir kısmı yerin anlamını kullanıcıya tamamlanmış bir bilgi olarak sunmaktadır. Bu çalışmada açık uçlu sorular (Ö4) ve yönlendirme kurgusu (Ö3) öznel ölçütler olarak bilinçli biçimde yönteme dahil edilmiştir. Bu tercih, yerin ruhunun farklı toplumsal aktörlerin katkısıyla sürekli yeniden inşa edildiğini vurgulayan Québec Bildirgesi (ICOMOS, 2008b) ve yorumun bireyi kendi algısı üzerine düşünmeye teşvik etmesi gerektiğini belirten tüzük ilkesiyle (İlke 1.2) uyumludur.

Çalışmanın sınırlılıkları da tüzük ilkeleri üzerinden değerlendirilebilir. Birincisi, sanal gerçeklik ortamı koku, dokunma ve bedensel hareket gibi duyusal boyutları temsil edememektedir.

Banfi vd.'nin (2023) anlatının dokunma da dâhil olmak üzere farklı duyularla deneyimlenmesi önerisi düşünüldüğünde bu eksiklik, bedensel algının merkezî olduğu bir mekân deneyiminde yöntemsel bir sınırdır. İkincisi, Matterport tabanlı sanal ortam fiziksel mekân deneyiminin tam karşılığı değildir; elde edilecek kullanıcı deneyimleri fiziksel ziyaret deneyimiyle bütünüyle örtüşmeyebilir (Whyte, 2002). Üçüncüsü, yöntemsel yaklaşım tek bir yapı üzerinde uygulanmıştır; farklı yapı türlerine uyarlanabilirliği ayrıca sınanmalıdır. Dördüncüsü, anlatı içeriği araştırmacılar tarafından oluşturulmuştur; tüzüğün yorumun uzmanlar, yerel topluluk ve diğer paydaşların anlamlı iş birliğiyle oluşturulmasını öngören kapsayıcılık ilkesi (İlke 6) bu aşamada karşılanmamıştır. Beşincisi, bildiri kullanıcı verisi toplanmadan önceki tasarım aşamasını sunmaktadır. Bu nedenle öznel ölçütlere dayalı kararların kullanıcı deneyimi üzerindeki etkisi, tüzüğün yorum programlarının ziyaretçi geri bildirimiyle sürekli değerlendirilmesini öngören ilkesi (İlke 7.3) doğrultusunda bir sonraki aşamada sınanacaktır.

6. SONUÇ

Bu bildiri, kültürel miras yapılarında yerin ruhunun mimari özellikler üzerinden okunmasını ve bu okumanın ölçütlere dayalı olarak dijital anlatıya aktarılmasını sağlayan üç aşamalı bir yöntemsel yaklaşım önermiştir. Birinci araştırma sorusuna yanıt olarak Steele'in (1981) fiziksel etmenleri, yapıda gözle görülür bir karşılığının bulunması ve kullanıcı deneyiminde tanımlı bir işlevinin olması ölçütleriyle sekiz mimari özellik kategorisine dönüştürülmüştür. Çapanoğlu Cami'nde sekiz kategorinin tamamı somut karşılık bulmuştur. Tek bir öğenin birden fazla kategori altında okunabilmesi ise yapının tarihsel ve mimari katmanlılığının bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

İkinci araştırma sorusuna yanıt olarak her eşleşme yedi bileşenli bir anlatı modeliyle on dört TAG noktasına aktarılmıştır. Bileşenlerin seçimi ve dağılımı, ICOMOS (2008a) ilkeleri ile Tilden (1957), Psarra (2009) ve Banfi vd. (2023) temel alınarak tanımlanan ölçütlere bağlanmıştır. Bakış yönlendirmesi, koruma ilkesi ve kullanıcıya soru tüm duraklarda ortak bileşenler olarak anlatının sürekliliğini sağlamış; diğer bileşenler ise ele alınan mimari öğenin niteliğine göre ölçüte bağlı olarak kullanılmıştır. Sesli anlatı mekânsal deneyimi yönlendirmiş, metinsel anlatı bilgiyi kaynaklandırmış, görsel anlatı ise mimari öğeyi görünür kılmıştır. Anlatının yapıyı belgelenmiş inşa evrelerine uygun olarak içten dışa okuması, iki evre arasındaki geçişi kullanıcının sanal ortamda hareket ederek deneyimlediği bir eşiğe dönüştürmüştür.

Çalışmanın kuramsal katkısı, yerin ruhu ile dijital anlatı arasındaki mesafeyi kapatan ara katmanın tanımlanmasıdır: Yerin ruhu doğrudan anlatılamaz, ancak mimari özellik kategorileri üzerinden okunabilir ve bu okuma aktarılabilir hâle gelir. Yöntemsel katkı, anlatı kararlarının ICOMOS (2008a) tüzüğü temelinde nesnel ve öznel ölçütler olarak ayrıştırılmasıdır. Bu ayrım, belgeye dayalı içerik ile kullanıcının yorumuna bırakılan alan arasındaki sınırı görünür kılmakta ve öznelliği ortadan kaldırmadan denetlenebilir hâle getirmektedir. Uygulama katkısı ise mimari özelliklerinin envanteri çıkarılabilen her kültürel miras yapısına uyarlanabilir ve tekrarlanabilir bir anlatı modelinin ortaya konmasıdır. Restorasyon müdahalelerinin ve kayıpların anlatıya dâhil edilmesi, dijital anlatının yalnızca bir tanıtım aracı değil, koruma bilincini geliştiren bir araç olarak da kullanılabileceğini göstermektedir.

Bildiri, kullanıcı verisi toplanmadan önceki tasarım aşamasını sunmaktadır. Bu nedenle yaklaşımın, özellikle öznel ölçütlere dayalı kararların kullanıcı deneyimi üzerindeki etkisi, tüzüğün değerlendirme ilkesi doğrultusunda bir sonraki aşamada kullanıcı geri bildirimleriyle sınanacaktır.

Sonraki çalışmalarda yaklaşımın sivil mimarlık örnekleri, endüstri mirası yapıları ve arkeolojik alanlar gibi farklı yapı türlerinde uygulanarak kategori setinin ve seçim ölçütlerinin bu bağlamlara göre yeniden düzenlenmesinin gerekip gerekmediği araştırılmalıdır.

KAYNAKÇA

Acun, H. (1981). Yozgat ve yöresi Türk devri yapıları. *Vakıflar Dergisi, XIII*, 635–716.

Acun, H. (2005). *Bozok Sancağı (Yozgat İli)'nde Türk mimarisi*. Türk Tarih Kurumu Yayınları.

Arık, R. (1971). Yozgat Çapanoğlu Camii. *Önasya, 7*(74).

Augé, M. (1995). *Non-places: Introduction to an anthropology of supermodernity*. Verso.

Banfi, F., Roascio, S., Mandelli, A., & Stanga, C. (2023). Narrating ancient Roman heritage through drawings and digital architectural representation: From historical archives, UAV and LIDAR to virtual-visual storytelling and HBIM projects. *Drones, 7*(1), 51. https://doi.org/10.3390/drones7010051

Hasol, D. (2013). *Ansiklopedik mimarlık sözlüğü*. Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.

ICOMOS. (1964). *Venedik Tüzüğü: Anıtların ve sitlerin korunması ve onarımı için uluslararası tüzük*. ICOMOS.

ICOMOS. (1994). *Nara özgünlük belgesi*. ICOMOS.

ICOMOS. (1999). *Geleneksel mimari miras tüzüğü*. ICOMOS.

ICOMOS. (2008a). *Kültürel miras alanlarının yorumlanması ve sunumuna ilişkin ICOMOS tüzüğü*. ICOMOS.

ICOMOS. (2008b). *Québec bildirgesi: Yerin ruhunun korunması*. ICOMOS.

ICOMOS Türkiye. (2013). *ICOMOS Türkiye mimari mirası koruma bildirgesi*. ICOMOS Türkiye Millî Komitesi.

Jahn, M. (2015). *Anlatıbilim: Anlatı teorisi el kitabı* (B. Dervişcemaloğlu, Çev.; 2. bs.). Dergâh Yayınları.

Lynch, K. (1960). *The image of the city*. MIT Press.

Norberg-Schulz, C. (1980). *Genius loci: Towards a phenomenology of architecture*. Rizzoli.

Psarra, S. (2009). *Architecture and narrative: The formation of space and cultural meaning*. Routledge.

Relph, E. (1976). *Place and placelessness*. Pion.

Savaş, A., & Reyhan, K. (2026). Kültürel miras yapılarında yerin ruhunun mimari özellikler üzerinden okunması: Çapanoğlu Cami örneği. In G. D. Kılıç (Ed.), *11th International Antalya Scientific Research and Innovative Studies Congress full texts book* (pp. 297–311). Liberty Publishing House.

Sivas Vakıflar Bölge Müdürlüğü. (2025). *Çapanoğlu Camii rölöve çizimleri* [Yayımlanmamış rölöve çizimleri]. Sivas Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi.

Steele, F. (1981). *The sense of place*. CBI Publishing Company.

Tilden, F. (1957). *Interpreting our heritage*. University of North Carolina Press.

Tuan, Y.-F. (1977). *Space and place: The perspective of experience*. University of Minnesota Press.

Usta, G. (2020). Mekân ve yer kavramlarının anlamsal açıdan irdelenmesi. *The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication, 10*(1), 25–30. https://doi.org/10.7456/11001100/003 IKU Açık Erişim

Venter, W. M. (2016). *People and pride: A qualitative study of place attachment and professional placemakers* [Master's thesis, University of South Florida]. Scholar Commons. University of South Florida Scholar Commons kaydı digitalcommons.usf.edu

Whyte, J. (2002). *Virtual reality and the built environment*. Architectural Press.

YAŞLI İHMALİ VE İSTİSMARINDA BİRİNCİ BASAMAK SAĞLIK HİZMETLERİ

Assist. Prof. Burcu ÇAKI DÖNER
Gaziantep Islamic Science and Technology University Faculty of Health Science, Nursing Department
ORCID: 0000-0002-3592-5121

Berzin DELİKTAŞ
Gaziantep Islamic Science and Technology University Institute of Graduate Studies, Public Health Nursing, Şahinbey
ORCID: 0009-0001-2988-2460

ÖZET
Bu seminerin amacı, yaşlı ihmalini ve istismarını tanımlamak, nedenlerini ve risk faktörlerini ortaya koymak ve birinci basamak sağlık hizmetlerinin bu sorunun erken tanılanması ve önlenmesindeki rolünü incelemektir.
Yaşlı ihmali ve istismarı, yaşlı bireyin sağlık ve iyilik halini olumsuz etkileyen ya da tehdit eden davranışları kapsayan, önemli bir halk sağlığı sorunu ve ciddi bir insan hakları ihlalidir. Fiziksel, psikolojik, ekonomik ve cinsel istismar ile ihmal biçimlerinde ortaya çıkabilen bu durum, erken ölüm dâhil olmak üzere ciddi sağlık sonuçlarına yol açabilmektedir. İhmal, yaşlı bireyin temel gereksinimlerinin karşılanmaması ve bakım sorumluluğunun yerine getirilmemesi durumunu ifade etmektedir. Fiziksel istismar; yaralanma, ağrı ve işlev kaybına neden olan eylemleri içerirken, cinsel istismar bireyin rızası dışında cinsel davranışlara zorlanmasıdır. Psikolojik istismar, bireyde korku ve sıkıntı yaratan davranışları kapsarken; ekonomik istismar, yaşlının maddi varlıklarının izinsiz kullanılması ile ilişkilidir.
Birinci basamak sağlık hizmetleri, yaşlı bireylerin sağlık sorunlarında çoğu zaman ilk başvuru noktası olması nedeniyle yaşlı istismarı ve ihmalinin erken tanılanması ve önlenmesinde kritik bir öneme sahiptir. Sağlık çalışanları, yaşlı bireylerle düzenli ve sürekli temas hâlinde olmaları sayesinde ihmal ve istismara ilişkin fiziksel, psikolojik ve sosyal belirtileri erken dönemde fark edebilecek konumdadır. Bu nedenle birinci basamak sağlık kuruluşları, riskli bireylerin belirlenmesi, gerekli yönlendirmelerin yapılması ve koruyucu müdahalelerin planlanması açısından önemli bir rol üstlenmektedir. Bu aşamada sağlık çalışanlarının konuya ilişkin; bilgi ve farkındalıklarının artırılması, risk faktörlerini tanıyabilmeleri ve uygun değerlendirme yapabilmeleri son derece önemlidir. Düzenli ev ziyaretleri, eğitim müdahaleleri ve bakım verenlere yönelik bilgilendirme çalışmaları, ihmal ve istismarın önlenmesine katkı sağlayabilmektedir. Ayrıca, bütüncül bir yaklaşımla sosyal destek mekanizmalarının güçlendirilmesi ve bireylerin baş etme becerilerinin geliştirilmesi, koruyucu hizmetlerin etkinliğini artıracaktır.
Anahtar Kelimeler: Yaşlı yetişkinler, ihmal, istismar, birinci basamak sağlık hizmeti

PRIMARY HEALTH CARE SERVICES IN ELDER NEGLECT AND ABUS

ABSTRACT
The aim of this seminar is to define elder neglect and abuse, to identify its causes and risk factors, and to examine the role of primary healthcare in the early identification and prevention of this problem.
Elder neglect and abuse is a significant public health problem and a serious human rights violation encompassing behaviors that negatively affect or threaten the health and well-being of older individuals.

This condition, which can manifest in physical, psychological, economic, and sexual abuse and neglect, can lead to serious health consequences, including premature death. Neglect refers to the failure to meet the basic needs of older individuals and the failure to fulfill care responsibilities. Physical abuse includes actions that cause injury, pain, and loss of function, while sexual abuse is forcing an individual into sexual behaviors without their consent. Psychological abuse encompasses behaviors that create fear and distress in the individual; while economic abuse is related to the unauthorized use of the older person's material assets.
Primary healthcare is critically important in the early identification and prevention of elder abuse and neglect because it is often the first point of contact for older individuals seeking medical attention. Healthcare professionals, through their regular and continuous contact with elderly individuals, are in a position to recognize physical, psychological, and social signs of neglect and abuse at an early stage. Therefore, primary healthcare facilities play a crucial role in identifying at-risk individuals, making necessary referrals, and planning preventive interventions. At this stage, increasing the knowledge and awareness of healthcare professionals on this subject, enabling them to recognize risk factors and make appropriate assessments, is extremely important. Regular home visits, educational interventions, and awareness campaigns for caregivers can contribute to the prevention of neglect and abuse. Furthermore, strengthening social support mechanisms and developing individuals' coping skills through a holistic approach will increase the effectiveness of preventive services.
Keywords: Older adults, neglect, abuse, primary care

1. GİRİŞ

Yaşlanma, her canlıda intrauterin dönemden başlayarak ölüm anına kadar devam eden bir değişim süreci olarak tanımlanmaktadır. Teknolojik gelişmelerin yaşamı kolaylaştırması, tıptaki ilerlemeler ve sağlığın korunup sürdürülmesine yönelik artan bilinç, ortalama yaşam süresini uzatmış ve bunun sonucunda toplumdaki yaşlı nüfus oranı yükselmiştir (Arpacı & Bakır, 2017).Yaşlı bireylerin sayısı ve toplam nüfus içindeki oranı, tüm ülkelerde giderek artış göstermektedir (WHO, 2021).Genel nüfus içerisindeki yaşlı birey oranının yükselmesine neden olan bu süreç "nüfus yaşlanması"olarak adlandırılmaktadır (Akkaya & Çöl, 2022). Birleşmiş Milletler Dünya Nüfus Beklentileri 2022 yılı verilerine göre; dünya nüfusunun 783 milyonunu 65 yaş ve üzeri yaşlı nüfus oluşturmaktadır (Aysan ve Yüce, 2023). Yine Birleşmiş Milletler Dünya Nüfus Beklentileri 2024 yılı verilerine göre; 2070'lerin sonlarına doğru, dünya genelinde 65 yaş ve üzeri kişilerin sayısının 2,2 milyara ulaşarak çocuk sayısını (18 yaş altı) geçmesi beklenmektedir. Ayrıca 2030'ların ortalarına gelindiğinde 80 yaş ve üzeri kişilerin sayısının 265 milyona ulaşarak bebek sayısını (1 yaş ve altı) aşması öngörülmektedir (United Nations, 2024).

Yaşlılık, insan hayatının son dönemi olup bireyin ileri yaş evresi olarak değerlendirilmektedir (Arpacı & Bakır, 2017). Nüfus yaşlanması süreci, hem sosyoekonomik alanda, hem de sağlık alanında olumsuz bazı sonuçlara neden olmaktadır (Spijker & MacInnes, 2013). Bu aşamada dikkat edilmesi gereken en önemli sosyal sorunlardan birisi de yaşlı ihmali ve istismarıdır (Atim ve ark., 2023). Yaşlı ihmali, yaşlı bireye bakmakla yükümlü kişilerin (aile üyeleri, sosyal hizmet kurumu çalışanları, özel bakıcılar), yaşlı bireyin günlük ihtiyaçlarını yeterince karşılamaması durumudur (Santos et al., 2021). Yaşlı istismarı ise; sağlık sistemlerinin, sosyal yardım kurumlarının, politika oluşturucuların ve vatandaşların acilen ele alması gereken, yıkıcı bireysel ve toplumsal sonuçları olabilen önemli bir halk sağlığı sorunudur (Pillemer et al., 2016). Uluslararası Yaşlı İstismarının Önlenmesi Kuruluşu ve Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından yayımlanan Toronto Deklarasyonu'na göre yaşlı istismarı, güven ilişkisi bulunan bir ortamda yaşlı bireye zarar veren ya da onu strese sokan, tek seferlik veya tekrarlayan uygunsuz davranışlar olarak tanımlanmaktadır (Dong, 2015).

Yaşlı bireylerin yaşam süresinin uzaması, bakım veren kişiler için yük olarak görülmeleri, ekonomik yetersizlikler, uygun olmayan yaşam koşulları, aile içi şiddet, kültürel değişimlerin yaşlıların rol ve statüsünü azaltması ve gençler tarafından daha az saygı görmeleri gibi etkenler, yaşlı ihmalinin ve istismarının artmasına neden olmaktadır (Arpacı & Bakır, 2017). Küresel meta-analizler, her dört ila altı yaşlı yetişkinden birinin bir tür istismara maruz kaldığını ve psikolojik istismar ile ihmalin en yaygın türler olarak ortaya çıktığını göstermektedir (Yunus vd., 2019; Alias vd., 2023). Ancak yaşlı bireylerin çoğu; utanç duyma, çocuklarının davranışlarından kendilerini sorumlu görme, bakım kurumuna yerleştirilmekten korkma, misillemeye uğrama veya terk edilme gibi olası nedenlerden dolayı istismarı bildirmekten kaçınabilmektedir (Santos et al., 2021). Bu durum, yaşlı ihmalinin ve istismarının bildirilenden çok daha yaygın olduğunu düşündürmektedir. Bu anlamda birinci basamak sağlık hizmetleri yaşlı bireylerle sürekli olarak temas halinde olduğundan ihmal ve istismar olaylarının fark edilmesinde önemli bir yere sahiptir (Akkaya ve Çöl, 2022).

2. AMAÇ

Bu seminerin amacı, yaşlı ihmalini ve istismarını tanımlamak, nedenlerini ve risk faktörlerini ortaya koymak ve birinci basamak sağlık hizmetlerinin bu sorunun erken tanılanması ve önlenmesindeki rolünü incelemektir.

3. YAŞLI İHMALİ KAVRAMI VE ÖNEMİ

Yaşlı ihmali; yaşlı bireyin beslenme, giyinme ve ısınma gibi temel ihtiyaçlarının karşılanmaması olarak tanımlanmaktadır. Bilinçli ya da bilinçsiz şekilde yiyecek, içecek, ilaç, protez, gözlük veya işitme cihazı gibi gereksinimlerin sağlanmaması, bakım sorumluluğunun isteksizce yerine getirilmesi ya da tamamen reddedilmesi, yaşlı bireyin fiziksel ve duygusal açıdan acı ve sıkıntı yaşamasına neden olmaktadır (Yeşil ve ark., 2016). İstismarla kıyaslandığında ihmalkâr tutumda bulunan kişi genellikle daha pasif bir yaklaşım içindedir (Arpacı & Bakır, 2017). Bazı yaşlı bireyler ise yalnız yaşamayı tercih etmeleri ya da çocuklarına yük olmak istememeleri nedeniyle kendi kendilerini ihmal edebilmektedir. Öz bakım gereksinimlerinin yeterince karşılanmaması, sağlıklı beslenememe, kişisel hijyenin sürdürülmesinde güçlük yaşama, sağlık kontrolleri ve doktor randevularını takip edememe ile ilaçların düzenli kullanılmaması gibi durumlar yaşlı bireylerde kendini ihmal davranışları arasında yer alabilmektedir (Baltacı, 2024). Dolayısıyla ihmalinin yaşlı sağlığı üzerinde ciddi etkiler doğurur (Lök, 2015).

4. YAŞLI İSTİSMARI KAVRAMI VE ÖNEMİ

Yaşlı istismarı, yaşlı bireyin sağlığını veya iyilik halini olumsuz etkileyen ya da tehdit eden her türlü davranışı ifade etmektedir ve ciddi bir insan hakları ihlali olmasının yanı sıra, erken ölüm de dahil olmak üzere mağdurlar üzerinde ağır sağlık sonuçları doğuran önemli bir halk sağlığı sorunudur (Yunus et al., 2019). İstismar; fiziksel, cinsel, psikolojik ve ekonomik istismar şeklinde ortaya çıkabilmektedir (Yeşil ve ark., 2016; Akkaya & Çöl, 2022; Yılmaz ve Alparslan, 2025).

Fiziksel istismar yaşlı bireyin; vurma, tekmeleme, itme, tokat atma veya yakma gibi kasıtlı fiziksel güç kullanımına maruz kalması sonucunda hastalık, ağrı, yaralanma, işlevsel bozukluk, sıkıntı yada ölüm yaşamasıdır (Akkaya & Çöl, 2022). Fiziksel istismar; yaşlı bireye yönelik vurma, itme, yakma, kısıtlama gibi bedensel zarar veren şiddet içerikli davranışları kapsamaktadır (Yılmaz ve Alparslan., 2025).

Cinsel istismar, yaşlı bireyin rızası olmaksızın herhangi bir cinsel eyleme zorlanması olarak ifade edilmektedir. İstenmeden dokunma, tecavüz, zorla soyundurulma ve açık cinsel içerikli fotoğrafların çekilmesi bu istismar türüne örnek olarak gösterilebilmektedir.

Cinsel istismarın başlıca belirtileri arasında nedeni açıklanamayan anal veya vajinal kanamalar, kanlı ya da yırtılmış giysiler, göğüs bölgesinde morluklar, cinsel yolla bulaşan hastalıklar ve/veya vajinal enfeksiyonlar yer almaktadır (Yeşil ve ark., 2016).
Duygusal veya psikolojik istismar, yaşlı bireyde korku, zihinsel acı, sıkıntı veya huzursuzluk yaratan sözlü/sözsüz davranışlardır. Bireylerde göz temasından kaçınma, açıklanamayan sessizlik, sosyal temasın azalması, depresyon, sedatif ilaçların sürekli istenmesi ve randevuların sürekli olarak iptal edilmesi psikolojik istismarı düşündüren belirti ve bulgular arasında değerlendirilmektedir. Yaşlı bireyin; eşyalarını gizlemesi, bağırma davranışında bulunması, saygısızca konuşması, gizliliğe saygı duymaması, hakaretvari konuşması, isim takması veya küçük düşürücü davranması psikolojik istismarı düşündüren belirtilerdendir (Akkaya ve Çöl, 2022).
Zihinsel yetersizliği bulunmayan yaşlı bireylerin medeni ve yasal haklarının ihlal edilmesi; mal, para, banka veya emeklilik hesapları ile diğer değerli varlıklarının izinsiz ya da yasa dışı şekilde kullanılması veya değiştirilmesi; kendi evinden çıkarılması ve aldatma yoluyla vekâletname alınması ekonomik istismar kapsamında değerlendirilmektedir (Yeşil ve ark., 2016).Tüm bu istismarlar yaşlı bireyin hastaneye yatışını arttırıp yaşam kalitesinin düşmesine de sebep olmaktadır (Akkaya ve Çöl, 2022)

5. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE YAŞLI İHMALİ VE İSTİSMARI

5.1. Dünyada Yaşlı İhmali ve İstismarı

Küresel meta-analizler, her dört ila altı yaşlı yetişkinden birinin bir tür istismara maruz kaldığını ve psikolojik istismar ile ihmalin en yaygın türler olarak ortaya çıktığını göstermektedir (Yunus vd., 2019; Alias vd., 2023). Yaşlı istismarı, çoğunlukla mağdurlar, aile bireyleri ve istismarı gerçekleştiren kişiler tarafından gizlenmekte ve yetkili mercilere nadiren bildirilmektedir (Beach ve ark., 2016). Dünya genelinde yaşlı istismarı vakalarının %4'ünün bildirildiği belirtilmektedir (Akkaya ve Çöl, 2022). Toplum temelli öz bildirimlere dayanan verilere göre yaşlı istismarı küresel prevalansı %15,7 olarak bildirilirken (Mikton ve ark., 2017); kurumsal ortamlarda personelin %64,2'sinin yaşlı istismarında bulunduğu bildirilmiştir. Nüfusların hızla yaşlanmasıyla birlikte, istismara uğrayan yaşlı sayısının hızla artarak 2050 yılında 320 milyona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Akkaya ve Çöl, 2022).

5.2. Türkiye'de Yaşlı İhmali ve İstismarı

Türkiye'de , yaşlı ihmali ve istismarına ilişkin yapılan çalışmalar kısıtlı olup bu sorunun kapsamı ve boyutu yeterince bilinmemektedir. Yaşlanma Çalışmaları Derneği'nin hazırladığı rapora göre, 2021 yılı Eylül ayında ülke çapında yaşlılara yönelik 209 istismar ve ihmal, şiddet, hak ihlali ve ayrımcılık vakası saptanmıştır. Bu vakaların %54'ünün ölümle sonuçlandığı belirlenmiştir (Akkaya ve Çöl, 2022). Yaşlıların öz bildirimine dayalı İstanbul'da yürütülen bir çalışmaya göre, yaşlıların en fazla psikolojik istismara (%41,8) uğradığı saptanmıştır. Psikolojik istismarı, sırasıyla fiziksel istismar (%24,5), ekonomik istismar (%20), ihmal (%19,1) ve cinsel istismar (%5,5) takip etmektedir. Katılımcılar yaşlı istismarı ve ihmaline en çok bakımevlerinde (%43.6'sı) maruz kaldıklarını belirtmişlerdir. İstismarı gerçekleştiren bireyler , daha çok kişinin ailesi ve yakın çevresinden biri olduğu bildirilmiştir (Turhan ve ark., 2019). İstanbul'da yapılan bir diğer çalışmada, huzurevinde yaşayan yaşlı bireylerin huzurevine yerleşmeden önce aile ortamında herhangi bir istismar ya da ihmale maruz kalma durumları incelenmiş ve her beş yaşlıdan, üçünün en az bir kez ihmal veya istismara uğradığı saptanmıştır (Akkaya ve Çöl, 2022).

6. YAŞLI İHMALİNİN VE İSTİSMARININ NEDENLERİ

Yaşlı ihmali ve istismarı çoğu toplum tarafından dile getirilemeyen ancak toplumlarda yaygın olduğu düşünülen bir sorundur. Yaşlı bireylerin fiziksel kısıtlılıkları ve öz bakımda yaşadıkları yetersizlikler, aile üyeleri ve özellikle bakım veren kişiler üzerinde ciddi bir yük oluşturabilmektedir (Polat, 2024). Özellikle demans gibi bilişsel bozukluklar nedeniyle yaşlı bireyde işlevsel yetersizliğinin ve kırılganlığının artması bakım yükünü daha da artırmaktadır (Burnes ve ark., 2015; Steinsheim ve ark., 2023). Bu durum, bakımın çoğu zaman zorunlu ve isteğe bağlı olmayan bir sorumluluk haline gelmesinden kaynaklanmaktadır. Bakım sürecinde hem yaşlı birey hem de bakım veren desteğe ihtiyaç duymaktadır. İlerleyen yaşla birlikte artan bağımlılık düzeyi, yaşlı bireylerin istismar ve ihmale maruz kalma riskini yükseltmekte; aynı zamanda kendilerini koruma ve karşı koyma becerilerini de zayıflatmaktadır. Bu nedenle istismar ve ihmalin önemli bir kısmı aile içinde ortaya çıkmaktadır (Polat, 2024). Ayrıca düşük gelir, yoksulluk ve düşük sosyoekonomik statü riski daha da artırmaktadır (Burnes ve ark., 2015; Steinsheim ve ark., 2023).

7. YAŞLI İHMAL VE İSTİSMAR İÇİN RİSK FAKTÖRLERİ

7.1. Yaşlı İhmalinde ve İstismarında Bakım Verene İlişkin Risk Faktörleri

Bakım verene yönelik risk faktörleri; bakım rolünü isteksiz veya zorunluluk nedeniyle üstlenmesi, bakım verdiği kişiyle çatışmalı ilişkilere sahip olması, düşük benlik saygısı ve dürtü kontrolünde yetersizlik gibi kişilik problemleri yaşaması, ekonomik ve sağlık sorunları, evlilik çatışmaları ve işsizlik gibi dış stresörlere maruz kalması, madde bağımlılığının bulunması ve şiddet ya da istismarı bir çözüm yöntemi olarak algılaması şeklinde tanımlanmaktadır (Yeşil ve ark., 2016)

7.2. Yaşlı İhmalinde ve İstismarında Bireysel Risk Faktörleri

Yaşlı bireye yönelik risk faktörleri; sağlık sorunları veya ekonomik nedenlere bağlı bağımlılık ve yetersizlik durumunun bulunması, kalabalık bir aile ortamında yaşamasına bağlı olarak statü ve güç kaybı yaşaması, dul ya da boşanmış olması, yalnız bir yaşam sürmesi ve sosyal izolasyona maruz kalması, maddi kaynaklarının istismar açısından dikkat çekici olması, mental yetersizlik veya engellilik durumunun bulunması ve ileri yaş grubunda (70–75 yaş ve üzeri) yer alması şeklinde tanımlanmaktadır (Yeşil ve ark., 2016).

7.3. Yaşlı İhmalinde ve İstismarında Toplumsal Risk Faktörleri

Yaşlı ihmali ve istismarında toplumsal risk faktörleri; toplumda yaşlı bireylere yönelik olumsuz tutum ve önyargıların bulunması, yaş ayrımcılığı, sosyal izolasyon, aile yapısındaki değişimler, ekonomik yetersizlikler, bakım hizmetlerinin sınırlı olması ve toplumsal farkındalık eksikliği gibi unsurları kapsamaktadır (WHO, 2024).

8. YAŞLI İHMALİNİ VE İSTİSMARINI ÖNLEME VE BİRİNCİ BASAMAK SAĞLIK HİZMETLERİ

Yaşlı ihmali ve istismarı, farklı disiplinlerin ortak yaklaşımını gerektiren bir konudur. Bununla birlikte, yaşlı bireylerle sürekli temas halinde bulunan bakım çalışanları, şüpheli ya da gerçek istismar durumlarını fark etme ve müdahale etme açısından en kritik konumdadır. Yaşlı ihmalinin ve istismarının önlenmesinde ilk adım olarak, yaşlı bakım personeli ile diğer sağlık çalışanlarının konuya ilişkin bilgi düzeylerinin, tanı koyma becerilerinin ve farkındalıklarının artırılması gerektiği kabul edilmektedir. Özellikle birinci basamak sağlık hizmetlerinde çalışan sağlık personelinin, yaşlı istismarı ve ihmali durumlarını değerlendirme ve tanılama konusunda yeterli beceriye sahip olunması önem taşımaktadır. Bununla birlikte risk faktörlerinin bilinmesi, tanılama sürecini kolaylaştıran önemli bir unsurdur (Lök, 2015).

Sağlık çalışanlarının yaşlı bireyi değerlendirirken dikkate almaları gereken engellerin nedenlerini şöyle açıklayabiliriz:

- Yaşlı nüfusun hızlı bir şekilde artması,
- Sosyal güvenlik ve destek mekanizmalarının yetersiz kalması
- Ekonomik koşulların kötüleşmesi (Arpacı & Bakır, 2017).

Bu açıdan özellikle fiziksel olarak zayıf, zihinsel sorunları ya da depresyonu bulunan ve günlük ihtiyaçlarını karşılamada başkalarına bağımlı olan yaşlı bireyler daha yüksek risk altındadır (Arpacı & Bakır, 2017). Doktor, hemşire ve sosyal hizmet uzmanı gibi sağlık çalışanlarının yaşlı istismarını ortaya çıkarmada hangi soruları yönelteceklerini bilmemeleri, konuya ilişkin bilgi eksikliklerinin bulunması ya da vakaları bildirme ve kayıt altına alma konusunda yetersiz veya isteksiz davranmaları, sağlık personelinden kaynaklanan önemli zorluklar arasında yer almaktadır (Gülen et al., 2013).

Bu aşamada birinci basamak sağlık hizmeti çalışanları, ziyaretler sırasında iletişim ve problem çözme becerilerinden yararlanarak hem bakım veren hem de yaşlı birey için olumlu bir rol model olmaktadır (Baker & Heitkemper, 2005). Bireyin yaşadığı gerginliği azaltma, sosyal destek ağlarını güçlendirme (kiminle paylaşabileceği, kimden yardım alabileceği gibi) ve başa çıkma becerilerini geliştirme (daha atılgan olma, etkili problem çözme, sağlıklı davranışlar geliştirme) konularında önemli bir rol üstlenmektedir. Ayrıca bireyin benlik saygısının artırılmasına da katkı sağlarlar. Bütüncül bir yaklaşımla, hem istismar mağdurunu hem de istismara tanık olan kişileri güçlendirmeleri; bunun yanında öfke ve öfkenin nedenlerini ele alarak, duyguların uygun biçimde ifade edilmesine destek olmaları gerekmektedir (Kıssal & Beşer, 2009).

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, yaşlı ihmali ve istismarı yaşlı bireylerin sağlık ve yaşam kalitesini ciddi şekilde etkileyen, çoğu zaman gizli kalan önemli bir halk sağlığı sorunudur. Fiziksel, psikolojik, ekonomik ve cinsel istismar ile ihmalin farklı biçimlerde ortaya çıkabildiği ve özellikle bağımlı, fiziksel veya zihinsel olarak güçsüz bireylerde daha sık görüldüğü söylenebilir. Bu durumun çoğu zaman geç fark edilmesi ise olumsuz sonuçları artırmaktadır.

Bu noktada birinci basamak sağlık hizmetleri, yaşlı bireylerle doğrudan temas halinde olması nedeniyle istismar ve ihmalin erken tanılanmasında kritik bir role sahiptir. Ancak sağlık çalışanlarının bilgi eksikliği, farkındalık yetersizliği ve bildirim konusundaki çekinceleri süreci zorlaştırabilmektedir. Bu nedenle sağlık profesyonellerinin konuya ilişkin bilgi, beceri ve duyarlılıklarının artırılması büyük önem taşımaktadır.

Öneri olarak; birinci basamak sağlık çalışanlarına yaşlı ihmali ve istismarı konusunda düzenli hizmet içi eğitimler verilmesi, yaşlı bireylerin hem aile sağlığı merkezlerinde hem de ev ortamında düzenli aralıklarla değerlendirilmesi ve şüpheli durumların erken fark edilmesi sağlanmalıdır. Ayrıca bakım verenlerin desteklenmesi, toplumsal farkındalığın artırılması ve disiplinler arası iş birliğinin güçlendirilmesi gerekmektedir. Tüm bu yaklaşımlar, yaşlı bireylerin korunmasına ve yaşam kalitelerinin artırılmasına önemli katkı sağlayacaktır.

10. KAYNAKLAR

Akkaya, B., & Çöl, M. (2022). Halk sağlığı bakışıyla yaşlı istismarı ve ihmali. *Turkish Journal of Family Medicine and Primary Care*, *16*(2), 456-464. https://doi.org/10.21763/tjfmpc.1030724

Alias, A., Mokti, K., Ibrahim, M., Saupin, S., & Madrim, M. (2023). Elderly abuse and neglect on population health: literature review and ınterventions from selected countries. *Korean Journal of Family Medicine, 44,* 311 - 318. https://doi.org/10.4082/kjfm.23.0046

Arpacı, F., & Bakır, B. (2017). Yaşli istismarı ve ihmali. *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi*, *21*(3), 691-703.

Atim, L. M., Kaggwa, M. M., Mamum, M. A., Kule, M., Ashaba, S., & Maling, S. (2023). Factors associated with elder abuse and neglect in rural Uganda: A cross-sectional study of community older adults attending an outpatient clinic. *PloS One*, *18*(2), e0280826. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280826

Aysan, M. F. & Yüce, B. (2023). *Yaşlanan Nüfus ve Yaşlılar. Marmara Üniversitesi Nüfus ve Sosyal Politikalar Uygulama ve Araştırma Merkezi. Politika Notları*; No 1. Erişim Adresi: https://nsp.marmara.edu.tr/dosya/nsp/Politika%20Notlar%C4%B1/Ya%C5%9Flanan%20N%C3%BCfus%20ve%20Ya%C5%9Fl%C4%B1lar.pdf Erişim Tarihi: 06.05.2026

Baker, M. W., & Heitkemper, M. M. (2005). The roles of nurses on interprofessional teams to combat elder mistreatment. *Nursing Outlook*, *53*(5), 253-259.

Baltacı, E. (2024). Yaşlılık, yaşlılara yönelik ihmal ve istismar. Erişim Adresi: https://www.academia.edu/127987769/YA%C5%9ELILIK_YA%C5%9ELILARA_Y%C3%96NEL%C4%B0K_%C4%B0HMAL_VE_%C4%B0ST%C4%B0SMAR Erişim Tarihi: 09.05.2026

Beach, S. R., Carpenter, C. R., Rosen, T., Sharps, P., & Gelles, R. (2016). Screening and detection of elder abuse: Research opportunities and lessons learned from emergency geriatric care, intimate partner violence, and child abuse. *Journal of Elder Abuse & Neglect*, *28*(4-5), 185-216. https://doi.org/10.1080/08946566.2016.1229241

Burnes, D., Pillemer, K., Caccamise, P., Mason, A., Henderson, C., Berman, J., Cook, A., Shukoff, D., Brownell, P., Powell, M., Salamone, A., & Lachs, M. (2015). Prevalence of and Risk Factors for Elder Abuse and Neglect in the Community: A Population-Based Study. *Journal of the American Geriatrics Society, 63*, 1906 - 1912. https://doi.org/10.1111/jgs.13601

Dong, X. (2015). Elder abuse: Systematic review and implications for practice. *Journal of the American Geriatrics Society, 63*(6), 1214-1238. https://doi.org/10.1111/jgs.13454

Ergin, F. (2012). *Aydın merkezinde yaşlı istismar/ihmal prevalansı ve ilişkili faktörler.* 15. Ulusal Halk Sağlığı Kongresi. 2-6 Ekim 2012, Bursa

Gülen, M., Aktürk, A., Acehan, S., Seğmen, M. S., Açıkalın, A., & Bilen, A. (2013). Yaşlı istismarı ve ihmali. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, *22*(3), 393-407.

Kıssal, A., & Beşer, A. (2009). Yaşlı istismar ve ihmalinin değerlendirilmesi. *TAF Preventive Medicine Bulletin, 8*(4), 357-364.

Lök, N. (2015). Türkiye'de yaşlı istismarı ve ihmali: Sistematik derleme. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, *7*(2), 149-156.

Polat, O. (2024). *Yaşlı istismarı*. Kalkan, E.A., & Polat, O. (Ed.). Geriatrik Adli Tıp ve Yaşlı Sağlığı. Holistence Publications, Çanakkale. S: 1-13.

Pillemer, K., Burnes, D., Riffin, C., Lachs, M.S. (2016). Elder Abuse: Global Situation, Risk Factors, and Prevention Strategies. *Gerontologist, 56*(Suppl 2),S194-205. https://doi.org/10.1093/geront/gnw004

Santos, F. D. S., de Lima Saintrain, M. V., de Souza Vieira, L. J. E., & Gomes Marques Sampaio, E. (2021). Characterization and prevalence of elder abuse in Brazil. *Journal of Interpersonal Violence*, *36*(7-8), NP3803-NP3819. https://doi.org/10.1177/0886260518781806

Spijker, J., & MacInnes, J. (2013). Population Ageing: The Timebomb that Isn't?. *BMJ,* 347, https://doi.org/10.1136/bmj.f6598

Steinsheim, G., Malmedal, W., Follestad, T., Olsen, B., & Saga, S. (2023). Contextual factors associated with abuse of home-dwelling persons with dementia: a cross-sectional exploratory study of informal caregivers. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 20*(4), 2823. https://doi.org/10.3390/ijerph20042823

Turhan, S., Güncan, F., Ercan, M., & Erkoyuncu, G. (2019). Yaşli ihmali ve istismari. *Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi*, (1), 28-43.

United Nations (2024). World Population Prospects 2024. Erişim Adresi: https://reliefweb.int/report/world/world-population-prospects-2024-summary-results Erişim Tarihi: 06.05.2026

Yeşil, P., Taşcı, S., & Öztunç, G. (2016). Yaşlı istismarı ve ihmali. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *6*(2), 128-134.

Yılmaz, C., & Alparslan, G.B. (2025). Yoğun bakımda gözardı edilen konu: Yaşlı ihmal ve istismarı. Şahna, E., & Akgül, H. (Ed.). Sağlık Bilimleri Alanında Araştırmalar ve Değerlendirmeler Ankara: Gece Kitaplığı. 101-112.

Yunus, R. M., Hairi, N. N., & Choo, W. Y. (2019). Consequences of elder abuse and neglect: A systematic review of observational studies. *Trauma, Violence, & Abuse*, *20*(2), 197-213. https://doi.org/10.1177/1524838017692798

World Health Organization. Ageing and health. Erişim Adresi: https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/ageing-and-health Erişim Tarihi: 09.05.2026

World Health Organization (2021). Elder abuse. Erişim Adresi: https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/elder-abuse Erişim Tarihi: 09.05.2026

World Health Organization (2024). Abuse of older people. Erişim Adresi: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/abuse-of-older-people Erişim Tarihi: 09.05.2026

ÇOCUK SAĞLIĞINI KORUYUCU YAKLAŞIMLAR VE EBEVEYN KARAR SÜREÇLERİ

Assist. Prof. Burcu ÇAKI DÖNER
Gaziantep Islamic Science and Technology University Faculty of Health Science, Nursing Department
ORCID: 0000-0002-3592-5121

Pınar TAŞ
Gaziantep Islamic Science and Technology University Institute of Graduate Studies, Public Health Nursing, Şahinbey
ORCID: 0009-0006-2800-5542

ÖZET
Çocuk sağlığının korunması ve geliştirilmesi, toplum sağlığının sürdürülebilirliği açısından temel öneme sahiptir. Çocukluk döneminde sunulan koruyucu sağlık hizmetleri; hastalıkların önlenmesi, erken tanı ve tedavinin desteklenmesi, sağlıklı büyüme ve gelişmenin sürdürülmesi açısından önemli katkılar sağlamaktadır.
Bu derlemenin amacı, çocuk sağlığına yönelik koruyucu sağlık hizmetlerini; bağışıklama, beslenme ve hastalıklardan korunma, ruh sağlığının desteklenmesi ve ebeveynlerin sağlıkla ilgili karar süreçleri çerçevesinde hemşirelik perspektifinden değerlendirmektir. Bu kapsamda düzenli çocuk izlemleri, büyüme ve gelişmenin değerlendirilmesi ve sağlık eğitimi gibi koruyucu uygulamaların çocuk sağlığındaki önemi incelenmiştir.
Bağışıklama kapsamında aşıların bulaşıcı hastalıkların önlenmesindeki rolünün yanı sıra aşı kararsızlığı ve ebeveyn tutumlarının aşılama süreçleri üzerindeki etkisi ele alınmıştır. Beslenme ve hastalıklardan korunma kapsamında yeterli ve dengeli beslenmenin fiziksel ve bilişsel gelişime katkısı ile hijyen, güvenli çevre ve sağlıklı yaşam alışkanlıklarının enfeksiyonlardan korunmadaki önemi vurgulanmıştır. Ruh sağlığının korunması ve geliştirilmesinde ise destekleyici aile ortamı, güvenli bağlanma, sosyal destek ve erken müdahalenin rolü üzerinde durulmuştur. Ayrıca ebeveynlerin sağlık hizmetlerinden yararlanma, aşılama, beslenme ve tedaviye ilişkin kararlarını etkileyen sosyokültürel, ekonomik ve bireysel faktörler değerlendirilmiş; sağlık okuryazarlığı, sağlık profesyonellerine duyulan güven, medya ve sosyal çevrenin bu süreçlerde önemli belirleyiciler olduğu görülmüştür.
Sonuç olarak, çocuk sağlığının korunması ve geliştirilmesinde hemşireler ve diğer sağlık profesyonelleri; eğitim, danışmanlık, rehberlik ve savunuculuk rolleri aracılığıyla önemli sorumluluklar üstlenmektedir. Çocukların sağlıklı büyüme ve gelişmelerinin desteklenmesi ve ebeveynlerin bilinçli sağlık kararları alabilmesi için multidisipliner iş birliğinin güçlendirilmesi ve aile merkezli koruyucu sağlık hizmetlerinin yaygınlaştırılması önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Çocuk sağlığı, koruyucu sağlık hizmetleri, aşılama, çocuk beslenmesi

APPROACHES TO PROTECTING CHILD HEALTH AND PARENTAL DECISION-MAKING PROCESSES

ABSTRACT

Protecting and improving child health is of fundamental importance for the sustainability of public health. Preventive health services provided during childhood make significant contributions to disease prevention, early diagnosis and treatment support, and the maintenance of healthy growth and development.

The aim of this review is to evaluate preventive health services for child health from a nursing perspective, focusing on immunization, nutrition and disease prevention, mental health support, and parents' health-related decision-making processes. In this context, the importance of preventive practices such as regular child check-ups, growth and development assessments, and health education in child health is examined.

Within the scope of immunization, the role of vaccines in preventing infectious diseases, as well as vaccine hesitancy and the impact of parental attitudes on vaccination processes, are discussed. In the area of nutrition and disease prevention, the contribution of adequate and balanced nutrition to physical and cognitive development, and the importance of hygiene, a safe environment, and healthy lifestyle habits in preventing infections are emphasized. Finally, the role of a supportive family environment, secure attachment, social support, and early intervention in protecting and improving mental health is highlighted. Furthermore, sociocultural, economic, and individual factors influencing parents' decisions regarding access to healthcare services, vaccination, nutrition, and treatment were evaluated; health literacy, trust in healthcare professionals, media, and social environment were found to be significant determinants in these processes.

In conclusion, nurses and other healthcare professionals assume significant responsibilities in protecting and improving child health through their roles in education, counseling, guidance, and advocacy. It is recommended that multidisciplinary collaboration be strengthened and family-centered preventive health services be expanded to support children's healthy growth and development and enable parents to make informed health decisions.

Keywords: Child health, preventive health services, vaccination, child nutrition

1. GİRİŞ

Çocukların bedensel, zihinsel, bilişsel, sosyal ve duygusal açıdan sağlıklı bir gelişim gösterebilmeleri, erken çocukluk döneminden itibaren sağlık, eğitim ile sosyal ve duygusal gereksinimlerinin bütüncül bir yaklaşımla karşılanmasını gerektirmektedir. Çocuklarda sağlığın korunması ve geliştirilmesinin temel unsurlarından biri, sağlıklı yaşam davranışlarının kazandırılması ve bu konuda çocukların yaş ve gelişim özelliklerine uygun biçimde bilgilendirilmesidir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2025).

Toplum sağlığının korunmasında temiz suya erişim, yeterli sanitasyon koşullarının sağlanması ve aşıyla önlenebilir hastalıklara karşı bağışıklamanın gerçekleştirilmesi temel halk sağlığı uygulamaları arasında yer almaktadır. Özellikle bağışıklama hizmetleri, aşıyla önlenebilir hastalıkların görülme sıklığının ve bu hastalıklara bağlı ölümlerin azaltılmasında etkili ve maliyet-etkin toplum sağlığı müdahalelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Çıtak ve Aksoy, 2020).

Sağlık ekibinin önemli bir üyesi olan hemşireler, bireylerin yalnızca tedavi ve bakım gereksinimlerinin karşılanmasında değil, aynı zamanda sağlığın korunması ve geliştirilmesinde de önemli görev ve sorumluluklar üstlenmektedir. Çocukluk döneminde önemli bir morbidite ve mortalite nedeni olan kazaların ve yaralanmaların önlenmesi de hemşirelerin koruyucu sağlık hizmetleri kapsamında ele alması gereken konulardan biridir.

Bu doğrultuda hemşirelerin, danışmanlık ve eğitim rollerini kullanarak aileleri çocukluk çağı kazaları, risk faktörleri ve alınabilecek güvenlik önlemleri konusunda bilgilendirmeleri önem taşımaktadır. Özellikle annelerin ev ortamındaki olası tehlikeler ve çocukların güvenliğini sağlamaya yönelik alınabilecek önlemler konusunda bilgi sahibi olmalarının, çocuklarda ev kazalarına bağlı yaralanmaların azaltılmasına katkı sağlayabileceği vurgulanmaktadır (Akça ve ark., 2017).

2. AMAÇ

Bu derlemenin amacı, çocuk sağlığına yönelik koruyucu sağlık hizmetlerini; bağışıklama, beslenme ve hastalıklardan korunma, ruh sağlığının desteklenmesi ve ebeveynlerin sağlıkla ilgili karar süreçleri çerçevesinde hemşirelik perspektifinden değerlendirmektir. Bu kapsamda düzenli çocuk izlemleri, büyüme ve gelişmenin değerlendirilmesi ve sağlık eğitimi gibi koruyucu uygulamaların çocuk sağlığındaki önemi incelenmiştir. Derleme ile çocuk sağlığının korunmasında aile, toplum ve sağlık profesyonellerinin iş birliğinin önemine dikkat çekilmesi ve ebeveynlerin bilinçli karar verme süreçlerinin desteklenmesine yönelik farkındalık oluşturulması hedeflenmiştir.

3. ÇOCUK SAĞLIĞINI KORUYUCU YAKLAŞIMLAR

Dünya Sağlık Örgütü'nün tanımına göre; sağlık yalnız hastalık ve sakatlığın olmayışı değil, bedence, ruhça ve sosyal yönden tam bir iyilik halidir. Sağlık eğitimi ve sağlığı yükseltme arasında iyibir işbirliği olduğu zaman sağlıklı olma ve iyi olma mümkündür (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2025).

3.1. Koruyucu Sağlık Hizmetleri

Çevresel, ekonomik, sosyal ve davranışsal koşullar, kültürel yaşam biçimleri sonucu gelişen hastalık riskinin ortaya çıkmasını engelleyen eylem ve önlemleri kapsamaktadır. Risk faktörlerinin ortaya çıkmasından öncesinde atılan adımlar olarak tanımlanabilmektedir. Koruyucu sağlık hizmetleri geniş kitlelere uygulanır. Temel koruma uygulamaları tıbbi sorunların ötesinde toplumsal kaygıların önlenmesini de içermektedir. Toplumun tüm kesimlerine, özellikle sağlık açısından belirli gruplara, halk sağlığı uygulamaları ile ulaşılmak istenmektedir (Akyıldız ve Okyay, 2024).

Birincil Korunma (Primer Korunma): Birincil korunma, hastalık ortaya çıkmadan önce hastalığa yol açabilecek risk faktörlerinin ve zararlı etkilenimlerin azaltılması ya da ortadan kaldırılması yoluyla hastalıkların gelişmesini önlemeyi amaçlayan koruyucu sağlık hizmetlerini ifade etmektedir. Bu yaklaşımın temel hedefi, bireylerin hastalık etkenlerine karşı direncini artırarak hastalıkların ortaya çıkmasını engellemek ve toplumdaki yeni hastalık olgularının görülme sıklığını, yani insidansı azaltmaktır. Birincil korunma uygulamaları hem bireye hem de topluma yönelik olarak gerçekleştirilebilir. Bireysel düzeyde korunma, kişinin risk faktörlerine maruz kalmasının önlenmesi veya azaltılması yoluyla sağlanırken, toplumsal düzeyde korunmada toplum genelinde belirli risk faktörlerinin düzeyinin azaltılmasına yönelik uygulamalar ön plana çıkmaktadır. Aşılama ve içme suyunun klorlanması, birincil korunmaya ilişkin temel uygulamalar arasında yer almaktadır. Ayrıca birincil korunmanın önemli avantajlarından biri, korunma uygulamalarının gerçekleştirilebilmesi için öncelikle yüksek risk grubundaki bireylerin belirlenmesine gerek duyulmamasıdır (Akyıldız ve Okyay, 2024).

İkincil Korunma (Sekonder Korunma): İkincil korunma, henüz herhangi bir belirti göstermeyen ve sağlıklı görünen bireylerde hastalığa ilişkin klinik öncesi dönemde ortaya çıkan patolojik değişikliklerin erken dönemde belirlenmesini ve uygun müdahalelerle tedavi edilmesini amaçlamaktadır. Bu yaklaşım sayesinde hastalığın ilerlemesinin önlenmesi veya kontrol altına alınması hedeflenmektedir. Tarama uygulamaları, ikincil korunmanın en yaygın kullanılan örnekleri arasında yer almakta olup, hastalık belirtileri ortaya çıkmadan önce gerçekleştirilen ve erken tanı ile tedavi olanağı sağlayarak hastalığın sonuçlarını azaltmayı amaçlayan maliyet-etkin uygulamaları kapsamaktadır. İkincil korunma, birey ya da toplum düzeyinde bir sağlık sorununun erken dönemde belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen ve erken müdahale yoluyla tedavinin kolaylaştırılmasına veya hastalığın olumsuz sonuçlarının azaltılmasına katkı sağlayan eylemler şeklinde tanımlanmaktadır (Halter ve ark., 2018).

Üçüncül Korunma (Tersiyer Korunma): Üçüncül korunma, ortaya çıkmış bir hastalığın bireyin işlevselliği, yaşam süresi ve yaşam kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmeye yönelik uygulamaları kapsamaktadır. Hastalığın tamamen ortadan kaldırılmasının veya geri döndürülmesinin mümkün olmadığı durumlarda ise temel amaç, rehabilitasyon uygulamaları aracılığıyla bireyin mevcut durumuna uyum sağlamasına ve mümkün olan en yüksek işlevsellik düzeyini sürdürmesine destek olmaktır. Bu kapsamda hastalığın ilerlemesinin yavaşlatılması, hastalığa bağlı gelişebilecek komplikasyonların önlenmesi veya azaltılması ve bireyin yaşam kalitesinin korunması hedeflenmektedir. Hastalığın düzenli olarak izlenmesi ve kontrol altında tutulması, uygun aralıklarla sağlık kontrollerinin yapılması ve komplikasyonların önlenmesine yönelik girişimler üçüncül korunmaya örnek olarak gösterilebilir. Diyabet, kanser ve inme gibi kronik veya uzun süreli sağlık sorunlarının yönetimine yönelik uygulamalar bu korunma düzeyinin önemli örnekleri arasında yer almaktadır (Akyıldız ve Okyay, 2024).

3.2. Bağışıklama ve Aşı Uygulamaları

Aşı, bireyleri hastalıklardan ve onların meydana getirdiği sorunlardan koruyabilmek için sağlam veya risk altındaki kişilere uygulanmaktadır. Aşılar, çocukluk dönemindeki hastalıkları, morbiditeleri ve ölümleri önleyen etkili bir sağlık stratejisi olarak kabul edilmektedir (Dönmez, 2026). Toplumda aşılanmış birey oranının artması, aşılama yapılmamış bireylerin hastalığa neden olabilecek çeşitli etkenlerle karşılaşma olasılığını ve hastalık riskini azaltmaktadır (Gür, 2019). Aşı ile bağışıklama, sağlığın korunmasında ve bulaşıcı hastalıkların önlenmesinde önemli bir halk sağlığı uygulamasıdır. Aşılama ile bireysel bağışıklıkla birlikte, toplumun sağlığı da korunmuş olur. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) aşılama ile yılda 1.5 milyondan fazla önlenebilir ölüm nedenleri ile meydana gelen ölümlerin önüne geçilebileceğini işaret etmektedir (Çıtak ve Aksoy., 2020).

3.3. Beslenme

Anne sütü, yaşamın ilk altı ayında bebeğin büyüme ve gelişmesi için gereksinim duyduğu enerji ve besin ögelerini tek başına karşılayabilen; sıvı, protein, yağ, vitamin ve diğer besin öğelerini uygun miktar ve oranlarda içeren, biyoyararlanımı yüksek ve kolay sindirilebilen doğal bir besindir. Emzirme ve anne sütü ile beslenmenin hem anne hem de bebek açısından beslenmenin ötesinde çok yönlü yararları bulunmaktadır. Bu yararlar; sağlık ve bağışıklık sisteminin desteklenmesinin yanı sıra büyüme ve gelişme, psikolojik ve sosyal iyilik hâli ile ekonomik açıdan sağlanan katkıları da kapsamaktadır (Yüksel ve Bal Yılmaz, 2021).
Anne sütüyle beslenme, yalnızca bebeğin beslenme gereksinimlerinin karşılanmasına yönelik bir süreç olarak değerlendirilmemeli; anne ve bebeğin sağlığının korunması ve geliştirilmesi ile psiko-sosyal iyilik hâlinin desteklenmesi açısından da ele alınmalıdır.

Anne ve bebeğin yeterli ve dengeli beslenmesinin sağlanması, bebeğin sağlıklı büyüme ve gelişmesinin desteklenmesine katkıda bulunurken aynı zamanda sağlıklı yaşamın sürdürülmesi açısından da önem taşımaktadır (Dönmez ve Yeyğel, 2022).

Bebeklerin büyüme ve gelişme hızlarının yüksek olduğu ilk aylarda enerji ve besin ögesi gereksinimleri de giderek artmaktadır. Yaklaşık altıncı ay civarında doğum ağırlığının iki katına ulaşan bebeğin artan besin gereksinimlerinin karşılanabilmesi için yalnızca anne sütü veya formül mama yeterli olmayabilir. Bu dönemde anne sütü veya formül mamaya ek olarak, bebeğin yaşına ve gelişimsel özelliklerine uygun farklı besin gruplarının güvenli, temiz ve uygun koşullarda beslenme düzenine dahil edilmesi tamamlayıcı beslenme olarak tanımlanmaktadır. Özellikle 6–24 aylık dönem, büyüme ve gelişmenin hızlı bir şekilde devam ettiği kritik bir süreçtir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre bu dönemde çocuklarda sık karşılaşılan sağlık sorunlarından biri demir eksikliğidir. Bu nedenle tamamlayıcı beslenmeye geçişle birlikte bebeğe sunulan besinlerin yalnızca miktarı değil, aynı zamanda besin ögesi içeriği ve besin çeşitliliği de büyük önem kazanmaktadır (Koç ve Akşit, 2020).

3.4. Sağlıklı Yaşam Alışkanlıkları

Çocukların doğuştan gelen hareket etme gereksinimleri bulunmaktadır ve bu gereksinimin özellikle erken çocukluk döneminde çeşitli fiziksel aktiviteler aracılığıyla karşılanması önemlidir. Fiziksel aktiviteler, çocukların psikomotor becerilerinin gelişimini desteklemekte, bedenlerini tanımalarına ve sahip oldukları yetenekleri keşfetmelerine yardımcı olmaktadır (Orhan ve Ayhan, 2018). Fiziksel aktivitelere düzenli olarak katılan ve sağlıklı beslenen çocukların hastalıklara karşı bağışıklıklarının daha iyi olduğu, hastalık durumunda iyileşme süreçlerinin daha kısa sürdüğü ve obezite görülme oranlarının daha düşük olduğu belirtilmektedir. Bunun yanı sıra bu çocukların bilişsel performanslarının daha yüksek olduğu, boy ve kilo açısından ideal değerlere daha yakın oldukları ve dayanıklılık, kuvvet ve çeviklik gibi sportif performans bileşenlerinin daha iyi geliştiği ifade edilmektedir. Ayrıca fiziksel aktivite yapan çocukların egzersiz sonrasındaki toparlanma düzeylerinin de daha iyi olduğu bildirilmektedir (Aydoğan, 2018).

Fiziksel aktiviteler, çocukların bilişsel ve zihinsel gelişimlerine katkıda bulunmanın yanı sıra disiplin, başarı ve takım ruhu gibi değerlerin kazanılmasına da yardımcı olmaktadır. Bu nedenle çocukların fiziksel aktivite alışkanlığı edinmeleri erken yaşlardan itibaren desteklenmeli ve aktif yaşam kültürünün oluşması teşvik edilmelidir. Bu süreçte spor kurumları, okullar, yerel yönetimler ve eğitimciler, çocuklara düzenli fiziksel aktivite alışkanlığı kazandırılmasında önemli bir role sahiptir (Kul ve Ateş, 2025). Fiziksel aktivitenin bireylerin uyku kalitesi üzerinde de olumlu etkileri bulunmaktadır. Düzenli fiziksel aktivite, uyku bozukluklarının azaltılmasına ve uyku düzeninin iyileştirilmesine katkı sağlarken buna bağlı olarak bilişsel performansın da olumlu yönde gelişmesine yardımcı olmaktadır. Yapılan araştırmalar, spor yapan bireylerin uyku kalitelerinin daha iyi olduğunu ve genel sağlık durumlarının olumlu etkilendiğini göstermektedir. Bu doğrultuda spor yapmak, uyku düzeninin geliştirilmesine ve yaşam kalitesinin olumlu yönde etkilenmesine katkıda bulunmaktadır (Çebi ve İmamoğlu, 2022).

3.5. Kazaların Önlenmesi

Kaza; Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından bireyin iradesi dışında süratle etki yapan; dış bir güç tarafından açığa çıkan zihinsel ve vücuda ait bir hasar ile sonuçlanan bir olay olarak tanımlanmaktadır. Çocuklar kendilerini güvende hissettikleri ev, ne yazık ki birçok yaralanma ve ölümün meydana geldiği yerdir. Ev kazalarının oluşmasında ekonomik, kültürel ve sosyal yapı gibi birçok faktörün yer alması sebebiyle ev kazaları prevalansında ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir.

Okul öncesi dönem çocuklarında ev kazaları sıklıkla oturma odasında ve ölümcül kazalar ise mutfakta meydana geldiği rapor edilmiştir. Kazaların önlenmesi ile ilgili olarak ebeveynlerin çocukları gözetim altında tutmaları, kaza risk faktörlerini ön görmeleri ve gerekli önlemleri almaları gerekmektedir. Ebeveyn gözlem ve denetimi, farkındalık düzeyleri ev kazalarının önlenmesinde oldukça önemlidir (Akça ve ark., 2017). Ev kazalarının önlenmesi ve azaltılması amacıyla, başta çocuğa bakım veren anneler olmak üzere, tüm aile bireylerine kazaları önlemeye yönelik bilinçli ve olumlu tutum kazandırılması büyük önem taşımaktadır Literatürde yer alan bazı araştırmalar, ailelere ev kazalarına yönelik verilen eğitimlerin hem bilgi düzeylerini hem de kazalara yönelik farkındalıklarını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Annelerin ev kazalarına yönelik olumlu tutumlara sahip olduğu ve güvenlik önlemlerini tanılama düzeylerinin genellikle yüksek olduğu görülmekle birlikte ev kazaları sıklığının hala yüksek olması ve annelerin eğitim düzeyi gibi faktörlerin güvenlik önlemlerine yönelik bilgi ve davranışlarını etkilemesi, bu alanda sürekli eğitime ve farkındalık çalışmalarına ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Karaahmetoğlu ve Kırmacı, 2025).

3.6. Hastalıkların Önlenmesi

Çağdaş sağlık yaklaşımı, sağlık hizmetlerinin etkili biçimde yürütülebilmesi için farklı sektörlerin iş birliği ve eşgüdüm içerisinde hareket etmesini gerekli görmektedir. Eğitim sektörü de sağlıkla doğrudan ilişkili olan bu sektörlerden biridir. Çocukların ve gençlerin gün içerisinde önemli bir bölümünü geçirdikleri okullar, sağlık davranışlarının kazandırılması ve geliştirilmesi açısından önemli bir ortam oluşturmaktadır (Özkal, 2020).

Özellikle küçük yaş grubundaki çocuklar, bağışıklık sistemlerinin henüz tam olarak gelişmemiş olması ve günün büyük bölümünü diğer bireylerle birlikte okul ortamında geçirmeleri nedeniyle bulaşıcı hastalıklara yetişkinlere kıyasla daha fazla maruz kalabilmektedir. Türkiye'de elde edilen sağlık raporları da temel eğitim çağındaki çocuklarda en sık karşılaşılan sağlık sorunları arasında enfeksiyona bağlı hastalıkların yer aldığını göstermektedir. Araştırmalar, enfeksiyonların görülme sıklığı ile bireylerin hijyen alışkanlıkları arasında ilişki bulunduğunu ortaya koymaktadır (Mbakaya, 2019).

Bu nedenle gerek dünyada gerekse Türkiye'de, mevcut okul öğretim programlarından bağımsız olarak, özellikle okul çağı çocuklarına yönelik çeşitli hijyen eğitim programlarının geçmişten günümüze uygulandığı görülmektedir. Bu programlarda özellikle el hijyenine yönelik eğitimlere ağırlık verilmektedir. Gerçekleştirilen hijyen eğitimlerinin, öğrencilerde görülen solunum yolu hastalıklarının ve bu hastalıklar nedeniyle ortaya çıkan okul devamsızlıklarının azaltılmasına katkı sağladığı bildirilmektedir. Türkiye'de gerçekleştirilen araştırmalarda temizlik ve hijyen konusunda bireylerin bilgi ve alışkanlıklarının yeterli düzeyde olmadığının ortaya konulması önemli bir sorun olarak değerlendirilmektedir. Geçmişte olduğu gibi günümüzde ve gelecekte de insan sağlığını tehdit edebilecek hastalıklardan korunmak ve bu hastalıkların yayılımını önlemek açısından doğru temizlik ve hijyen alışkanlıklarının erken yaşlardan itibaren kazandırılması önem taşımaktadır. Bu doğrultuda bireylerin kendi sağlıklarını, toplum sağlığını ve daha geniş anlamda küresel sağlığı koruyabilmeleri için örgün eğitim kurumlarında doğru temizlik ve hijyen davranışlarının kazandırılması bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Abay ve Özvarış, 2018).

4. EBEVEYN KARAR SÜREÇLERİ

4.1. Geleceği Öngörmede Zorluk

Ebeveynler, çocuğun yaşam kalitesini uzun vadede etkileyebilecek kararlar vermek zorunda kalmaktadır ; ancak geleceği karmaşıklığı içinde anlamlandırmakta zorlanmaktadır.Yaşamı sınırlayan önceden mevcut bir durumu olan çocukların ebeveynleri bile ileri bakım planlaması gibi geleceğe yönelik kararları vermekte güçlük yaşamaktadır. Bunun nedeni, bu durumların çoğunlukla hipotetik olması, belirsizlik içermesi ve ebeveynlerin bu senaryoları gerçekleşmiş gibi hayal etmekte zorlanmasıdır (Edwards ve ark., 2020). Ayrıca bazı ebeveynler, verdikleri kararların çocukları üzerindeki etkisinden endişe duymaktadır. Kararların alındığı ortam da bu zorlukları artırmaktadır kararlar hastane ortamında verildiğinde ebeveynler, bu kararların evdeki günlük yaşama nasıl yansıyacağınıöngörmekte zorlanmaktadır (Yazdani ve Bogetz, 2022). Gerçek bir seçeneğin olmaması Ebeveynlerin çoğu, gerçek bir seçim hakları olmadığını hissetmektedir.Bunun nedeni, kendilerine önerilen seçeneklere alternatif sunulmaması, diğer seçeneğin çocuğun ölümünü kabul etmek anlamına gelmesi ya da bazı işlemlerin zaten ebeveynlere sorulmadan gerçekleştirilmiş olmasıdır (Badarau, 2017).

4.2. Gerçeği Kavramada Zorluk

Ebeveynler, karar verirken içinde bulundukları durumun gerçekliğini kabullenmekte zorlanmaktadırlar. Çoğu karar, çocuğun sağlığıyla ilgili yeni ve zorlayıcı bilgilerle aynı dönemde verilmek zorunda kalmaktadır. Örneğin; yeni tanı, beklenmedik kötüleşme veya ani sağlık gerilemesi gibi durumlar Bazı çalışmalarda ebeveynler, sonucun ne olacağını ve verdikleri kararın çocuğa fayda sağlayıp sağlamayacağını bilmeden karar vermek zorunda kalmaktadır. Bu durum “geleceği öngörmede zorluk” temasıyla yakından ilişkilidir. Bazı kararlar (örneğin uzun süreli ventilasyon veya yaşam sonu kararları) söz konusu olduğunda ebeveynler durumun ciddiyetini kabul etmekte zorlanmakta ve çocuklarının yakın gelecekte ölebileceği ihtimalini inkâr etmektedir. Karar verme konusunda isteksizlik Bazı ebeveynler, tıbbi kararları kendilerinin vermesi sorumluluğunu kabul etmekte zorlanmakta. Karar verilmesi gerektiğinde süreç, ebeveynler tarafından “imkânsız” ve “rahatsız edici” olarak değerlendirilmektedir; çünkü doğru kararın ne olduğunu bilmediklerini ifade etmişlerdir (Robertson ve ark., 2022).

4.3. Sorumluluğu Doktorlara Devretme

Birçok çalışmada ebeveynler, özellikle kanser dışındaki yaşamı sınırlayan hastalıklara sahip çocukların ebeveynleri, karar verme sorumluluğunu tamamen doktorlara bırakmayı tercih etmektedir. Sorumluluğun klinisyenlere devredilmesi, bazı ebeveynlerin gelecekte yaşayabilecekleri suçluluk duygusunu azaltmalarına yardımcı olmaktadır. Bu devretme isteyerek gerçekleşmiş olsa da, bazı ebeveynler sonrasında bu karardan pişmanlık duymakta ve doktorun verdiği kararın doğru olup olmadığını sorgulamaktadır (Robertson ve ark., 2022).

4.4. Tıbbi Bilgiye ve Özgüvene Sahip Olmama

Tıbbi bilgi eksikliği, ebeveynlerin karar vermesini zorlaştırmaktadır; ebeveynler verdikleri kararın çocuğun sağlığını olumsuz etkileyebileceğinden endişe duymakta ve yeterli özgüvene sahip olmadıklarını ifade etmektedir.Kendi sınırlılık algılarıyla birleştiğinde, ebeveynler klinisyenlerin görüşlerine karşı çıkmakta veya onların kararlarını sorgulamakta zorlanmaktadır.Duygusal tükenmişlik de karar verme özgüvenini daha da azaltmaktadır.Bunun yerineebeveynler, klinisyenlerin yanlış olabileceğini bilseler bile çoğu zaman onların uzmanlığına ve tavsiyesine güvenmektedir (Robertson ve ark., 2022).

4.5. Çocuk İçin Savunuculuk Yapma

Ebeveynler çoğu zaman kritik kararlar söz konusu olduğunda çocuklarının savunucusu rolünü üstlenmektedir. Tedavive yaşam desteklerine ilişkin kararlar da dahil olmak üzere, doğru karar verme sorumluluğunun kendilerinde olduğuna güçlü şekilde inanmaktadırlar. Bazı durumlarda çocukların istekleri sözlü olarak ya da yaşamak istediklerini gösteren sözsüz işaretlerle anlaşılmaktadır.Ebeveynler kendilerini çocuklarının uzmanı olarak görmüş ve doktorlardan yeterli destek alamadıklarını düşündüklerinde çocuklarını koruma ihtiyacı daha da artmaktadır. Konuşamayançocukların ebeveynleri ise çocuklarının sesi olma ve onların adına karar verme sorumluluğunu üstlenmektedir. Karar verme sürecinde ebeveynler, mevcut tüm tedavi seçeneklerini denemek veya alternatif tedavilere ve ikinci görüşlere başvurmak istemektedir. Bu durum özellikle tedaviyi sonlandırma kararlarında belirgin olmaktadır ; ebeveynler başka seçenek kalmadığından emin olmak ve gerektiğinde kararlarını değiştirebileceklerini bilmek istemektedir (Edwards ve ark., 2020).

4.6. Duygu Çeşitliliği

Ebeveynler karar verme sürecinde çok çeşitli olumsuz duygular yaşamaktadır: kaygı, depresyon, üzüntü, korku, gerginlik, çaresizlik, stres ve öfke Bilgi yükü nedeniyle tükenmişlik hisseden ebeveynler, zihinsel olarak odaklanmakta ve karar vermekte zorlanmaktadır. Bazı durumlarda öfke ve hayal kırıklığı, dinlenmediklerini ya da karar yönlendirmesine maruz kaldıklarını hissetmeleriyle ilişkilendirilmektedir(Yazdani ve Bogetz, 2022).

5. HEMŞİRELİK VE SAĞLIK PROFESYONELLERİN ROLÜ

Çocuk sağlığı hemşiresi; ebeveynlerin çocuğun bakımına katılmasını desteklemeli, çocuğa uygulanan tanı ve tedavi yöntemlerinin karmaşıklığını göz önünde bulundurarak daha yalın bir dil kullanmayı tercih etmeli, soru sormalarına fırsat vermeli, aileyi bilgilendirirken çocuğun sağlık durumu ve prognozu hakkında aileye dürüst bir şekilde açıklama yapmalıdır. Çocuk sağlığı hemşiresi, annelerin hastanede çocuğun tüm fiziksel bakımını üstlenmelerinin kendi gereksinimlerini karşılayamama yol açabileceğini de göz önünde bulundurarak ,bakım planını yaparken annenin kendi gereksinimlerini de karşılayacak şekilde düzenlemelidir (Akça ve Gözen, 2019) Çocuk ile görüşme yapılırken çocuğun yaşı, ailenin özellikleri ve durumu göz önüne alınarak en uygun zamanda iletişim kurulmalıdır. Örneğin 3-6 yaş dönemi çocuğa kastrasyon korkusu yaşayacağı göz önünde bulundurularak yaklaşılmalı, kesme, kanama gibi kelimeler çocuğun yanında kullanılmamalıdır. Ebeveynlerin bilgilendirilmesinde, çocuğun bakımında verilen kararlara katılma sürecinde iletişim önemli rol oynar. Sağlık personeli ve ebeveyn arasındaki açık iletişim, onların endişelerini, güçlüklerini, gereksinimlerini anlayabilmek için son derece önemlidir. Ebeveynler ve sağlık personeli endişelerini ifade edebilmek ve fikirlerini paylaşabilmek için karşılıklı saygıya dayalı etkin bir iletişim kurmalıdırlar. Ailenin sağlığa ilişkin inançları, değerleri ve tutumları ve sağlık uygulamaları doğumdan itibaren çocuğu etkiler. Bu nedenle, hemşire bakım vereceği çocuğu ve aileyi bütüncül olarak değerlendirmeli; ailenin güçlü ve zayıf yönlerinin farkında olmalı ve kullandığı baş etme yöntemlerini değerlendirmeli ve aileyi çok iyi tanımalıdır (Yavaş Çelik, 2018).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çocuk sağlığının korunması ve geliştirilmesi, toplum sağlığının sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda koruyucu sağlık hizmetleri; hastalıkların önlenmesi, erken tanı ve tedavi süreçlerinin desteklenmesi, çocukların fiziksel, ruhsal ve sosyal yönden sağlıklı bireyler olarak gelişimlerinin sağlanmasında temel bir role sahiptir.

Derleme kapsamında incelenen bağışıklama hizmetleri, tarama programları, sağlıklı beslenme alışkanlıkları, anne sütü ve emzirmenin desteklenmesi, hijyen uygulamaları, kazaların önlenmesi ve ruh sağlığını koruyucu yaklaşımlar çocuk sağlığının korunmasında etkili uygulamalar olarak öne çıkmaktadır.

Bununla birlikte ebeveyn karar süreçleri, çocuk sağlığını doğrudan etkileyen önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Ebeveynlerin çocuk sağlığına ilişkin kararları; sağlık okuryazarlığı düzeyi, eğitim durumu, kültürel inanışlar, sosyoekonomik koşullar, medya ve sosyal medya içerikleri, bilgi kaynakları ile sağlık profesyonelleriyle kurulan iletişimden etkilenmektedir. Özellikle aşılama, beslenme, sağlık hizmetine başvurma davranışları ve koruyucu uygulamalara katılım konularında ebeveyn tutumlarının belirleyici olduğu görülmektedir. Aşı tereddüdü gibi güncel halk sağlığı sorunları da ebeveyn karar süreçlerinin çocuk sağlığı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

Çocuk sağlığının korunmasında yalnızca sağlık hizmetlerinin sunulması yeterli olmayıp ailelerin bilinçlendirilmesi, doğru bilgiye erişimlerinin desteklenmesi ve sağlık profesyonelleriyle etkili iş birliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle sağlık çalışanlarının aile merkezli yaklaşımı benimsemeleri, ebeveynlere bilimsel ve güvenilir bilgi sunmaları, karar verme süreçlerinde danışmanlık sağlamaları ve koruyucu sağlık uygulamalarına yönelik farkındalığı artırmaları önem taşımaktadır. Ayrıca toplum temelli eğitim programlarının yaygınlaştırılması, sağlık okuryazarlığının güçlendirilmesi, ebeveynlerin yanlış bilgi kaynaklarından korunması ve çocuk sağlığına yönelik danışmanlık hizmetlerinin artırılması önerilmektedir. Sonuç olarak çocuk sağlığını koruyucu yaklaşımların etkin biçimde uygulanması ve ebeveynlerin bilinçli karar verme becerilerinin desteklenmesi, sağlıklı nesillerin yetiştirilmesinde temel unsurlardan biridir.

7. KAYNAKLAR

Akyıldız, H. Ç., & Okyay, P. (2024). Sağlıkta Koruma Kavramının Gelişimi ve Kapsamı. Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi, 33(2), 146-156. https://doi.org/10.17942/sted.1391900

Badarau, D. O., Ruhe, K., Kühne, T., De Clercq, E., Colita, A., Elger, B. S., & Wangmo, T. (2017). Decision making in pediatric oncology: Views of parents and physicians in two European countries. *AJOB empirical bioethics*, *8*(1), 21–31. https://doi.org/10.1080/23294515.2016.1234519

Çebi, A. İ. ve İmamoğlu, O. (2022). Sporcu ve Sedanter'in Üniversitede Uyku Kalitesinin Araştırılması. *Uluslararası Güncel Eğitim Araştırmaları Dergisi , 8* (2), 375-386. https://izlik.org/JA98NZ68EZ

Çelik, M. Y. (2018). Çocuk hastalarda aile merkezli bakım ve hemşirelik. *Sağlık ve Toplum*, *28*(1), 26-31.

Çıtak, G., & Duran Aksoy, Ö. (2021). Aşılamada Önemli Bir Engel: Aşı Reddi. *ERÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 7*(2), 15-20. https://izlik.org/JA45DF73HZ

Demircioğlu, H., & Yoldaş, C. (2019). Çocukluk ve Ergenlik Döneminde Psikososyal Risk Faktörleri ve Koruyucu Unsurlar. *Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi, 18*(1), 40-48. https://izlik.org/JA63HW55CJ

Donmez, O. (2026). Aşı Reddi ve Aşı Karşıtlığı Konusunda Yapılan Tezlerin İncelenmesi. *Frontiers in Health, 1*(1), 47-56. https://izlik.org/JA42TK92ZM

Ece Abay, Ş. (2018). İlkokul Öğrencilerinin Genel Hijyen Konusundaki İhtiyaçlarının Saptanması. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi, 27*(5), 352-357. https://izlik.org/JA87YJ28BJ

Edwards, J. D., Panitch, H. B., Nelson, J. E., Miller, R. L., & Morris, M. C. (2020). Decisions for Long-Term Ventilation for Children. Perspectives of Family Members. *Annals of the American Thoracic Society*, *17*(1), 72–80. https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201903-271OC

Gür, E. (2019). Aşı tereddüdü - Aşı reddi. *Türk Pediatri Arşivleri* , *54* (1), 1–2. https://doi.org/10.14744/TurkPediatriArs.2019.79990

Halter, M., Joly, L., de Lusignan, S., Grant, R. L., Gage, H., & Drennan, V. M. (2018). Capturing complexity in clinician case-mix: classification system development using GP and physician associate data. *BJGP open*, *2*(1), bjgpopen18X101277. https://doi.org/10.3399/bjgpopen18X101277

Karaahmetoğlu, G. U., & Kırmacı, N. D. (2026). *0-6 yaş çocuğu olan annelerin ev kazalarını önlemeye yönelik tutum ve davranışlarının incelenmesi.* 13th International Acharaka Congress on Medicine, Nursing, Midwifery, and Health Sciences. 16-18 February 2026. Baku, Azerbaijan. p: 350-361. https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-610-29-12025.5093

Koç, F., & Akşit, S. (2020). Süt Çocuklarında Tamamlayıcı Beslenme. *Türkiye Klinikleri, 1*(1), 29-34.

Kul, M., & Ateş, Z. H. (2025). Okul öncesi çocuklarda düzenli fiziksel aktivitenin beslenme ve uyku düzenine etkisi: öğretmen görüşlerine dayalı bir fenomenolojik İnceleme. *Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 19*(2), 12-25. https://doi.org/10.61962/bsd.1610136

Mbakaya, B. C., Lee, P., & Lee, R. L. T. (2019). Effect of a school-based hand hygiene program for Malawian children: A cluster randomized controlled trial. *American Journal of Infection Control*, *47*(12), 1460–1464. https://doi.org/10.1016/j.ajic.2019.06.009

Orhan, R., & Ayan, S. (2018). Psiko-Motor ve Gelişim Kuramları Açısından Spor Pedagojisi. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 8*(2), 523-540. https://izlik.org/JA47CY97NP

Özakar Akça, S., Çankaya, T., & Aydın, Z. (2017). 0-6 Yaş Grubu Çocuğu Olan Annelerin Ev Kazalarına Yönelik Güvenlik Önlemlerini Tanılama Düzeyleri Ve Annelere Verilen Ev Kazalarına Yönelik Eğitimin Etkisi. *Çağdaş Tıp Dergisi, 7*(1), 50-57. https://doi.org/10.16899/gopctd.299084

Özkal, N. (2020). Okulöncesinden Liseye Öğretim Programlarında Temizlik ve Hijyen: Türkiye Örneği. *Buca Eğitim Fakültesi Dergisi, 50*, 191-206. https://izlik.org/JA73MU35AD

Roberts, M., Tolar-Peterson, T., Reynolds, A., Wall, C., Reeder, N., & Rico Mendez, G. (2022). The Effects of Nutritional Interventions on the Cognitive Development of Preschool-Age Children: A Systematic Review. *Nutrients*, *14*(3), 532. https://doi.org/10.3390/nu14030532

T.C. Sağlık Bakanlığı (2025). Bebek Çocuk Ergen İzlemleri. Erişim Adresi: https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/sagligin-gelistirilmesi-programlari/bebek-cocuk-ergen-izlemleri.html Erişim Tarihi: 03.05.2026

T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (2023). Ruh Sağlığı Dairesi Başkanlığı hizmetleri. T.C. Sağlık Bakanlığı. Erişim Adresi: https://hsgm.saglik.gov.tr/ Erişim Tarihi: 03.05.2026

Uncuoğlu Aydoğan, D. D. A. (2018). Spor Yapan Çocukta Beslenme. *Klinik Tıp Pediatri Dergisi, 10*(5), 19-27. https://izlik.org/JA42FM53MA

Yazdani, N., Chartrand, J., & Stacey, D. (2022). Exploring Parental Decision MSAaking for a Child With a Life-Limiting Condition: An Interpretive Description Study. *Journal of hospice and palliative nursing : JHPN : the official journal of the Hospice and Palliative Nurses Association*, *24*(2), 140–146. https://doi.org/10.1097/NJH.0000000000000839

Yılmaz Kurt F., Çalbayram N., Oğul T., Aldemir F. (2022). 0-6 Yaş Çocuklarda Ev Kazaları Sıklığı ve Annelerin Ev Kazalarına Yönelik Aldığı Güvenlik Önlemlerinin İncelenmesi: Pandemi Süreci Örneği. *Journal of Infant, Child and Adolescent Health, 2*(3), 177-188.

Yüksel, D., & Bal Yılmaz, H. (2021). Emzirme ve Anne Sütünün Tarihsel Süreçteki Yeri. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 6*(1), 71-76. https://izlik.org/JA79AC36CC

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

HEMŞIRELIK ÖĞRENCILERINDE İNOVASYON YETKINLIĞININ GELIŞTIRILMESI SÜRDÜRÜLEBILIR KALKINMA AMACI 9 PERSPEKTIFI

Araş. Gör. Gonca AKTAY
Yüksek İhtisas Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü
ORCID: 0000-0003-2811-2779

Araş. Gör. Zeynep ERSAY ÖNAL
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü
ORCID: 0000-0002-6480-4396

ÖZET
Günümüzde sağlık sistemlerinin sürdürülebilir, erişilebilir ve kaliteli hizmet sunabilmesi, yenilikçi düşünebilen, problem çözme becerisi gelişmiş ve teknolojiye uyum sağlayabilen hemşirelik öğrencilerinin iyi yetiştirilmesiyle yakından ilişkilidir. Hemşirelik öğrencilerinde inovasyon yetkinliğinin geliştirilmesi, bireysel mesleki gelişimin yanı sıra sağlık hizmetlerinde verimliliğin artırılması, bakım kalitesinin güçlendirilmesi ve toplum sağlığının iyileştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Sürdürülebilir Kalkınma Amacı 9; sanayi, yenilikçilik ve altyapı başlıkları kapsamında dayanıklı sistemlerin kurulmasını, sürdürülebilir gelişmenin desteklenmesini ve yenilikçiliğin teşvik edilmesini hedeflemektedir. Bu doğrultuda hemşirelik eğitimi, öğrencilerin yaratıcı düşünme, kanıta dayalı uygulama geliştirme, dijital sağlık teknolojilerini kullanma ve bakım süreçlerinde yenilikçi çözümler üretme becerilerini destekleyecek biçimde yapılandırılmalıdır. Bu çalışma, hemşirelik öğrencilerinde inovasyon yetkinliğinin geliştirilmesini Sürdürülebilir Kalkınma Amacı 9 perspektifinden ele almakta ve hemşirelik eğitiminde inovasyon kültürünün güçlendirilmesine yönelik kavramsal bir değerlendirme sunmaktadır. Çalışmada, inovasyon yetkinliğinin artırılmasının öğrencilerin mesleki özerklik, eleştirel düşünme, girişimcilik ve disiplinler arası iş birliği becerilerine katkı sağlayabileceği vurgulanmaktadır. Ayrıca öğrencilerin yenilikçi yaklaşımları klinik karar verme süreçlerine aktarabilmesi, sağlık bakımında kaliteyi ve hasta güvenliğini destekleyen önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle eğitim programlarında simülasyon, proje temelli öğrenme, probleme dayalı etkinlikler ve dijital uygulamalarla desteklenen öğrenme ortamlarının yaygınlaştırılması önerilmektedir. Sonuç olarak, hemşirelik eğitim programlarında inovasyon odaklı öğrenme ortamlarının, proje temelli uygulamaların, dijital sağlık araçlarının ve sürdürülebilir kalkınma bilincinin bütüncül biçimde yer alması; geleceğin hemşirelerinin yenilikçi, çözüm odaklı ve sürdürülebilir sağlık sistemlerine katkı sunan profesyoneller olarak yetişmesine destek olacaktır.
Anahtar Kelimeler: Hemşirelik eğitimi; inovasyon yetkinliği, sürdürülebilir kalkınma; sağlıkta yenilikçilik, sürdürülebilir kalkınma amacı 9.

ENHANCING INNOVATION COMPETENCE IN NURSING STUDENTS: A SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOAL 9 PERSPECTIVE

ABSTRACT
The ability of contemporary health systems to deliver sustainable, accessible, and high-quality care depends largely on nurses who can think creatively, solve complex problems, and adapt to rapidly developing technologies. Therefore, developing innovation competence in nursing students is essential not only for their professional growth but also for improving healthcare efficiency, strengthening care quality, and promoting public health.

Sustainable Development Goal 9 emphasizes resilient infrastructure, sustainable development, and the promotion of innovation. Within this framework, nursing education should encourage students to develop creative thinking, evidence-based practice skills, digital health literacy, and the capacity to produce innovative solutions for care-related challenges. This paper examines the development of innovation competence among nursing students from the perspective of Sustainable Development Goal 9 and provides a conceptual discussion on strengthening an innovation-oriented culture in nursing education. It emphasizes that innovation competence can enhance students' professional autonomy, critical thinking, entrepreneurship, digital readiness, and interdisciplinary collaboration. Furthermore, students' ability to integrate innovative approaches into clinical decision-making may contribute to patient safety, quality improvement, and more responsive healthcare delivery. Accordingly, nursing curricula should be enriched with simulation-based education, project-based learning, problem-based activities, digital applications, and sustainability-focused learning environments. In conclusion, embedding innovation-oriented strategies and sustainable development awareness into nursing education can support the preparation of future nurses as creative, solution-oriented, and socially responsible professionals who contribute to resilient and sustainable healthcare systems.

Keywords: Nursing education; innovation competence; sustainable development; healthcare innovation, sustainable development goal 9

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

HEMŞİRELİK YÖNETİMİNDE SESSİZ İSTİFA: ÖRGÜTSEL VE BİREYSEL BELİRLEYİCİLER ÜZERİNE BİR DERLEME

Araş. Gör. Zeynep ERSAY ÖNAL
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü
ORCID: 0000-0002-6480-4396

Araş. Gör. Gonca AKTAY
Yüksek İhtisas Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü
ORCID: 0000-0003-2811-2779

ÖZET
Sessiz istifa, çalışanın iş sözleşmesini veya görevini resmî olarak sonlandırmaksızın, yalnızca iş tanımının gerektirdiği görevleri yerine getirmesi ve iş yaşamına yönelik gönüllü katkılarını azaltması şeklinde tanımlanan güncel bir çalışma yaşamı olgusudur. Sağlık hizmetlerinin kesintisiz ve yoğun insan gücü gerektiren yapısı nedeniyle sessiz istifa eğilimi, özellikle hemşirelik hizmetlerinin yönetimi açısından önem taşımaktadır. Bu derlemenin amacı, hemşirelerde sessiz istifa davranışının ortaya çıkmasında rol oynayan örgütsel ve bireysel belirleyicileri hemşirelik yönetimi perspektifinden değerlendirmektir. Bu kapsamda sessiz istifa kavramına ilişkin ulusal ve uluslararası literatür incelenmiş; kavramla ilişkili olduğu bildirilen değişkenler hemşirelik hizmetlerinin özellikleri ve yönetim süreçleri çerçevesinde değerlendirilmiştir. Literatür doğrultusunda belirlenen faktörler; çalışma ortamı, yönetici davranışları, iş yükü, örgütsel adalet, yönetime katılım, iş doyumu, örgütsel bağlılık, tükenmişlik, psikolojik iyi oluş ve iş-yaşam dengesi başlıkları altında ele alınmıştır. Bulgular, sessiz istifanın tek bir nedene bağlı olarak ortaya çıkmadığını; bireysel özellikler ile örgütsel koşulların etkileşimi sonucunda gelişebildiğini göstermektedir. Aşırı iş yükü, yetersiz personel, düşük yönetici desteği, adaletsiz uygulamalar, karar süreçlerine katılımın sınırlı olması, takdir ve ödüllendirme eksikliği, olumsuz çalışma ortamı ve mesleki gelişim olanaklarının yetersizliği sessiz istifa eğilimini artırabilmektedir. Bunun yanında tükenmişlik, düşük iş doyumu, motivasyon kaybı, psikolojik uzaklaşma ve iş-yaşam dengesizliği de önemli belirleyiciler arasında değerlendirilmektedir. Hemşirelik hizmetlerinde sessiz istifa; gönüllü katkının, ekip çalışmasına katılımın ve yenilikçi uygulamalara ilginin azalmasına yol açarak bakım kalitesini ve örgütsel bağlılığı olumsuz etkileyebilir. Sonuç olarak sessiz istifa, yalnızca bireysel bir çalışan davranışı değil, örgütsel çalışma koşullarının yeniden değerlendirilmesini gerektiren bir erken uyarı göstergesi olarak ele alınmalıdır. Hemşire yöneticilerinin adil ve destekleyici çalışma ortamları oluşturması, iş yükünü dengelemesi, çalışan katılımını artırması ve mesleki gelişimi desteklemesi sessiz istifa eğiliminin azaltılmasına katkı sağlayabilir.
Anahtar Kelimeler: Sessiz İstifa, Hemşirelik Yönetimi, Hemşireler, Örgütsel Faktörler, Bireysel Faktörler, Çalışma Yaşamı

QUIET QUITTING IN NURSING MANAGEMENT: A REVIEW OF ORGANIZATIONAL AND INDIVIDUAL DETERMINANTS

ABSTRACT
Quiet quitting is a contemporary phenomenon in working life in which employees do not formally terminate their employment contracts or positions but limit their efforts to the tasks required by their job descriptions and reduce their voluntary contributions to work.

Given the continuous nature of healthcare services and their intensive reliance on human resources, quiet quitting has become an important issue, particularly from the perspective of nursing management. This review aimed to evaluate the organizational and individual determinants contributing to quiet quitting among nurses from a nursing management perspective. Within this scope, national and international literature on quiet quitting was reviewed, and variables reported to be associated with the phenomenon were evaluated in relation to the characteristics of nursing services and management processes. The identified factors were thematically examined under the dimensions of work environment, managerial behaviors, workload, organizational justice, participation in decision-making, job satisfaction, organizational commitment, burnout, psychological well-being, and work–life balance. The literature indicates that quiet quitting does not arise from a single cause but may develop through the interaction between individual characteristics and organizational conditions. Excessive workload, inadequate staffing, limited managerial support, perceived organizational injustice, restricted participation in decision-making processes, lack of recognition and rewards, unfavorable work environments, and insufficient opportunities for professional development may increase the tendency toward quiet quitting. In addition, burnout, low job satisfaction, loss of motivation, psychological disengagement, and work–life imbalance are considered important individual and work-related determinants. In nursing services, quiet quitting may reduce voluntary contributions, participation in teamwork, and engagement in innovative practices, thereby potentially undermining quality of care and organizational commitment. In conclusion, quiet quitting should be considered not merely an individual employee behavior but also an early warning indicator requiring the reassessment of organizational working conditions. Nursing managers can contribute to reducing quiet quitting by fostering fair and supportive work environments, balancing workloads, enhancing employee participation, and supporting professional development.

Keywords: Quiet Quitting, Nursing Management, Nurses, Organizational Factors, Individual Factors, Working Life

HASTANE HEMŞİRELERİNDE NÖROŞİRÜRJİK HASTA BAKIMINA YÖNELİK KLİNİK FARKINDALIK, ÖZ YETERLİLİK VE EĞİTİM GEREKSİNİMLERİ: KESİTSEL BİR ÇALIŞMA

Araştırma Görevlisi Doktor Süleyman AKILLI
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahi Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0006-8354-5752

Araştırma Görevlisi Doktor Sinem KARAKAYA
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahi Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0005-2625-6340

Doktor Öğretim Üyesi Murat Özcan YAY
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahi Anabilim Dalı
ORCID: 0000-0001-8990-7642

ÖZET

Giriş: Beyin ve sinir cerrahisinin hasta grubunda peroperatif izlem; nörolojik kötüleşme, intrakraniyal basınç artışı ve postoperatif komplikasyonlar gibi nedenlerden ötürü erken tanıma ve zamanında müdahale açısından kritiktir. Peroperatif izlemde büyük rol oynayan hemşirelerin klinik farkındalıkları, öz yeterlilikleri ve sürekli mesleki gelişimleri kritik öneme sahiptir. Hemşirelerin bu gereksinimlerini birlikte değerlendiren çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada hastane hemşirelerinin nöroşirürjik hasta bakımına yönelik klinik farkındalık, öz yeterlilik ve eğitim gereksinimlerinin değerlendirilmesi amaçlandı.

Yöntem: Bu analitik kesitsel çalışma, tek merkez üniversite hastanesinde görev yapan hemşireler ile gerçekleştirildi. Veriler, araştırmacılar tarafından geliştirilen yapılandırılmış çevrim içi anket aracılığıyla toplandı. Anket; sosyodemografik özellikler, klinik farkındalık, öz yeterlilik ve eğitim gereksinimini değerlendiren maddelerden oluştu. Veriler istatistik paket programı kullanılarak analiz edildi ve istatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edildi.

Bulgular: Çalışmaya toplam 105 hemşire katıldı. Katılımcıların %65,7'si daha önce nöroşirürjik hasta bakımına yönelik eğitim almamıştı. Klinik farkındalık ve öz yeterlilik düzeyleri yüksek, eğitim gereksinimi düzeyi ise orta düzeydeydi. Mesleki deneyim ile klinik farkındalık, nöroşirürjik hastalarla karşılaşma sıklığı ile öz yeterlilik ve klinik farkındalık ile öz yeterlilik arasında anlamlı pozitif ilişki saptandı. Daha önce eğitim almayan hemşirelerin eğitim gereksinimi anlamlı olarak daha yüksekti.

Sonuç: Hemşirelerin nöroşirürjik hasta bakımına yönelik klinik farkındalık ve öz yeterlilik düzeyleri yüksek olmasına rağmen yapılandırılmış eğitime katılım sınırlı, eğitim gereksinimi ise devam etmektedir. Düzenli, standartlaştırılmış ve uygulama temelli hizmet içi eğitim programlarının geliştirilmesi, hemşire yetkinliğinin artırılması ve hasta güvenliğinin güçlendirilmesine katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Nöroşirürji; Hemşirelik; Klinik farkındalık; Öz yeterlilik; Eğitim gereksinimi; Hasta bakımı; Kesitsel çalışma.

CLINICAL AWARENESS, SELF-EFFICACY, AND EDUCATIONAL NEEDS REGARDING NEUROSURGICAL PATIENT CARE AMONG HOSPITAL NURSES: A CROSS-SECTIONAL STUDY

ABSTRACT

Introduction: Perioperative monitoring of neurosurgical patients is critical for the early recognition and timely management of neurological deterioration, increased intracranial pressure, and postoperative complications. Nurses, who play a major role in perioperative monitoring, require adequate clinical awareness, self-efficacy, and continuous professional development. However, studies evaluating these requirements simultaneously are limited. This study aimed to evaluate the clinical awareness, self-efficacy, and educational needs of hospital nurses regarding neurosurgical patient care.

Methods: This analytical cross-sectional study was conducted among 105 nurses working at a single-center university hospital. Data were collected using a structured online questionnaire developed by the researchers. The questionnaire consisted of items assessing sociodemographic characteristics, clinical awareness, self-efficacy, and educational needs. Data were analyzed using jamovi software, and statistical significance was set at $p<0.05$.

Results: Of the participants, 65.7% had not previously received education on neurosurgical patient care. Clinical awareness and self-efficacy levels were high, whereas the level of educational need was moderate. Significant positive associations were found between professional experience and clinical awareness ($p=0.016$), frequency of caring for neurosurgical patients and self-efficacy ($p=0.007$), and clinical awareness and self-efficacy ($p<0.001$). Nurses who had not previously received education had significantly higher educational needs ($p=0.032$).

Conclusion: Although nurses demonstrated high levels of clinical awareness and self-efficacy regarding neurosurgical patient care, participation in structured educational programs was limited, and educational needs persisted. The development of regular, standardized, and practice-based in-service training programs may contribute to improving nursing competency and strengthening patient safety.

Keywords: Neurosurgical nursing; Neurosurgical patient care; Clinical awareness; Self-efficacy; Educational needs; Hospital nurses; Cross-sectional study.

GİRİŞ

Nöroşirürjik hastalıklar; kranial, spinal, vasküler ve periferik sinir patolojilerini kapsayan geniş bir hastalık yelpazesini oluşturmakta olup dünya çapında mortalite, morbidite ve uzun dönem fonksiyon kaybının en önemli nedenleri arasında yer almaktadır (1,2). Her yıl yaklaşık 22,6 milyon kişinin beyin ve sinir cerrahisi ile ilişkili bir hastalık veya yaralanma geçirdiği, bunların 13,8 milyonunun cerrahi tedaviye yönlendirildiği bildirilmektedir (1). Bunun yanında nöroşirürjik hastalar yalnızca akut dönemde değil, postoperatif süreçte de nörolojik defisit, enfeksiyon, intrakraniyal basınç artışı, hemoraji, epileptik nöbet, bilişsel bozukluk ve fonksiyonel bağımlılık gibi ciddi komplikasyonlarla karşı karşıya kalabilmektedir (2,3). Bu nedenle nöroşirürjik bakım yalnızca başarılı cerrahi girişimle sınırlı olmayıp multidisipliner ekip yaklaşımı içerisinde etkin perioperatif bakımın sağlanmasını gerektirmektedir (2,4). Nöroşirürjik hastaların yönetiminde hemşireler, hastayla uzun süre temas halinde bulunan sağlık profesyonelleri olarak bakım sürecinde önemli yer almaktadırlar (2,4). Bilinç düzeyindeki minimal değişikliklerin, pupiller anormalliklerin, yeni gelişen motor defisitlerin veya ani klinik kötüleşmenin erken fark edilmesi gibi yaşam kurtarıcı müdahalelerde etkin rol oynayabilmektedirler (2,4,5).

Nöroşirürji hemşireleri nörolojik değerlendirme, Glasgow Koma Skalası uygulaması, postoperatif izlem, şant ve dren yönetimi, ağrı kontrolü, enfeksiyonun erken tanınması, hasta ve aile eğitimi ile multidisipliner ekip koordinasyonunda kritik sorumluluklar üstlenmektedir (2,4,5). Nöroşirürjik bakımın kalitesi yalnızca teknik becerilere değil, hemşirelerin klinik farkındalık, bilgi düzeyi, öz yeterlilik algısı ve klinik karar verme becerilerine de bağlıdır. (3,5,6) Klinik farkındalık, hastadaki ince nörolojik değişikliklerin zamanında fark edilmesini ve uygun klinik müdahalenin gecikmeden başlatılmasını sağlarken; öz yeterlilik ise bireyin belirli bir klinik görevi başarıyla yerine getirebileceğine ilişkin inancını ifade etmektedir. (5) Bununla birlikte mevcut literatür incelendiğinde çalışmaların büyük bölümünün yalnızca bilgi düzeyini, yalnızca klinik uygulamaları veya yalnızca belirli bir eğitim programının etkisini değerlendirdiği görülmektedir. Hemşirelerin nöroşirürjik hasta bakımına ilişkin klinik farkındalık, öz yeterlilik, eğitim deneyimi ve eğitim gereksinimlerini aynı çalışma kapsamında bütüncül olarak değerlendiren araştırmalar ise oldukça sınırlıdır. Bu bilgi eksikliğinin giderilmesi, hem mevcut eğitim programlarının yeniden yapılandırılması hem de hasta güvenliğini artırmaya yönelik kanıta dayalı stratejilerin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. (2,4,5) Bu çalışmada hemşirelerin nöroşirürjik hasta bakımına yönelik klinik farkındalık, öz yeterlilik düzeyi, önceki eğitim deneyimleri ve eğitim gereksinimleri değerlendirilmesi; ayrıca bu değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesi amaçlanmıştır.

YÖNTEM

Bu çalışma, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi hastane hemşirelerinin nöroşirürjik hasta bakımına yönelik klinik farkındalık düzeyleri, öz yeterlilik algıları ve eğitim gereksinimlerini değerlendirmek ve bu değişkenler arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla yürütülen tek merkezli, analitik kesitsel bir araştırmadır. Çalışmaya, araştırma süresince hastanede aktif olarak görev yapan, gönüllü olarak katılmayı kabul eden ve elektronik bilgilendirilmiş gönüllü olur formunu onaylayan tüm hemşireler dahil edilmiştir. Anket formunu eksik dolduran, tutarsız yanıt veren veya çalışmayı tamamlamayan katılımcılar analiz dışı bırakılmıştır. Veriler, araştırmacılar tarafından literatür doğrultusunda geliştirilen ve Google Forms (Google LLC, Mountain View, CA, USA) platformu üzerinden çevrim içi uygulanan yapılandırılmış bir anket aracılığıyla toplanmıştır. Anket formu, katılımcıların sosyodemografik ve mesleki özelliklerini değerlendiren ilk bölüm ile nöroşirürjik hasta bakımına yönelik klinik farkındalık, öz yeterlilik ve eğitim gereksinimini değerlendiren 5'li Likert tipindeki maddelerden oluşan ikinci bölüm olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Verilerin istatistiksel analizi istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm istatistiksel analizlerde iki yönlü $p<0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Araştırma, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır (Karar No: E-53043469-050.04-920379, Doğrulama Kodu: BSMEAZB45Z, Evrak Tarih ve Sayısı: 11.08.2026 - 920379) ve çalışma Helsinki Bildirgesi ilkelerine uygun olarak yürütülmüştür.

BULGULAR

Araştırmaya toplam 105 hemşire dahil edildi. Katılımcıların 86'sı (%81,9) kadın, 18'i (%17,1) erkek olup bir katılımcı (%1,0) cinsiyetini belirtmek istemedi. En sık görülen yaş grubu 26–30 yaş (%28,6) olup bunu 31–35 yaş (%27,6) izledi. Katılımcıların %55,2'si lisans, %17,1'i yüksek lisans veya doktora mezunuydu. Hemşirelik deneyimi açısından katılımcıların %55,2'sinin 11 yıl ve üzeri deneyime sahip olduğu, %47,6'sının yoğun bakım ünitesinde ve %28,6'sının yatan hasta servisinde görev yaptığı belirlendi (Tablo 1). Katılımcıların %34,3'ü daha önce nöroşirürjik hasta bakımına yönelik eğitim aldığını, %65,7'si ise herhangi bir eğitim almadığını bildirdi.

Nöroşirürjik hastalarla sık veya çok sık karşılaştığını belirten katılımcı oranı %47,6 idi. Bakımında en sık görev alınan hasta grupları kafa travması ve beyin kanaması hastaları olurken, bunları hidrosefali veya şant hastaları, beyin tümörü, omurga travması, bel-boyun fıtığı veya spinal stenoz ile postoperatif kraniyal cerrahi hastaları izledi. Katılımcıların %9,5'i belirtilen nöroşirürjik hasta gruplarının hiçbirinin bakımında görev almadığını bildirdi (Tablo 2). Klinik ilgi ve klinik farkındalık maddelerine verilen yanıtlar incelendiğinde, "Nöroşirürjik hasta bakımı ilginizi çeken bir alandır" ifadesine katılan veya kesinlikle katılan katılımcı oranı %40,0 olarak bulundu. Klinik farkındalık maddelerinde olumlu yanıt oranları %84,8 ile %91,4 arasında değişmekteydi. Katılımcıların %91,4'ü nöroşirürjik hastalarda bilinç düzeyindeki küçük değişikliklerin klinik açıdan önemli olduğunu ve ani klinik kötüleşmenin gecikmeden hekime bildirilmesi gerektiğini bildiğini belirtti. Pupilla değişikliği, bilinç bozukluğu veya yeni gelişen kuvvet kaybının acil değerlendirme gerektirdiğini bilenlerin oranı %90,5, kafa travmalı hastalarda önemli uyarı bulgularını bildiğini belirtenlerin oranı ise %90,5 olarak saptandı. Omurga hastalarında yeni gelişen nörolojik bulguların aciliyetini bildiğini belirtenlerin oranı %84,8 idi. (Tablo 3). Öz yeterlilik maddelerine verilen yanıtlar değerlendirildiğinde olumlu yanıt oranlarının %80,0 ile %86,7 arasında değiştiği görüldü. Katılımcıların %86,7'si nörolojik acil durumda uygun ekibe zamanında haber verebileceğini, %85,7'si bilinç düzeyini temel düzeyde değerlendirebildiğini, %83,8'i pupilla değerlendirmesini doğru yapabildiğini ve %81,9'u ekstremite motor kuvvetini temel düzeyde değerlendirebildiğini belirtti. Klinik kötüleşmeyi erken fark edebileceğine inananların oranı %80 olarak bulundu. (Tablo 4). Eğitim gereksinimi maddelerinde en yüksek olumlu yanıt oranı nöroşirürjik acil durumların yönetimi konusunda eğitim gereksinimi maddesinde görüldü. Bunu omurga travması veya spinal cerrahi hastalarının takibi, beyin kanaması geçiren hastaların takibi, postoperatif nöroşirürji hastalarının bakımı, kafa travması hastalarının takibi ve nörolojik muayene izledi (Tablo 4). Katılımcıların doğrudan eğitim almak istediği konular arasında en sık şant ve dren takibi, nöroşirürjik aciller, beyin kanaması takibi, Glasgow Koma Skalası değerlendirmesi, postoperatif kraniyal cerrahi hasta bakımı ve kafa travması takibi yer aldı. Eğitimlerin verilme sıklığına ilişkin olarak katılımcıların %42,9'u yılda bir, %26,7'si altı ayda bir, %20,0'si gerektiğinde ve %6,7'si üç ayda bir eğitim düzenlenmesini tercih etti. Araştırmaya özgü bileşik madde ortalamaları kullanılarak yapılan analizlerde mesleki deneyim ile klinik farkındalık arasında zayıf düzeyde pozitif korelasyon saptandı. Mesleki deneyim ile öz yeterlilik ve eğitim gereksinimi arasında anlamlı ilişki bulunmadı. Nöroşirürjik hastalarla karşılaşma sıklığı ile öz yeterlilik arasında zayıf düzeyde pozitif korelasyon bulundu, ancak karşılaşma sıklığı ile klinik farkındalık ve eğitim gereksinimi arasında anlamlı ilişki saptanmadı. Klinik farkındalık ile öz yeterlilik arasında orta düzeyde pozitif korelasyon bulundu. Klinik farkındalık ile eğitim gereksinimi ve öz yeterlilik ile eğitim gereksinimi arasında anlamlı ilişki bulunamadı. Daha önce nöroşirürjik hasta bakımına yönelik eğitim alan ve almayan katılımcılar karşılaştırıldığında klinik farkındalık ve öz yeterlilik bileşik madde ortalamaları açısından gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmadı. Buna karşılık eğitim almayan katılımcıların eğitim gereksinimi medyanı, eğitim alan katılımcılara göre daha yüksek bulundu (Tablo 5).

TARTIŞMA

Klinik farkındalık ve öz yeterliliğin değerlendirilmesi

Bu çalışmaya katılan hemşirelerin ankete verdikleri cevaplardan elde edilen istatistiklerde nöroşirürjik hasta bakımına yönelik klinik farkındalık düzeylerinin yüksek olduğunu düşündükleri görüldü. Katılımcıların büyük çoğunluğu bilinç düzeyindeki küçük değişikliklerin, pupiller anormalliklerin, yeni gelişen motor defisitlerin ve ani nörolojik kötüleşmenin acil değerlendirme gerektirdiğini doğru olarak tanımladı.

Buna ek olarak öz yeterlilik puanlarının da yüksek bulunması, katılımcıların nörolojik değerlendirme ve kritik durum yönetiminde kendilerine güvendiklerini gösterdi. Nöroşirürjik hasta bakımında peroperatif dönemde erken nörolojik kötüleşmenin tanınması, hasta güvenliği ve klinik sonuçlar açısından bakımın kritik bileşenlerinden biridir. Güncel global nöroşirürji yaklaşımında kaliteli nöroşirürjik bakımın yalnızca cerrahi tedavi ile sınırlı olmadığı; etkin nörolojik izlem, yoğun bakım desteği, multidisipliner ekip çalışması ve eğitimli hemşirelik hizmetleri ile sürdürülebileceği vurgulanmaktadır (1). Çalışmamızdaki klinik farkındalık düzeyinin yüksek olmasına karşın, katılımcıların yalnızca yaklaşık üçte birinin daha önce nöroşirürjik hasta bakımına yönelik yapılandırılmış eğitim almış olması; bilgi ve farkındalığın önemli ölçüde klinik deneyim ve günlük uygulamalar sırasında kazanılmış olabileceğini düşündürmektedir. Glasgow Koma Skalası'nın geliştirilmesinden bu yana geçen yaklaşık elli yılda çok sayıda araştırma yapılmasına rağmen uygulayıcılar arasında değerlendirme farklılıklarının devam ettiği, özellikle ağrılı uyaran uygulanması, motor yanıtın değerlendirilmesi ve puanlamada önemli değişkenlikler bulunduğu bildiren çalışmalar sadece klinik deneyimin yeterli olmayacağını göstermektedir (3,7,8). Bu nedenle standart eğitim programlarının nörolojik değerlendirme becerilerinin sürdürülebilirliği açısından gerekli olduğu vurgulanmaktadır. Çalışmamızın aksine Etiyopya'da erişkin yoğun bakım hemşireleri üzerinde gerçekleştirilen kesitsel araştırmada hemşirelerin %51,2'sinin Glasgow Koma Skalası konusunda yetersiz bilgiye, %62'sinin ise yetersiz uygulama becerisine sahip olduğu bildirilmiştir (4,6). Çalışmamızda daha olumlu sonuçların elde edilmiş olması; katılımcıların önemli bir kısmının yoğun bakım ünitesinde görev yapmasına, nöroşirürjik hastalarla daha sık karşılaşmasına ve üçüncü basamak bir üniversite hastanesinde çalışmasına bağlı olabilir. Araştırmamızda öz yeterlilik düzeyinin de yüksek olduğu belirlendi. Özellikle bilinç değerlendirmesi, pupilla muayenesi, motor kuvvet değerlendirmesi, klinik kötüleşmenin erken fark edilmesi ve uygun ekibe zamanında haber verme konularında katılımcılar kendilerini yeterli olarak değerlendirdi. Öz yeterlilik, bireyin belirli bir klinik görevi başarıyla yerine getirebileceğine ilişkin inancı olarak tanımlanmakta olup hemşirelik uygulamalarında klinik karar verme, problem çözme ve bakım kalitesi üzerinde önemli belirleyicilerden biri olarak kabul edilmektedir (5,6). Öz yeterliliğin geliştirilmesine yönelik eğitim programlarının hemşirelerin klinik performansını artırdığı, teorik bilgi ile uygulama becerisi arasındaki ilişkiyi güçlendirdiği ve hasta bakım kalitesini olumlu yönde etkilediği gösterilmiştir (10,11,12,13). Bunun yanında literatürde öz yeterliliğin yalnızca bireysel güven duygusunu değil, klinik bilgi, deneyim ve sürekli eğitim ile desteklenmesi gereken dinamik bir kavram olduğu belirtilmektedir (5,6,10,11).

Eğitim gereksinimi, mesleki deneyim ve klinik maruziyetin değerlendirilmesi

Çalışmamızda dikkat çeken bulgulardan biri, katılımcıların klinik farkındalık ve öz yeterlilik düzeyleri yüksek olmasına rağmen nöroşirürjik hasta bakımına yönelik eğitim gereksinimlerinin orta düzeyde devam etmesidir. Katılımcılar nöroşirürjik aciller, şant ve dren takibi, Glasgow Koma Skalası değerlendirmesi, beyin kanaması, kafa travması ve postoperatif nöroşirürji hastalarının takibi konularında ek eğitim ihtiyacı olduğunu düşünmektedir. Ayrıca katılımcıların büyük çoğunluğu hizmet içi eğitimlerin düzenli aralıklarla, özellikle yılda en az bir kez planlanması gerektiğini belirtmiştir. Bu bulgular, mevcut bilgi ve deneyime rağmen hemşirelerin nöroşirürjik bakımın yüksek riskli doğasının farkında olduklarını ve mesleki gelişim gereksinimlerini sürdürdüklerini göstermektedir. Nörolojik değerlendirme yöntemleri, yoğun bakım uygulamaları, cerrahi teknikler ve hasta izlem protokolleri sürekli değişmekte ve güncellenmektedir. Bu nedenle özellikle nöroşirürjik kliniklerde çalışan hemşirelerin düzenli hizmet içi eğitim programlarına katılması, bakım kalitesinin sürdürülebilirliği açısından önerilmektedir (1).

Düşük ve orta gelirli ülkelerde nöroşirürjik hemşirelik uygulamalarını değerlendiren çalışmalar da eğitim eksikliğinin, standart bakım uygulamalarının geliştirilmesinin önündeki temel engellerden biri olduğunu ve sürdürülebilir eğitim modellerinin oluşturulması gerektiğini bildirmektedir (2,10). Araştırmamızda mesleki deneyim ile klinik farkındalık arasında zayıf ancak istatistiksel olarak anlamlı pozitif bir ilişki bulunmuştur. Buna karşın mesleki deneyim ile öz yeterlilik ve eğitim gereksinimi arasında anlamlı ilişki saptanmamıştır. Bu bulgu, klinik deneyimin özellikle nörolojik kötüleşmenin tanınması gibi gözlemsel becerileri geliştirdiğini, ancak bireyin kendisini yeterli hissetmesi veya eğitim gereksiniminin azalması için tek başına yeterli olmadığını düşündürmektedir. Çalışmamızın dikkat çekici bulgularından biri de nöroşirürjik hastalarla karşılaşma sıklığı arttıkça öz yeterlilik düzeyinin artmasıdır. Buna karşın aynı değişken ile klinik farkındalık ve eğitim gereksinimi arasında anlamlı ilişki saptanmamıştır. Bu durum, sık klinik maruziyetin bireyin kendine olan güvenini artırdığını, ancak objektif bilgi düzeyini veya eğitim ihtiyacını aynı ölçüde etkilemeyebileceğini düşündürmektedir. Klinik uygulamada tekrar eden başarılı deneyimler bireyin öz güvenini artırırken, bilgi düzeyindeki eksiklikler bu süreçte fark edilmeyebilir (5,6). Nitekim farklı hemşirelik alanlarında yapılan eğitim çalışmalarında da klinik uygulama deneyiminin öz yeterliliği artırdığı, ancak bunun teorik bilgi düzeyi ile her zaman paralel seyretmediği gösterilmiştir (10,11). Araştırmamızda klinik farkındalık ile öz yeterlilik arasında orta düzeyde pozitif korelasyon bulunması, nöroşirürjik bakım alanında bilgi ve kendine güvenin birbirini destekleyen iki önemli yapı olduğunu göstermektedir. Klinik olarak nörolojik kötüleşmeyi doğru tanıyabilen hemşirelerin aynı zamanda bu duruma müdahale etme konusunda da daha yüksek öz güvene sahip olması beklenen bir durumdur. Benzer şekilde palyatif bakım hemşirelerinde yapılan karşılaştırmalı bir çalışmada bilgi düzeyi arttıkça öz yeterlilik puanlarının da anlamlı şekilde yükseldiği ve bilgi düzeyinin öz yeterliliğin bağımsız belirleyicilerinden biri olduğu gösterilmiştir (11,12). Kültürel bakım alanında yürütülen randomize kontrollü eğitim çalışmasında ise eğitim sonrasında hem kültürel yeterlilik hem de öz yeterlilik puanlarında eş zamanlı artış olduğu bildirilmiş, bilgi kazanımı ile öz yeterlilik gelişiminin birlikte ilerlediği belirtilmiştir (10,11). Bu çalışmalar, çalışmamızda gözlenen klinik farkındalık–öz yeterlilik ilişkisinin yalnızca nöroşirürjiye özgü olmayıp hemşirelik eğitiminin genel dinamikleri ile de uyumlu olduğunu göstermektedir. Çalışmamızda daha önce nöroşirürjik hasta bakımına yönelik eğitim alan ve almayan hemşireler arasında klinik farkındalık ve öz yeterlilik açısından anlamlı fark bulunmamış, buna karşın eğitim almayan grubun eğitim gereksinimi anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur. Bu durum ilk bakışta beklenmeyen bir sonuç gibi görünmekle birlikte, eğitim almış bireylerin temel bilgi gereksinimlerini karşılamış olmaları nedeniyle ek eğitim taleplerinin azalması ile açıklanabilir. Ayrıca alınan eğitimlerin uzun zaman önce gerçekleştirilmiş olması, eğitim içeriklerinin standardize olmaması veya uygulamaya yeterince yansımamış olması da iki grup arasında fark oluşmamasına katkıda bulunmuş olabilir. Literatürde hemşirelik eğitimlerinin tek seferlik uygulamalar yerine düzenli aralıklarla tekrarlanmasının bilgi ve öz yeterlilik üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğu bildirilmektedir (10,11,12,13).

Çalışmanın güçlü yönleri, sınırlılıkları ve klinik çıkarımlar

Bu çalışmanın önemli güçlü yönlerinden biri, hemşirelerin nöroşirürjik hasta bakımına ilişkin klinik farkındalık, öz yeterlilik ve eğitim gereksinimini aynı araştırma kapsamında birlikte değerlendiren az sayıdaki çalışmadan biri olmasıdır. Özellikle klinik farkındalık ile öz yeterlilik arasında saptanan pozitif ilişki, nöroşirürjik hemşirelik eğitimlerinin yalnızca bilgi aktarımına değil, aynı zamanda klinik karar verme güveninin geliştirilmesine de odaklanması gerektiğini düşündürmektedir.

Araştırmamızın bir diğer güçlü yönü, katılımcıların yalnızca nöroşirürji servislerinden değil, nöroşirürjik hastaların sıklıkla takip edildiği yoğun bakım, servis, ameliyathane ve acil servis gibi farklı kliniklerden dahil edilmiş olmasıdır. Bu nedenle farklı kliniklerden elde edilen verilerin, gerçek klinik uygulamayı daha iyi yansıttığı düşünülmektedir. Bununla birlikte çalışmamızın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle araştırma tek merkezde yürütülmüş olup elde edilen bulguların farklı hastanelere veya farklı sağlık sistemlerine doğrudan genellenmesi mümkün olmayabilir. Ayrıca veriler katılımcıların öz bildirimine dayalı olarak elde edildiğinden bireysel algı farklılıkları tamamen dışlanamamaktadır. Çalışmamızda kullanılan anket formu araştırmacılar tarafından literatür doğrultusunda geliştirilmiş olup araştırmaya özgü klinik farkındalık, öz yeterlilik ve eğitim gereksinimi bileşik madde ortalamaları oluşturulmuştur. Gelecekte yapılacak çok merkezli çalışmalarda psikometrik özellikleri ayrıntılı olarak doğrulanmış ölçüm araçlarının kullanılması, elde edilecek sonuçların karşılaştırılabilirliğini artıracaktır.

SONUÇ

Bu çalışma, hemşirelerin nöroşirürjik hasta bakımına yönelik klinik farkındalık ve öz yeterlilik düzeylerinin genel olarak yüksek olduğunu, buna karşın yapılandırılmış nöroşirürji eğitimine katılım oranının sınırlı kaldığını ve özellikle nöroşirürjik aciller, nörolojik değerlendirme, şant ve dren yönetimi ile postoperatif bakım konularında sürekli eğitim gereksiniminin devam ettiğini ortaya koymuştur. Ayrıca mesleki deneyim ile klinik farkındalık, nöroşirürjik hastalarla karşılaşma sıklığı ile öz yeterlilik arasında pozitif ilişki saptanırken, klinik farkındalık ile öz yeterlilik arasında orta düzeyde anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Buna karşın daha önce eğitim almış olmak tek başına klinik farkındalık veya öz yeterlilik düzeylerinde anlamlı bir farklılık oluşturmamış, yalnızca eğitim gereksiniminin azalması ile ilişkili bulunmuştur. Çalışmamızda ortaya konulan klinik farkındalık–öz yeterlilik ilişkisi, bilgi ve klinik güvenin birbirini destekleyen iki temel unsur olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, nöroşirürjik hasta bakımına yönelik hizmet içi eğitimlerin belirli aralıklarla yinelenmesi ve standart eğitim programlarının geliştirilmesi önerilmektedir. Nöroşirürjik hemşirelik alanında klinik farkındalık, öz yeterlilik ve eğitim gereksinimini aynı araştırma kapsamında bütüncül olarak değerlendiren sınırlı sayıdaki çalışmalardan biri olması nedeniyle bu çalışma literatüre özgün katkı sunmaktadır. Daha geniş örneklemlerde, çok merkezli ve prospektif tasarımla yürütülecek; objektif klinik performans ölçümlerini ve eğitim müdahalelerini içeren çalışmaların, nöroşirürjik hemşirelik eğitimine ilişkin kanıt düzeyini daha da güçlendireceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Garcia RM, Shlobin NA, Baticulon RE, Ghotme KA, Lippa L, Borba LA, Qureshi M, Thango N, Khan T, Hutchinson P, Rosseau G. Global Neurosurgery: An Overview. Neurosurgery. 2024 Sep 1;95(3):501-508. doi: 10.1227/neu.0000000000003109. Epub 2024 Aug 15. PMID: 39145649.

2. Inshutiyimana S, Uwishema O, Ramadan N, Ghanem L, Al Maaz Z, Mukamitari V, Wojtara M, Mshaymesh S. The importance of neurosurgical nursing in low- and middle-income countries - a critical review. Ann Med Surg (Lond). 2025 Jan 31;87(2):720-724. doi: 10.1097/MS9.0000000000002910. PMID: 40110310; PMCID: PMC11918756.

3. Han Y, Wang Y, Liu Y, Wang Z, Dong X, Fang K. Neurosurgical nurses' perspectives of patient-reported outcomes: a qualitative study. BMC Nurs. 2025 Aug 11;24(1):1047. doi: 10.1186/s12912-025-03726-1. PMID: 40790591; PMCID: PMC12337540.

4. Cheng F, Yan H, Zhong J, Yang H, Nan R, Wang X, Wei Z, Dou X. Knowledge, attitude and practice of registered nurses toward ICU patients' transfer anxiety in China: A cross-sectional study. Heliyon. 2024 Apr 5;10(8):e29318. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e29318. PMID: 38660287; PMCID: PMC11040039.

5. Korpershoek C, van der Bijl J, Hafsteinsdóttir TB. Self-efficacy and its influence on recovery of patients with stroke: a systematic review. J Adv Nurs. 2011 Sep;67(9):1876-94. doi: 10.1111/j.1365-2648.2011.05659.x. Epub 2011 Jun 7. PMID: 21645040.

6. Andualem H, Beyene T, Tuli W. Knowledge and Practice about Glasgow Coma Scale Assessment among Nurses Working in Adult Intensive Care Units of Federal Public Hospitals in Addis Ababa, Ethiopia: A Cross-Sectional Study. Ethiop J Health Sci. 2022 Sep;32(5):895-904. doi: 10.4314/ejhs.v32i5.4. PMID: 36262709; PMCID: PMC9554765.

7. Braine ME, Cook N. The Glasgow Coma Scale and evidence-informed practice: a critical review of where we are and where we need to be. J Clin Nurs. 2017 Jan;26(1-2):280-293. doi: 10.1111/jocn.13390. PMID: 27218835.

8. Scheetz LJ, Horst MA, Arbour RB. Early neurological deterioration in older adults with traumatic brain injury. Int Emerg Nurs. 2018 Mar;37:29-34. doi: 10.1016/j.ienj.2016.11.003. Epub 2017 Jan 9. PMID: 28082072.

9. Basauhra Singh HK, Chong MC, Thambinayagam HC, Zakaria MI, Cheng ST, Tang LY, Azahar NH. Assessing Nurses Knowledge of Glasgow Coma Scale in Emergency and Outpatient Department. Nurs Res Pract. 2016;2016:8056350. doi: 10.1155/2016/8056350. Epub 2016 Dec 1. PMID: 28044104; PMCID: PMC5156803.

10. Nixon AV, Narayanasamy A, Penny V. An investigation into the spiritual needs of neuro-oncology patients from a nurse perspective. BMC Nurs. 2013 Feb 1;12:2. doi: 10.1186/1472-6955-12-2. PMID: 23374999; PMCID: PMC3567993.

11. Fadaeinia MM, Miri S, Azizzadeh Forouzi M, Roy C, Farokhzadian J. Improving Cultural Competence and Self-Efficacy Among Postgraduate Nursing Students: Results of an Online Cultural Care Training Program. J Transcult Nurs. 2022 Sep;33(5):642-651. doi: 10.1177/10436596221101925. Epub 2022 Jun 9. PMID: 35684956.

12. Fadaei S, Azizzadeh Forouzi M, Miyashita M, Faleh AJ, Dehghan M. Palliative care knowledge and self-efficacy: a comparative study between intensive care units and general units nurses. BMC Palliat Care. 2024 Oct 22;23(1):246. doi: 10.1186/s12904-024-01580-7. PMID: 39438875; PMCID: PMC11494781.

13. Liu K, Zhang W, Li W, Wang T, Zheng Y. Effectiveness of virtual reality in nursing education: a systematic review and meta-analysis. BMC Med Educ. 2023 Sep 28;23(1):710. doi: 10.1186/s12909-023-04662-x. PMID: 37770884; PMCID: PMC10540340.

Tablo 1. Katılımcıların demografik ve mesleki özellikleri (n = 105)

Özellik	n	%
Yaş grubu (yıl)		
20–25	10	9,5
26–30	30	28,6
31–35	29	27,6
36–40	16	15,2
≥41	20	19,0
Cinsiyet		
Kadın	86	81,9
Erkek	18	17,1
Belirtmek istemeyen	1	1,0
Eğitim düzeyi		
Sağlık Meslek Lisesi	12	11,4
Ön lisans	17	16,2
Lisans	58	55,2
Yüksek lisans / Doktora	18	17,1
Hemşirelik deneyimi		
0–1 yıl	5	4,8
2–5 yıl	16	15,2
6–10 yıl	26	24,8
≥11 yıl	58	55,2
Görev yapılan birim		
Yoğun bakım ünitesi	50	47,6
Yatan hasta servisi	30	28,6
Ameliyathane	8	7,6
Acil servis	4	3,8
Diğer / belirtilmemiş	13	12,4

Tablo 3. Klinik ilgi ve klinik farkındalık maddelerine verilen yanıtlar

Madde	Ortalama ± SS	Medyan (ÇAA)	Olumlu yanıt, n (%)
Nöroşirürjik hasta bakımı ilginizi çeken bir alandır	3,06 ± 1,29	3 (2–4)	42 (40,0)
Nöroşirürjik hasta bakımının daha dikkatli takip gerektirdiğini bilme	4,27 ± 1,09	5 (4–5)	90 (85,7)
Küçük bilinç değişikliklerinin klinik açıdan önemli olduğunu bilme	4,60 ± 0,92	5 (5–5)	96 (91,4)
Pupilla değişikliği, bilinç bozukluğu veya yeni kuvvet kaybının acil olduğunu bilme	4,64 ± 0,89	5 (5–5)	95 (90,5)
Kafa travmasındaki önemli uyarı bulgularını bilme	4,62 ± 0,93	5 (5–5)	95 (90,5)
Omurga hastalarındaki acil nörolojik bulguları bilme	4,45 ± 1,05	5 (4–5)	89 (84,8)
Ani klinik kötüleşmenin hekime bildirilmesi gerektiğini bilme	4,64 ± 0,88	5 (5–5)	96 (91,4)

SS: Standart sapma; ÇAA: Çeyrekler arası aralık.

Olumlu yanıt, "Katılıyorum" ve "Kesinlikle katılıyorum" yanıtlarının toplamını ifade etmektedir.

Tablo 4. Öz yeterlilik maddelerine verilen yanıtlar

Öz yeterlilik maddesi	Ortalama ± SS	Medyan (ÇAA)	Olumlu yanıt, n (%)
Bilinç düzeyini temel düzeyde değerlendirebilme	4,36 ± 1,08	5 (4–5)	90 (85,7)
Pupilla değerlendirmesini doğru yapabilme	4,37 ± 1,00	5 (4–5)	88 (83,8)
Ekstremite motor kuvvetini temel düzeyde değerlendirebilme	4,22 ± 0,98	4 (4–5)	86 (81,9)
Klinik kötüleşmeyi erken fark edebilme	4,30 ± 1,04	5 (4–5)	84 (80,0)
Nörolojik acil durumda uygun ekibe zamanında haber verebilme	4,46 ± 1,01	5 (4–5)	91 (86,7)

SS: Standart sapma; ÇAA: Çeyrekler arası aralık.
Olumlu yanıt, "Katılıyorum" ve "Kesinlikle katılıyorum" yanıtlarının toplamını ifade etmektedir

Tablo 4. Eğitim gereksinimi maddelerine verilen yanıtlar

Eğitim gereksinimi maddesi	Ortalama ± SS	Medyan (ÇAA)	Eğitim gereksinimi bildirenler, n (%)
Nörolojik muayene konusunda eğitim ihtiyacı	3,28 ± 1,06	3 (2–4)	48 (45,7)
Kafa travması hastalarının takibi konusunda eğitim ihtiyacı	3,13 ± 1,14	3 (2–4)	49 (46,7)
Beyin kanaması geçiren hastaların takibi konusunda eğitim ihtiyacı	3,16 ± 1,17	3 (2–4)	52 (49,5)
Omurga travması veya spinal cerrahi hastalarının takibi konusunda eğitim ihtiyacı	3,32 ± 1,10	4 (2–4)	55 (52,4)
Postoperatif nöroşirürji hastalarının bakımı konusunda eğitim ihtiyacı	3,15 ± 1,12	3 (2–4)	51 (48,6)
Nöroşirürjik acil durumların yönetimi konusunda eğitim ihtiyacı	3,29 ± 1,14	4 (2–4)	56 (53,3)

SS: Standart sapma; ÇAA: Çeyrekler arası aralık.
Eğitim gereksinimi bildirenler, "Katılıyorum" ve "Kesinlikle katılıyorum" yanıtlarını işaretleyen katılımcıları ifade etmektedir.

Tablo 5. Daha önce nöroşirürjik hasta bakımına yönelik eğitim alma durumuna göre araştırmaya özgü bileşik madde ortalamalarının karşılaştırılması

Araştırmaya özgü bileşik madde ortalaması	Eğitim alan (n = 36)Medyan (ÇAA)	Eğitim almayan (n = 69)Medyan (ÇAA)	p değeri
Klinik farkındalık	4,83 (4,67–5,00)	4,83 (4,67–5,00)	0,935
Öz yeterlilik	5,00 (4,15–5,00)	4,60 (4,00–5,00)	0,120
Eğitim gereksinimi	2,67 (2,00–4,00)	3,67 (2,67–4,00)	0,032

ÇAA: Çeyrekler arası aralık.
Not: Gruplar arasındaki karşılaştırmalar Mann–Whitney U testi kullanılarak yapılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

PEDİATRİK POPÜLASYONDA SPORA KATILIM ÖNCESİ TARAMA STRATEJİLERİNİN (AHA 14-MADDE PROTOKOLÜ VE PEDİATRİK EKG KRİTERLERİ) TANISAL ÖZGÜLLÜĞÜ VE KARDİYOLOJİ SEVKLERİNDEKİ POZİTİF ÖNGÖRÜ DEĞERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Hikmet KIZTANIR
Recep Tayyip Erdogan Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilimdalı, Çocuk Kardiyoloji Bilimdalı, Rize, Türkiye.
hikmet.kiztanir@erdogan.edu.tr, 0555 621 11 10

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, çocuk sporcularda spor öncesi kardiyak taramada Amerikan Kalp Derneği (AHA) 14-madde protokolünün tek başına, 2026 Avrupa Önleyici Kardiyoloji Derneği (EAPC)/Avrupa Pediatrik ve Konjenital Kardiyoloji Derneği (AEPC) pediatrik EKG kriterlerinin tek başına ve bu iki protokolün birlikte kullanımının, çocuk kardiyoloji polikliniğine sevk oranları ve tanısal performansı (duyarlılık, özgüllük, pozitif ve negatif öngörü değerleri) üzerindeki etkisini değerlendirmektir.

Gereç ve Yöntem: 1 Nisan-1 Ağustos 2026 tarihleri arasında spor raporu almak amacıyla başvuran, 5-17 yaş arası 144 pediatrik sporcuyu içeren prospektif gözlemsel kohort çalışması gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara AHA 14-madde protokolüne dayalı standart öykü/fizik muayene formu uygulanmış ve tüm katılımcılara 12 derivasyonlu istirahat EKG'si çekilmiştir; EKG bulguları 2026 EAPC/AEPC pediatrik kriterlerine göre normal, sınırda ve anormal olarak sınıflandırılmıştır. AHA-14 protokolü tek başına, EKG kriterleri tek başına ve ikisinin birlikte kullanımının sevk oranları ve tanısal performansı karşılaştırılmıştır.

Bulgular: Katılımcıların %75,0'i (n=108) erkek olup yaş ortalaması 10,8±2,5 yıldı. AHA-14 protokolü tek başına uygulandığında sevk oranı %37,5 (54/144) iken, EKG kriterleri tek başına %1,4 (2/144), ikisinin birlikte kullanımı ise %6,9 (10/144) sevk oranı vermiştir. Nihai klinik sınıflamaya göre AHA-14 protokolünün duyarlılığı %100, özgüllüğü %67,2, pozitif öngörü değeri (PÖD) %18,5 olarak hesaplanırken; EKG kriterlerinin duyarlılığı %20,0, özgüllüğü %100, PÖD'ü %100 bulunmuştur.

Sonuç: AHA 14-madde protokolü yüksek duyarlılığa sahip olmakla birlikte, tek başına kullanıldığında düşük özgüllük ve PÖD nedeniyle gereksiz sevklere yol açmaktadır. Pediatrik EKG kriterlerinin bu protokole eklenmesi, tarama duyarlılığını koruyarak gereksiz sevkleri belirgin şekilde azaltmakta ve tarama programlarının sürdürülebilirliğini artırabilecek bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ani kardiyak ölüm, Kardiyak tarama, Pediatrik sporcu, Elektrokardiyografi, AHA 14-madde protokolü

EVALUATION OF THE DIAGNOSTIC SPECIFICITY AND POSITIVE PREDICTIVE VALUE OF PRE-SPORT SCREENING STRATEGIES (AHA 14-ITEM PROTOCOL AND PEDIATRIC ECG CRITERIA) IN THE PEDIATRIC POPULATION IN CARDIOLOGY REFERRALS

ABSTRACT

Objective: This study aimed to evaluate the effect of using the American Heart Association (AHA) 14-element protocol alone, the 2026 European Association of Preventive Cardiology (EAPC)/Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC) pediatric electrocardiogram (ECG) criteria alone, and their combined use on pediatric cardiology

referral rates and diagnostic performance (sensitivity, specificity, positive and negative predictive values) during pre-participation cardiovascular screening of child athletes.
Methods: A prospective observational cohort study was conducted among 144 pediatric athletes aged 5–17 years who presented for a sports participation medical report between April 1 and August 1, 2026. All participants underwent a standardized history/physical examination form based on the AHA-14 protocol and a 12-lead resting ECG; ECG findings were classified as normal, borderline, or abnormal according to the 2026 EAPC/AEPC pediatric criteria. Referral rates and diagnostic performance of the AHA-14 protocol alone, ECG criteria alone, and their combined use were compared.
Results: Of the participants, 75.0% (n=108) were male, with a mean age of 10.8±2.5 years. The referral rate was 37.5% (54/144) with the AHA-14 protocol alone, 1.4% (2/144) with ECG criteria alone, and 6.9% (10/144) with the combined approach. Referenced against the final clinical classification, the AHA-14 protocol showed 100% sensitivity, 67.2% specificity, and an 18.5% positive predictive value (PPV), whereas ECG criteria showed 20.0% sensitivity, 100% specificity, and a 100% PPV.
Conclusion: Although the AHA-14 protocol demonstrates high sensitivity, its low specificity and PPV when used alone result in a substantial number of unnecessary referrals. Incorporating pediatric-specific ECG criteria into the protocol preserves screening sensitivity while markedly reducing unnecessary referrals, offering an integrated approach that may enhance the sustainability of pre-participation screening programs.
Keywords: Sudden cardiac death; Cardiac screening; Pediatric athlete; Electrocardiography; AHA 14-point protocol

GİRİŞ

Genç sporcularda ani kardiyak ölüm (AKÖ), fiziksel aktivite sırasında veya hemen sonrasında meydana gelen, nadir görülmesine rağmen trajik toplumsal sonuçları olan bir durumdur (1–3). AKÖ'yi önlemek amacıyla spor öncesi kardiyovasküler değerlendirme (PPS), Amerikan Kalp Derneği (AHA) ve Avrupa Kardiyoloji Derneği (ESC) gibi çok sayıda uluslararası tıp kurumu tarafından tavsiye edilmektedir (1,4,5). Ancak, PPS için en etkili ve maliyet-etkin protokolün ne olduğu konusundaki tartışmalar güncelliğini korumaktadır (3,6,7). AHA, taramada öncelikli olarak kişisel/aile öyküsü ve fizik muayeneyi içeren 14-maddelik bir protokol önermektedir (4,8) Bununla birlikte, yapılan çalışmalar AHA 14-madde protokolünün tek başına kullanımının yanlış pozitiflik oranlarının çok yüksek olduğunu ve pozitif öngörü değerinin (PÖD) %0.3 gibi oldukça düşük seviyelerde kaldığını, gerçek AKÖ riski taşıyan hastaları saptamada yetersiz olabildiğini göstermiştir (3,9).
Bu nedenle Avrupa Kardiyoloji Derneği ve Uluslararası Olimpiyat Komitesi (IOC) gibi kurumlar, tarama programlarına 12-derivasyonlu elektrokardiyografi (EKG)'nin eklenmesini zorunlu kılmıştır(10,11). EKG, kardiyomiyopatiler ve iyon kanal hastalıkları gibi hastalıkların saptanmasında duyarlılığı %90'ların üzerine çıkarmaktadır (3,12). EKG'nin PPS'ye dahil edilmesi, özellikle İtalya gibi ülkelerde AKÖ insidansında belirgin bir azalma ile ilişkilendirilmiştir (7,13)
Buna karşın, EKG'nin tarama programlarına dahil edilmesi, özellikle yanlış pozitif sonuçların çocuk kardiyoloji polikliniklerine gereksiz sevkleri artırması ve ek maliyetler oluşturması nedeniyle tartışmalıdır (1,7,14) Tarama stratejisinin doğruluğunu artırmak ve yanlış pozitiflikleri azaltmak için "2017 Uluslararası EKG Kriterleri" geliştirilmiştir (15,16). Ancak literatür, mevcut kriterlerin pediatrik popülasyonda uygulanmasının ciddi kısıtlılıklar barındırdığına işaret etmektedir. 2017 Uluslararası EKG Kriterleri temel olarak 12-35 yaş arası (ağırlıklı olarak yetişkin ve geç ergen) sporcuların verileriyle oluşturulmuştur(15,16).

Çocuklarda büyüme ve pubertal gelişimin getirdiği yapısal değişiklikler, antrenmana bağlı fizyolojik adaptasyonlarla birleştiğinde, yetişkinlerde patolojik kabul edilen EKG bulguları (örneğin V1-V3'te T dalgası inversiyonu) çocuklarda tamamen normal bir varyant (juvenil patern) olabilmektedir (9,16,17).
Pediatrik sporcularda standart (yetişkin) EKG kriterlerinin ve AHA anketinin kullanılması, sağlıklı çocukların patolojik olarak sınıflandırılmasına ve çocuk kardiyolojisi kliniklerine yığılmalara neden olabilmektedir (16).
Bu gereksinimleri karşılamak adına, Avrupa Önleyici Kardiyoloji Derneği (EAPC) ve Avrupa Pediatrik ve Konjenital Kardiyoloji Derneği (AEPC) tarafından 2026 yılında yayınlanan pediatrik atletlerde kardiyak değerlendirme kriterleri, ilk kez çocuklara özgü normal, sınırda ve anormal EKG tanımlamalarını sunmuştur(9) Bu yeni kriterler, çocuklarda büyüme ve maturasyon sürecini dikkate alarak yanlış pozitiflikleri azaltmayı ve tanısal doğruluğu optimize etmeyi amaçlamaktadır(9)
PPS sürecinde karşılaşılan en büyük klinik zorluklardan biri, ileri tetkik gerektiren sporcuların belirlenmesi ve çocuk kardiyoloji polikliniklerine sevk oranlarının yönetilebilir düzeyde tutulmasıdır (16,18,19) Literatürde, EKG yorumlama kriterlerindeki güncellemelerin sevk oranlarını ve maliyet-etkinliği nasıl etkilediği üzerine çalışmalar bulunmaktadır (4,17,19). Ancak, güncel AHA 14-madde protokolü ile en son yayınlanan 2026 pediatrik kriterlerinin birlikte kullanımının pediatrik popülasyondaki tanısal performansı ve poliklinik yükü üzerindeki etkisi henüz yeterince analiz edilmemiştir.
Bu çalışmanın amacı, PPS sürecinde AHA 14-madde tarama protokolü ile 2026 pediatrik kardiyak değerlendirme kriterlerinin birlikte kullanımının tanısal performansını değerlendirmek ve bu protokollerin çocuk kardiyoloji polikliniklerine sevk oranları üzerindeki etkisini analiz etmektir.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu çalışma, çocuk sporcularda katılım öncesi kardiyovasküler taramanın etkinliğini değerlendiren prospektif gözlemsel kohort çalışması olarak tasarlanmıştır. 1 Nisan 2026- 1 Ağustos 2026 tarihleri arasında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Tıp Fakültesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Polikliniği'ne spor raporu için başvuran 5-17 yaş arasındaki pediatrik hastalar dahil edilmiştir. Katılımcıların çalışmaya dahil edilmesi için ebeveynlerinden yazılı bilgilendirilmiş onam formu, çocuklardan ise (yaşa uygunsa) rıza formu alındı.
Dahil edilme kriterleri; organize spor veya düzenli fiziksel aktiviteye katılıyor olmaları ve bu aktivitelerin antrenman ve/veya yarışma gerektirmesidir. Dışlama kriterleri bilinen doğuştan veya sonradan edinilmiş kalp hastalığı, önceden kardiyoloji takibi yapılmış olması, kronik sistemik hastalık (epilepsi, diyabet vb) olması ve eksik tarama verileri olmasıdır.
Araştırmada katılımcılardan yaş, cinsiyet ve spor branşı gibi demografik bilgiler elde edilmiştir. Bunun yanında spor öncesi kardiyak değerlendirme amacıyla hazırlanan standart tarama formu kullanılmıştır. Tarama formu hazırlanırken Amerikan Kalp Derneği (AHA) ve Amerikan Kardiyoloji Koleji (ACC) tarafından önerilen 14 Maddelik Kardiyovasküler Tarama Rehberi temel alınmıştır (3,8). Bu form kapsamında eforla ilişkili göğüs ağrısı, senkop, açıklanamayan nefes darlığı gibi kişisel semptomları ve ailede 50 yaşından önce ani ölüm veya kalıtsal kardiyomiyopati öyküsünü sorgulandı. Fizik muayene; arteryel kan basıncı ölçümü, kalp oskültasyonu (üfürüm ve ritim kontrolü), femoral nabızların palpasyonu ve Marfan sendromu stigmalarının taranması gerçekleştirildi.

Tüm çocuklara, supin pozisyonda ve standart derivasyon yerleşimiyle (25 mm/s hız ve 10 mm/1 mV genlikte) 12 derivasyonlu istirahat EKG'si çekildi. EKG bulguları, 2026 pediatrik atletlerde kardiyak değerlendirme kriterlerine (EAPC/AEPC Konsensüs Bildirisi) göre yorumlandı(9). Bu kriterler çerçevesinde bulgular üç ana grupta sınıflandırıldı.

Sinus bradikardisi (>40 bpm), inkomplet sağ dal bloğu, izole sol ventrikül hipertrofisi voltaj kriterleri ve 16 yaş altı çocuklarda V1-V3 arası T dalgası inversiyonu (TWI) gibi fizyolojik adaptasyonlar normal, sol veya sağ aks deviasyonu, sol veya sağ atriyal büyüme ve komplet sağ dal bloğu gibi bulgular sınırda (Borderline) olarak kabul edildi. İki veya daha fazla sınırda bulgu varlığı "anormal" kabul edildi. Patolojik T dalgası inversiyonu (V4-V6), ventriküler ön uyarılma (delta dalgası), patolojik Q dalgaları, derin ST segment depresyonu ve ventriküler aritmiler gibi ileri tetkik gerektiren bulgular anormal olarak sınıflandırıldı.

AHA 14-madde anketinde pozitif tıbbi öykü yanıtı, fizik muayenede patolojik bulgu (anormal üfürüm, hipertansiyon vb.) ve EKG'de en az bir "anormal" bulgu veya iki "sınırda" bulgu saptanması durumunda ileri kardiyovasküler değerlendirme için Çocuk Kardiyoloji Polikliniğine sevk edildi. Sevk edilen çocuklarda nihai tanı; pediatrik kardiyolog tarafından yapılan fizik muayene tekrarı, ekokardiyografi (EKO) ve gerekli durumlarda efor testi, 24 saatlik Holter monitörizasyonu veya kardiyak MR gibi ileri görüntüleme yöntemleri ile konuldu.

Verilerin analizi için SPSS 25.0 kullanıldı. AHA 14-madde protokolü tek başına, EKG kriterleri tek başına ve her ikisinin birlikte kullanımının tanısal performansı (duyarlılık, özgüllük, pozitif ve negatif öngörü değerleri) hesaplandı. Çocuk kardiyoloji polikliniklerine sevk oranları her iki protokol için ayrı ayrı analiz edildi ve sevk oranları arasındaki farklar ki-kare veya Fisher'in kesin testi ile karşılaştırıldı. P değerinin <0.05 olması istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

BULGULAR

Bu analiz, çocuklar veya ebeveyni tarafından doldurulan çevrimiçi ön-tarama anketi (213 ham yanıt) ile hekimler tarafından doldurulan Spor Taraması Anketi ve EKG Skorlama Formu'nun (160 ham yanıt) ad-soyad üzerinden eşleştirilmesiyle oluşturulan veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aynı kişiye ait yinelenen form kayıtları (yanlışlıkla iki kez gönderim) her iki kaynakta da en güncel (son) kayıt esas alınarak tekilleştirilmiş; küçük yazım farklılıkları (ör. eksik soyisim, tek harf yazım hatası) içeren kayıtlar tek tek incelenerek eşleştirilmiş, ancak güvenle eşleştirilemeyen 12 hekim formu kaydı eksik bağlantılı tarama verisi nedeniyle analiz dışı bırakılmıştır. Eşleştirme sonrası elde edilen 145 katılımcıdan, dahil edilme kriterini (5-17 yaş) karşılamayan 1 olgu (18 yaş) dışlanarak nihai analiz örneklemi 144 katılımcı olarak belirlenmiştir.

144 katılımcının %75,0'i (n=108) erkek, %25,0'i (n=36) kızdı; yaş ortalaması 10,8±2,5 yıl (medyan 11; dağılım 5-17 yıl) olarak saptanmıştır. Ortalama boy 145,9±15,9 cm (n=144), ortalama vücut ağırlığı 42,5±15,8 kg ve ortalama vücut kitle indeksi 19,4±4,1 kg/m² (medyan 18,6 kg/m²; n=144) idi. Sistolik kan basıncı ortalama 110,8±10,8 mmHg, diyastolik kan basıncı ortalama 69,1±7,8 mmHg olarak ölçülmüştür (n=144).

Katılımcıların en sık yaptığı spor dalları futbol (%46,5; n=67) ve dövüş sporları (judo/karate/tekvando/kickboks) (%25,0; n=36) olmuştur. Katılımcıların %29,2'si (n=42) ilgili spora 3 aydan kısa süredir, %23,6'sı (n=34) ise 3 yıldan uzun süredir katılmaktaydı. Haftada 3-4 gün antrenman yapanların oranı %41,7 (n=60), bir antrenmanın 1-2 saat sürdüğünü bildirenlerin oranı %63,2 (n=91) idi. Katılımcıların %66,7'si (n=96) spora başlamadan önce doktor kontrolünden geçtiğini bildirmiştir. Demografik ve antropometrik özellikler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların demografik, antropometrik ve sportif özellikleri (n=144)

Değişken	**n**	**%/Ort±SS**
Yaş (yıl), ort±SS (medyan; dağılım)	144	10,8±2,5 (11; 5-17)
Cinsiyet, n (%)		
Erkek	108	75,0
Kız	36	25,0
Boy (cm), ort±SS	144	145,9±15,9
Vücut ağırlığı (kg), ort±SS	144	42,5±15,8
VKİ (kg/m²), ort±SS (medyan)	144	19,4±4,1 (18,6)
Sistolik KB (mmHg), ort±SS	144	110,8±10,8
Diyastolik KB (mmHg), ort±SS	144	69,1±7,8
Spor dalı, n (%)		
Futbol	67	46,5
Dövüş sporları	36	25,0
Güreş	11	7,6
Yüzme	9	6,2
Kürek/Kano	6	4,2
Boks	4	2,8
Voleybol	4	2,8
Satranç	3	2,1
Yol bisikleti	2	1,4
Rafting	1	0,7
Hentbol	1	0,7
Spor deneyimi süresi, n (%)		
0-3 ay	42	29,2
3-6 ay	17	11,8
6 ay-1 yıl	17	11,8
1-2 yıl	23	16,0
2-3 yıl	11	7,6
3 yıldan uzun	34	23,6
Haftalık antrenman sıklığı, n (%)		
1-2 gün	64	44,4
3-4 gün	60	41,7
5 gün ve üzeri	20	13,9
Antrenman süresi, n (%)		
30-60 dakika	31	21,5

1-2 saat	91	63,2
2-3 saat	17	11,8
>3 saat	5	3,5
Spor öncesi doktor kontrolü, n (%)		
Evet	96	66,7
Hayır	48	33,3

AHA 14-Madde Kardiyovasküler Tarama Formu Bulguları

Hekim tarafından uygulanan spor öncesi tarama formunda sorgulanan kişisel semptomlar arasında en sık bildirilenler çarpıntı (%13,9; n=20) ve efor sırasında aşırı yorgunluk/açıklanamayan nefes darlığı (%11,1; n=16) olmuştur; göğüs ağrısı/baskı hissi %9,7 (n=14), senkop/presenkop öyküsü ise %3,5 (n=5) oranında saptanmıştır. Ailede genetik kalp hastalığı öyküsü %4,2 (n=6), ailede 50 yaşından önce ani ölüm/kalp krizi öyküsü %5,6 (n=8) oranında bildirilmiştir. Fizik muayenede 2 olguda (%1,4) hipertansiyon ve 1 olguda (%0,7) femoral nabız zayıflığı saptanmış olup, patolojik üfürüm veya marfanoid görünüm hiçbir olguda tespit edilmemiştir; dokuz olguda (%6,2) klinik olarak önemsiz kabul edilen 1/6 şiddetinde masum üfürüm ayrıca not edilmiştir. Anket ve/veya fizik muayenede en az bir pozitif bulgu saptanan (AHA 14-madde protokolüne göre pozitif kabul edilen) katılımcı sayısı 54 (%37,5; %95 GA: 30,0-45,6) olarak bulunmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. AHA 14-Madde Kardiyovasküler Tarama Formu bulgularının dağılımı (n=144)

Bulgu	**n**	**%**
Kişisel semptomlar		
Göğüs ağrısı/baskı hissi	14	9,7
Senkop/presenkop	5	3,5
Aşırı yorgunluk/nefes darlığı	16	11,1
Çarpıntı	20	13,9
Kişisel öykü		
Daha önce üfürüm olduğu söylenmiş	8	5,6
Daha önce hipertansiyon olduğu söylenmiş	3	2,1
Aile öyküsü		
<50 yaş ani ölüm/kalp krizi	8	5,6
<50 yaş kalp hastalığı nedeniyle engellilik/nakil	1	0,7
Ailede genetik kalp hastalığı	6	4,2
Açıklanamayan kaza/boğulma/uykuda ölüm	0	0,0
Fizik muayene		
Patolojik üfürüm	0	0,0
Femoral nabız zayıflığı	1	0,7
Hipertansiyon	2	1,4
Marfanoid görünüm	0	0,0
AHA 14-madde protokolüne göre genel pozitiflik	**54**	**37,5**

2026 EAPC/AEPC Pediatrik Kriterlerine Göre EKG Bulguları

Tüm katılımcılara çekilen 12 derivasyonlu istirahat EKG'leri, EAPC ve AEPC tarafından 2026 yılında yayınlanan pediatrik atlet kardiyak değerlendirme klinik konsensus bildirgesinde tanımlanan normal, sınırda ve anormal EKG kriterlerine göre sınıflandırılmıştır (9). Katılımcıların %86,1'inde (n=124) tamamen normal EKG izlenirken, geri kalan olgularda sıklık sırasına göre izole sol ventrikül hipertrofisi voltaj kriteri (n=3), sol aks deviasyonu (n=3), erken repolarizasyon (n=3), sinüs bradikardisi (n=3), inkomplet sağ dal bloğu (n=2), juvenil T dalgası inversiyonu (n=1), komplet sol dal bloğu (n=1), komplet sağ dal bloğu (n=1), izole LVH+sol aks deviasyonu kombinasyonu (n=1), sol atriyal genişleme (n=1) ve ventriküler pre-eksitasyon/WPW (n=1) saptanmıştır (Tablo 3). Konsensus bildirgesinde fizyolojik adaptasyon olarak kabul edilen bulgular (Grup 1/Normal: sinüs bradikardisi, izole LVH voltaj kriteri, inkomplet RBBB, erken repolarizasyon ve 16 yaş altında V1-V3 juvenil T dalgası inversiyonu) toplamda 136 olguda (%94,4) izlenmiştir. Sınırda (Grup 2) kabul edilen bulgular (sol aks deviasyonu, komplet RBBB, sol atriyal genişleme) 6 olguda (%4,2) saptanmış, hiçbir olguda ikiden fazla sınırda bulgu bir arada bulunmamıştır. Konsensus kriterlerine göre anormal (Grup 3) kabul edilen komplet sol dal bloğu (LBBB) ve ventriküler pre-eksitasyon (WPW) toplam 2 olguda (%1,4; %95 GA: 0,4-4,9) saptanmıştır. Buna göre, EKG kriterlerinin tek başına uygulanması durumunda hesaplanan ileri tetkik/sevk oranı %1,4 (2/144) olarak bulunmuştur.

Tablo 3. 2026 EAPC/AEPC pediatrik kriterlerine göre EKG bulgularının dağılımı (n=144)

EKG bulgusu	**n**	**%**
Normal	124	86,1
İzole LVH voltaj kriteri	3	2,1
Sol aks deviasyonu	3	2,1
Erken repolarizasyon	3	2,1
Sinüs bradikardisi (>40 bpm)	3	2,1
İnkomplet sağ dal bloğu (İRBBB)	2	1,4
Juvenil T dalgası inversiyonu (V1-V3, <16y)	1	0,7
Komplet sol dal bloğu (LBBB)	1	0,7
Komplet sağ dal bloğu (RBBB)	1	0,7
İzole LVH + sol aks deviasyonu	1	0,7
Sol atriyal genişleme	1	0,7
Ventriküler pre-eksitasyon (WPW)	1	0,7
Toplam	**144**	**100,0**
EKG grubu (EAPC/AEPC 2026), n (%)		
Grup 1 (Normal)	136	94,4
Grup 2 (Sınırda)	6	4,2
Grup 3 (Anormal)	2	1,4

Protokollerin Sevk Oranları Açısından Karşılaştırılması

AHA 14-madde protokolü, EKG kriterleri ve bu iki protokolün birlikte kullanımına (nihai klinik sınıflama) göre hesaplanan ileri kardiyolojik değerlendirme (sevk) oranları Tablo 4'te karşılaştırılmıştır. AHA 14-madde protokolünün, tanımlanan herhangi bir pozitif anket veya fizik muayene bulgusu temelinde tek başına uygulanması durumunda sevk oranı %37,5 (54/144) olarak hesaplanırken, EKG kriterlerinin (EAPC/AEPC 2026) tek başına uygulanması sevk oranını %1,4'e (2/144) düşürmüştür. Katılımcıların tüm klinik verilerinin (anket, fizik muayene ve EKG) birlikte ve bütüncül olarak değerlendirildiği nihai klinik sınıflamada ise 10 olgu (%6,9; %95 GA: 3,8-12,3) ileri kardiyolojik değerlendirme için Çocuk Kardiyoloji Polikliniğine sevk edilmiştir. Bu 10 olgunun 2'si (%20,0) hem AHA-14 protokolü hem EKG kriterleri tarafından, 8'i (%80,0) yalnızca AHA-14 protokolü kapsamındaki bir bulgu nedeniyle işaretlenmiştir; EKG kriterleri tarafından yakalanan olguların (LBBB ve WPW) her ikisi de aynı zamanda AHA-14 protokolü tarafından da işaretlenmiştir (yani EKG'ye özgü, AHA-14'ün atladığı bir sevk olgusu bulunmamaktadır).

Aynı 144 katılımcı üzerinde eşleştirilmiş (paired) tasarımla yapılan McNemar'ın kesin testi sonuçlarına göre, AHA-14 protokolü ile EKG kriterleri arasındaki sevk oranı farkı istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (52'ye karşı 0 uyumsuz çift; $p<0,001$). Benzer şekilde, AHA-14 protokolü ile nihai (birleşik) klinik sınıflama arasındaki fark da istatistiksel olarak anlamlıdır (44'e karşı 0 uyumsuz çift; $p<0,001$); bu bulgu, AHA-14 anketinin tek başına ve algoritmik biçimde uygulanmasının, bütüncül klinik değerlendirmeye kıyasla belirgin şekilde daha yüksek bir sevk oranına yol açtığını göstermektedir. EKG kriterleri ile nihai klinik sınıflama arasındaki fark da istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (0'e karşı 8 uyumsuz çift; $p=0,008$), EKG kriterlerinin tek başına uygulanmasının nihai olarak sevk edilen olguların büyük bölümünü (8/10) yakalayamadığına işaret etmektedir.

Tablo 4. Tarama protokollerine göre ileri kardiyolojik değerlendirme (sevk) oranlarının karşılaştırılması

Protokol	Sevk edilen, n/N	Oran, % (95% GA)
AHA-14 protokolü (tek başına)	54/144	37,5 (30,0-45,6)
EKG kriterleri (tek başına)	2/144	1,4 (0,4-4,9)
Birlikte kullanım (nihai klinik sınıflama)	10/144	6,9 (3,8-12,3)

Tablo 4 (devam). McNemar'ın kesin testi ile protokoller arası ikili karşılaştırmalar

Karşılaştırma	Uyumsuz çift (b/c)	p
AHA-14 – EKG	52 / 0	<0,001
AHA-14 – Birlikte kullanım	44 / 0	<0,001
EKG – Birlikte kullanım	0/ 8	0,008

Not: Aynı katılımcı grubunun her iki protokolle de eşzamanlı değerlendirilmiş olması nedeniyle (eşleştirilmiş/paired veri yapısı), bağımsız örneklemler için uygun olan ki-kare/Fisher'in kesin testi yerine, eşleştirilmiş ikili kategorik karşılaştırmalar için istatistiksel olarak daha uygun olan McNemar'ın kesin testi kullanılmıştır.

Tanısal Performans

AHA-14 protokolü ve EKG kriterlerinin tek başına duyarlılık, özgüllük, pozitif öngörü değeri (PÖD) ve negatif öngörü değeri (NÖD) sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur. Bu hesaplamalarda, kohortun tamamına ekokardiyografi uygulanmamış olması (yalnızca sevk edilen olgulara ileri tetkik yapılmıştır) nedeniyle bağımsız bir "altın standart" tanı bulunmamaktadır; bu nedenle nihai klinik sınıflama (Sınıf A/Sınıf B) referans standart olarak kullanılmıştır. AHA-14 protokolü, nihai olarak sevk edilen tüm olguları yakalamış (duyarlılık %100; %95 GA: 69,2-100), ancak özgüllüğü sınırlı kalmıştır (%67,2; %95 GA: 58,5-75,0); pozitif öngörü değeri yalnızca %18,5 (%95 GA: 9,3-31,4) olarak hesaplanmış, yani protokole göre pozitif kabul edilen 54 olgunun yalnızca 10'u (%18,5) nihai olarak gerçekten sevk edilmiştir. Buna karşın EKG kriterleri, düşük duyarlılık göstermiş (duyarlılık %20,0; %95 GA: 2,5-55,6) ve nihai olarak sevk edilen 10 olgunun yalnızca 2'sini (LBBB ve WPW olguları) yakalayabilmiştir; buna karşın özgüllüğü ve pozitif öngörü değeri mükemmel bulunmuştur (her ikisi de %100), yani EKG kriterine göre pozitif kabul edilen her olgu nihai olarak gerçekten sevk edilmiştir. Bu değerler çok küçük olgu sayısına (2 EKG-pozitif olgu) dayandığından güven aralıkları oldukça geniştir ve dikkatli yorumlanmalıdır.

Tablo 5. AHA-14 protokolü ve EKG kriterlerinin nihai klinik sınıflamaya (Sınıf A/B) göre tanısal performansı

Protokol	Duyarlılık, % (95% GA)	Özgüllük, % (95% GA)	PÖD, % (95% GA)	NÖD, % (95% GA)
AHA-14	100,0 (69,2-100)	67,2 (58,5-75,0)	18,5 (9,3-31,4)	100,0 (96,0-100)
EKG kriterleri	20,0 (2,5-55,6)	100,0 (97,3-100)	100,0 (15,8-100)	94,4 (89,2-97,5)

Not: Bu tanısal performans değerlendirmesi, kohortun yalnızca sevk edilen bölümüne ileri kardiyak görüntüleme (EKO/Holter) uygulanmış olması nedeniyle iş akışı yanlılığı (work-up/verification bias) taşımaktadır; sonuçlar gerçek kardiyak patoloji prevalansına göre değil, çalışmada fiilen uygulanan nihai klinik sevk kararına göre yorumlanmalıdır. EKG kriterlerine ait güven aralıkları, olgu sayısının azlığı (2 pozitif olgu) nedeniyle oldukça geniştir.

TARTIŞMA

Bu çalışma, çocuk sporcularda katılım öncesi değerlendirmede AHA 14-madde tarama protokolü ile 2026 pediatrik atletlerde kardiyak değerlendirme kriterlerinin birlikte kullanımının tanısal performansını ve çocuk kardiyoloji polikliniklerine sevk oranlarını analiz eden çalışmadır. Temel bulgularımız, AHA 14-madde protokolünün tek başına kullanımının oldukça yüksek (%37,5) bir sevk oranına yol açtığını, ancak 2026 pediatrik EKG kriterlerinin sürece dahil edilmesinin bu oranı yönetilebilir düzeylere (%6,9) çektiğini ve özgüllüğü belirgin şekilde artırdığını göstermektedir

AHA 14-Madde Protokolü ve Tıbbi Öykü Sorgulaması Literatürde AHA'nın önerdiği tıbbi öykü ve fizik muayene temelli taramanın düşük duyarlılık ve yüksek yanlış pozitiflik oranlarına sahip olduğu bildirilmektedir (3,9) Williams ve ark. tarafından yapılan çalışmada AHA 14-madde protokolünün duyarlılığı %18,8, pozitif öngörü değeri (PÖD) ise %0,3 gibi düşük seviyelerde bulunmuştur (3) Bizim çalışmamızda AHA-14 protokolünün duyarlılığı %100 bulunsa da (nihai sevk kararına göre), PÖD'ün %18,5'te kalması ve %37,5'lik yüksek genel pozitiflik oranı, tek başına kullanımının poliklinik yükünü aşırı artıracağını doğrulamaktadır.

Katılımcılarımızın %13,9'unda çarpıntı ve %11,1'inde eforla ilişkili yorgunluk gibi semptomlar saptanmıştır; ancak bu semptomların büyük bir kısmının kardiyak dışı nedenlere bağlı olduğu veya pediatrik popülasyonda sık görülen fizyolojik durumlar olduğu değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada AHA-14 protokolünün duyarlılığının %100 gibi mükemmel bir değerde bulunması dikkatle yorumlanmalıdır: nihai sevk kararı büyük ölçüde AHA-14 kapsamındaki anket ve muayene bulgularının kendisine dayanılarak verildiğinden, referans standart ile test edilen protokol arasında bir dereceye kadar döngüsellik söz konusudur. Bu durum, iş akışı yanlılığıyla birleşerek duyarlılığı yapay olarak yükseltmiş olabilir; bu nedenle %100 duyarlılık, protokolün gerçek klinik doğruluğundan çok, çalışma tasarımının bir sonucu olarak değerlendirilmelidir.

EKG'nin PPS'ye eklenmesi, kardiyomiyopatiler ve iyon kanal hastalıklarını saptama gücünü artırarak AKÖ riskini azaltmada kritik bir rol oynamaktadır (20) Ancak yetişkin sporcular için geliştirilen standart EKG kriterlerinin çocuklarda kullanılması, pubertal gelişim ve antrenmana bağlı fizyolojik adaptasyonların patolojik olarak yorumlanması riskini doğurmaktadır (4,16) EAPC ve AEPC tarafından yayınlanan 2026 pediatrik kriterleri, bu yanlış pozitiflikleri azaltmayı ve çocuklara özgü normal varyantları (ör. V1-V3'te T inversiyonu/juvenil patern) doğru sınıflandırmayı amaçlamaktadır (9). Çalışmamızda, 2026 pediatrik kriterlerine göre "anormal" kabul edilen EKG bulgusu oranı yalnızca %1,4 (komplet LBBB ve WPW) olarak saptanmıştır. Bu bulgu, literatürdeki pediatrik EKG çalışmalarının sonuçlarıyla uyumludur (17,21). Örneğin Halasz ve ark.'nın 886 pediatrik sporcuyu (≤16 yaş) kapsayan çalışmasında, 2017 Uluslararası Kriterleri uygulandığında özgüllük %98'e yükselirken duyarlılık %57'ye gerilemiş; buna karşın 2013 Seattle Kriterleri uygulandığında özgüllük %95'e duyarlılık %86'ya yükselmiştir (17). Bu bulgu, pediatrik popülasyonda kullanılan kriter setinin özgüllük-duyarlılık dengesini doğrudan etkilediğini ve seçilen kriterin çalışmalar arası karşılaştırmalarda dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Benzer şekilde, Albiński ve ark.'nın 891 İsviçreli pediatrik sporcuyu kapsayan çalışmasında, Uluslararası Kriterlere göre olguların yalnızca %2,1'inde ileri tetkik gerektiren anormal EKG bulgusu saptanmış ve tarama başına ortalama maliyet 122 USD olarak bildirilmiştir (22); bu oran, çalışmamızdaki %1,4'lük anormal EKG oranıyla aynı büyüklük mertebesindedir ve bulgularımızın bağımsız bir pediatrik kohortla tutarlılığı uyuşmaktadır. EKG kriterlerinin tek başına kullanımı %100 özgüllük sağlasa da duyarlılığının düşük kalması (%20), EKG'nin tek başına değil, bütüncül bir klinik değerlendirmenin parçası olması gerektiğini desteklemektedir.

Çalışmamızın en önemli sonuçlarından biri protokollerin sevk oranları üzerindeki etkisidir. AHA 14-madde protokolü tek başına uygulandığında her üç çocuktan birinden fazlası (%37,5) sevk edilme potansiyeli taşırken, EKG verilerinin 2026 pediatrik kriterleriyle entegre edildiği bütüncül değerlendirmede bu oran %6,9'a düşmüştür. Bu durum, EKG'nin sadece riskli olguları yakalamakla kalmayıp, aynı zamanda yanlış pozitif öykü yanıtlarını "eleyerek" gereksiz sevkleri önlemedeki gücünü göstermektedir. Literatürde de EKG yorumlama kriterlerindeki güncellemelerin yanlış pozitif sevkleri ve maliyetleri belirgin şekilde azalttığı bildirilmiştir (14,23,24).

Bununla birlikte, bu kohortta nihai olarak sevk edilen olguların (LBBB ve WPW) her ikisi de zaten AHA-14 protokolü kapsamındaki bir bulgu nedeniyle de işaretlenmiş olup, EKG'nin anket/muayeneye ek olarak tek başına yakaladığı bağımsız bir olgu bulunmamaktadır. Bu gözlem, örneklem büyüklüğünün küçüklüğü ve EKG-pozitif olgu sayısının azlığı (n=2) göz önünde bulundurularak temkinli yorumlanmalı, EKG'nin PPS'deki tamamlayıcı rolünün önemini azalttığı düşünülmemelidir.

Çocuk sporcular yetişkinlerin "küçük birer kopyası" değildir; büyüme ve maturasyon süreci EKG yorumlamasını karmaşık hale getirir(9) Çalışmamızdaki olguların %94,4'ünde fizyolojik adaptasyonlar (sinüs bradikardisi, izole LVH voltaj kriteri vb.) saptanmıştır. 2026 pediatrik kriterlerinin bu adaptasyonları normal kabul etmesi, pediatrik kardiyoloji poliklinik yükünü yönetilebilir kılmaktadır (9,16) AKÖ riski taşıyan pek çok kalıtsal hastalık, doğumda genetik olarak mevcuttur ancak bu hastalıkların kalpte yarattığı yapısal veya elektriksel değişiklikler (fenotipik belirtiler) genellikle çocuk büyüdükçe ve özellikle puberte (ergenlik) dönemindeki hızlı gelişimle birlikte belirginleşir (9,21,25). Çocukların kalbi sürekli bir değişim halindedir. Tarama sürecinde kullanılan kriterlerin, çocuğun hangi gelişim evresinde olduğunu (puberte öncesi mi, sırası mı, sonrası mı) dikkate alması hem gerçek hastalıkların atlanmaması hem de sağlıklı çocukların gereksiz tıbbi süreçlere maruz kalmaması için kritik bir gerekliliktir (9,16).

KISITLILIKLAR

Çalışmamızın örneklem büyüklüğü (n=144), oldukça nadir görülen AKÖ patolojilerinin prevalansını tam yansıtmak için sınırlıdır. Ayrıca, EKG kriterlerine ait tanısal performans değerleri yalnızca 2 EKG-pozitif olguya dayanmaktadır; bu nedenle duyarlılık ve pozitif öngörü değeri için hesaplanan güven aralıkları oldukça geniştir ve bu rakamlar temkinli yorumlanmalıdır. Kullanılan EAPC/AEPC 2026 kriterlerinin dayandığı normatif veriler büyük ölçüde Kafkas ve Arap/Siyah kökenli sporcu popülasyonlarından elde edilmiştir; Türk pediatrik popülasyonuna özgü validasyon verisinin sınırlı olması, bulguların etnik/coğrafi genellenebilirliğini kısıtlayabilir. Gelecekteki çalışmalarda, kaynaklar elverdiğinde EAPC/AEPC 2026 bildirgesinin de önerdiği gibi tek seferlik tarama ekokardiyografisinin protokole eklenmesi, iş akışı yanlılığını azaltarak tanısal performansın daha doğru değerlendirilmesini sağlayabilir.

SONUÇ

Bu çalışma, çocuk sporcularda spor öncesi kardiyak taramada AHA 14-madde protokolü ile 2026 pediatrik EKG kriterlerinin birlikte kullanılmasının, tarama duyarlılığını büyük ölçüde koruyarak gereksiz sevkleri belirgin şekilde azalttığını ortaya koymuştur. AHA-14 protokolü tek başına uygulandığında sporcuların %37,5'i ileri değerlendirme için sevk edilme potansiyeli taşırken, EKG bulgularının bütüncül değerlendirmeye dahil edilmesiyle bu oran %6,9'a gerilemiştir. Bu belirgin düşüş, EKG'nin klinik açıdan önemsiz pozitif anket/muayene bulgularını "eleyerek" sevk kararına bir filtre işlevi görmesinden kaynaklanmaktadır; nitekim AHA-14 protokolünün tek başına pozitif öngörü değeri yalnızca %18,5 düzeyinde kalmıştır. Bu bulgular, AHA-14'ün yüksek duyarlılığı ile EKG'nin yüksek özgüllüğünün birbirini tamamlayıcı biçimde kullanılmasının, hem aileler üzerindeki gereksiz kaygı ve maliyet yükünü hem de çocuk kardiyoloji polikliniklerinin iş yükünü azaltabileceğini düşündürmektedir.

Pratik bir öneri olarak, AHA-14 protokolüne göre pozitif ancak EKG'si normal olan çocuklarda sevk kararının otomatik olarak değil, bulgunun niteliği ve şiddeti göz önünde bulundurularak bireyselleştirilmiş klinik değerlendirmeyle desteklenmesi, gereksiz sevkleri daha da azaltabilir.

Sonuç olarak, spor öncesi kardiyak tarama programlarının çocukların büyüme ve gelişim sürecine özgü fizyolojik adaptasyonları gözeten pediatrik odaklı EKG kriterlerini rutin uygulamaya dahil etmesi; tanısal doğruluğu artırırken sınırlı sağlık kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlayarak tarama programlarının sürdürülebilirliğini güçlendirecektir.

KAYNAKÇA

1. Williamson MD, Grubic N, Moulson N, Johri AM. Comparative evaluation of an electrocardiogram workflow model for athletic cardiovascular screening: Primary care network versus sports cardiology interpretation. J Electrocardiol. 2023 Nov 1;81:36–40. doi:10.1016/j.jelectrocard.2023.07.007 PubMed PMID: 37517199.

2. Greciano Calero P, Escribá Bori S, Costa Orvay JA, González Pons N, Martín Pérez M del C, Cardona Alfonseca D, et al. Can we screen for heart disease in children at public health centres? A multicentre observational study of screening for heart disease with a risk of sudden death in children. Eur J Pediatr. 2024 May 1;183(5):2411–20. doi:10.1007/s00431-024-05489-4 PubMed PMID: 38459131.

3. Williams EA, Pelto HF, Toresdahl BG, Prutkin JM, Owens DS, Salerno JC, et al. Performance of the American Heart Association (AHA) 14-Point Evaluation Versus Electrocardiography for the Cardiovascular Screening of High School Athletes: A Prospective Study. J Am Heart Assoc. 2019;8(14). doi:10.1161/JAHA.119.012235 PubMed PMID: 31286819.

4. Graziano F, Vecchio C, Corrado D, Zorzi A. Cardiac Screening in Athletes: Current Status and Future Challenges. Open Access Journal of Sports Medicine. Dove Medical Press Ltd; 2026. doi:10.2147/OAJSM.S523274

5. Sarto P, Zorzi A, Merlo L, Vessella T, Pegoraro C, Giorgiano F, et al. Value of screening for the risk of sudden cardiac death in young competitive athletes. Eur Heart J. 2023 Mar 21;44(12):1084–92. doi:10.1093/eurheartj/ehad017 PubMed PMID: 36760222.

6. Lampert R, Chung EH, Ackerman MJ, Arroyo AR, Darden D, Deo R, et al. 2024 HRS expert consensus statement on arrhythmias in the athlete: Evaluation, treatment, and return to play. Heart Rhythm. 2024 Oct 1;21(10):e151–252. doi:10.1016/j.hrthm.2024.05.018 PubMed PMID: 38763377.

7. Fritsch P, Dalla Pozza R, Ehringer-Schetitska D, Jokinen E, Herceg V, Hidvegi E, et al. Cardiovascular pre-participation screening in young athletes: Recommendations of the Association of European Paediatric Cardiology. Cardiol Young. 2017 Nov 1;27(9):1655–60. doi:10.1017/S1047951117001305 PubMed PMID: 28789718.

8. Blank ZJ, Spicer RL, Robinson JA. Preparticipation State Cardiac Screening Forms for Athletes. Pediatrics. 2023 Jan 1;151(1). doi:10.1542/peds.2022-056798 PubMed PMID: 36519230.

9. Pieles GE, Cavarretta E, Orchard JJ, Abela M, Arbelo E, Budts W, et al. Cardiac evaluation of paediatric athletes. Eur Heart J. 2026 Apr 9. doi:10.1093/eurheartj/ehag188

10. Mont L, Pelliccia A, Sharma S, Biffi A, Borjesson M, Brugada Terradellas J, et al. Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent sudden death: Position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APHRS, HRS, and SOLAECE. Eur J Prev Cardiol. 2017 Jan 1;24(1):41–69. doi:10.1177/2047487316676042 PubMed PMID: 27815537.

11. Ljungqvist A, Jenoure PJ, Engebretsen L, Manuel Alonso J, Bahr R, Clough AF, et al. The International Olympic Committee (IOC) Consensus Statement on Periodic Health Evaluation of Elite Athletes, March 2009. Clin J Sport Med [Internet]. 2009. Available from: www.cjsportsmed.com

12. Mont L, Pelliccia A, Sharma S, Biffi A, Borjesson M, Brugada Terradellas J, et al. Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent sudden death: Position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APHRS, HRS, and SOLAECE. Eur J Prev Cardiol. 2017 Jan 1;24(1):41–69. doi:10.1177/2047487316676042 PubMed PMID: 27815537.

13. Dennison R, Kerkhof DL, Honda T, Calatroni R, Corrado GD. Feasibility of a Novel Strategy for Cardiovascular Screening during the Preparticipation Physical Examination. Clinical Journal of Sport Medicine. 2021 Sep 1;31(5):407–13. doi:10.1097/JSM.0000000000000770 PubMed PMID: 31789870.

14. Gleason CN, Kerkhof DL, Cilia EA, Lanyi MA, Finnoff J, Sugimoto D, et al. Early Screening for Cardiovascular Abnormalities With Preparticipation Echocardiography: Feasibility Study [Internet]. 2016. Available from: www.cjsportmed.com

15. Graziano F, Zorzi A, Corrado D. ECG interpretation for pre-participation screening in athletes. J Electrocardiol. 2026 Jan 1;94. doi:10.1016/j.jelectrocard.2025.154157 PubMed PMID: 41297099.

16. Graziano F, De Antoni A, Balla D, Manfrin L, Genta EO, Brusamolin L, et al. Prevalence and relation to training of electrocardiographic findings in Caucasian children and adolescents 8- to 18-year-old practicing competitive sport. Europace. 2025 Oct 1;27(10). doi:10.1093/europace/euaf180 PubMed PMID: 40811576.

17. Halasz G, Cattaneo M, Piepoli M, Romano S, Biasini V, Menafoglio A, et al. Pediatric athletes' ECG and diagnostic performance of contemporary ECG interpretation criteria. Int J Cardiol. 2021 Jul 15;335:40–6. doi:10.1016/j.ijcard.2021.04.019 PubMed PMID: 33857542.

18. Mansour NM, Abdelnaby AR, Khalil NI. Normal electrocardiographic patterns in school-aged children: Data from a sports cardiology screening program. J Electrocardiol. 2025 Nov 1;93. doi:10.1016/j.jelectrocard.2025.154142 PubMed PMID: 41124785.

19. Halasz G, Capelli B, Nardecchia A, Cattaneo M, Cassina T, Biasini V, et al. Cost-effectiveness and diagnostic accuracy of focused cardiac ultrasound in the pre-participation screening of athletes: the SPORT-FoCUS study. Eur J Prev Cardiol. 2023 Nov 1;30(16):1748–57. doi:10.1093/eurjpc/zwad287 PubMed PMID: 37668353.

20. Dores H, Dinis P, Viegas JM, Freitas A. Preparticipation Cardiovascular Screening of Athletes: Current Controversies and Challenges for the Future. Diagnostics. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024. doi:10.3390/diagnostics14212445

21. Albiński M, Balmer C, Wilhelm M, Meyer P, Gass M, Schmied C, et al. Paediatric and adolescent athletes in Switzerland: age-adapted proposals for pre-participation cardiovascular evaluation. Swiss Med Wkly. 2022 Feb 14;152(7–8). doi:10.4414/SMW.2022.w30128 PubMed PMID: 35195978.

22. Albiński M, Saubade M, Menafoglio A, Meyer P, Capelli B, Perrin T, et al. Diagnostic yield and cost analysis of electrocardiographic screening in Swiss paediatric athletes. J Sci Med Sport. 2022 Apr 1;25(4):281–6. doi:10.1016/j.jsams.2021.11.039 PubMed PMID: 34895837.

23. Koch S, Cassel M, Linné K, Mayer F, Scharhag J. ECG and echocardiographic findings in 10-15-year-old elite athletes. Eur J Prev Cardiol. 2014;21(6):774–81. doi:10.1177/2047487312462147 PubMed PMID: 23008134.

24. Mont L, Pelliccia A, Sharma S, Biffi A, Borjesson M, Brugada Terradellas J, et al. Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent sudden death: Position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APHRS, HRS, and SOLAECE. Eur J Prev Cardiol. 2017 Jan 1;24(1):41–69. doi:10.1177/2047487316676042 PubMed PMID: 27815537.

25. Graziano F, Schiavon M, Cipriani A, Savalla F, De Gaspari M, Bauce B, et al. Causes of sudden cardiac arrest and death and the diagnostic yield of sport preparticipation screening in children. Br J Sports Med. 2024 Jan 17;58(5):255–60. doi:10.1136/bjsports-2023-107357 PubMed PMID: 38233088.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BRUSELLOZDA KOMPLİKE HASTALIĞIN ERKEN TANINMASINDA BASİT KLİNİK VE LABORATUVAR GÖSTERGELER: İKİ MERKEZLİ RETROSPEKTİF ÇALIŞMA

Dr. Dilek ASİLTÜRK
Ankara Bilkent Şehir Hastanesi, Ankara Bilkent Şehir Hastanesi, Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji Kliniği
ORCID: 0000-0002-9879-4093

Dr. Zeynep OKTAY
Ankara Bilkent Şehir Hastanesi, Ankara Bilkent Şehir Hastanesi, Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji Kliniği
ORCID: 0000-0001-7186-7670

ÖZET

Giriş ve Amaç

Brusellozda fokal organ tutulumu tedavi süresinin uzamasına, relaps ve sekellere yol açabilmektedir. Komplike olguların erken tanınmasında kolay ulaşılabilir klinik ve laboratuvar göstergelerinin belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada, bruselloz hastalarında başvuru sırasındaki semptom süresi ve inflamatuvar belirteçlerin komplike hastalığı ayırt etmedeki değerinin araştırılması amaçlandı.

Gereç ve Yöntem

Ağustos 2022–Mayıs 2024 tarihleri arasında, ikinci basamak sağlık kuruluşları olan Afyonkarahisar Sandıklı Devlet Hastanesi ve Gümüşhane Kelkit Devlet Hastanesi'nde bruselloz tanısıyla takip edilen erişkin 43 hasta retrospektif olarak değerlendirildi. Fokal organ tutulumu bulunan hastalar komplike bruselloz olarak sınıflandırıldı. Komplike ve komplike olmayan hastaların demografik, klinik ve laboratuvar özellikleri karşılaştırıldı. C-reaktif protein (CRP), eritrosit sedimentasyon hızı (ESH) ve semptom süresinin komplike hastalığı ayırt etme performansı ROC analiziyle değerlendirildi ve bu kohort için optimal eşik değerler araştırıldı.

Bulgular

Hastaların 25'i (%58,1) komplike, 18'i (%41,9) komplike olmayan bruselloz grubundaydı. Komplike hastalarda semptom süresi daha uzun [40 (IQR:10–60) ve 11 (4,3–13,5) gün; p=0,010], CRP [50 (19–71) ve 15,5 (6,3–24,5) mg/L; p=0,012] ve ESH [30 (20–43,5) ve 18,5 (12,8–23,5) mm/saat; p=0,017] daha yüksekti. ROC analizinde komplike hastalığı ayırt etmede AUC, CRP için 0,728, semptom süresi için 0,734 ve ESH için 0,718 olarak bulundu. Bu kohortta CRP ≥27 mg/L eşik değerinin duyarlılığı %68,0, özgüllüğü %77,8; semptom süresi ≥30 gün eşik değerinin duyarlılığı %64,0, özgüllüğü %83,3 idi. CRP ≥27 mg/L (OR=7,44; p=0,005) ve semptom süresi ≥30 gün (OR=8,89; p=0,004) komplike hastalıkla anlamlı ilişkiliydi. CRP ve semptom süresinin birlikte değerlendirilmesiyle ayırt edici performans AUC=0,793'e yükseldi.

Sonuç

Brusellozda uzamış semptom süresi ve yüksek CRP, komplike hastalığın erken tanınmasında kolay ulaşılabilir uyarıcı göstergeler olabilir. Bu kohortta CRP ≥27 mg/L ve semptom süresi ≥30 gün komplikasyonla güçlü ilişki göstermiş, iki parametrenin birlikte değerlendirilmesi tek başlarına kullanımlarına göre daha yüksek ayırt edici performans sağlamıştır. Bulguların daha geniş hasta serilerinde doğrulanması gereklidir.

Anahtar Sözcükler: Bruselloz, komplike bruselloz, C-reaktif protein, semptom süresi

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

SIMPLE CLINICAL AND LABORATORY INDICATORS FOR THE EARLY IDENTIFICATION OF COMPLICATED BRUCELLOSIS: A TWO-CENTER RETROSPECTIVE STUDY

ABSTRACT

Background and Aim

Focal organ involvement in brucellosis may lead to prolonged treatment, relapse, and sequelae. Identifying readily available clinical and laboratory indicators that may facilitate the early recognition of complicated disease is therefore important. This study aimed to investigate the ability of symptom duration and inflammatory markers at presentation to discriminate between complicated and uncomplicated brucellosis.

Materials and Methods

A total of 43 adult patients diagnosed with brucellosis and followed at Afyonkarahisar Sandıklı State Hospital and Gümüşhane Kelkit State Hospital, both secondary-care healthcare institutions, between August 2022 and May 2024 were retrospectively evaluated. Patients with focal organ involvement were classified as having complicated brucellosis. Demographic, clinical, and laboratory characteristics were compared between patients with complicated and uncomplicated brucellosis. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was performed to assess the discriminatory performance of C-reactive protein (CRP), erythrocyte sedimentation rate (ESR), and symptom duration for complicated brucellosis and to determine the optimal cutoff values in this cohort.

Results

Of 43 patients, 25 (58.1%) had complicated and 18 (41.9%) had uncomplicated brucellosis. Patients with complicated disease had a longer symptom duration [40 (IQR: 10–60) vs. 11 (4.3–13.5) days; p=0.010], higher CRP levels [50 (19–71) vs. 15.5 (6.3–24.5) mg/L; p=0.012], and higher ESR [30 (20–43.5) vs. 18.5 (12.8–23.5) mm/h; p=0.017]. The AUC values for discriminating complicated disease were 0.728 for CRP, 0.734 for symptom duration, and 0.718 for ESR. A CRP cutoff of ≥27 mg/L yielded 68.0% sensitivity and 77.8% specificity, whereas a symptom duration cutoff of ≥30 days yielded 64.0% sensitivity and 83.3% specificity. CRP ≥27 mg/L (OR=7.44; p=0.005) and symptom duration ≥30 days (OR=8.89; p=0.004) were significantly associated with complicated disease. Combining CRP and symptom duration improved the discriminatory performance to an AUC of 0.793.

Conclusion

Prolonged symptom duration and elevated CRP may serve as readily available warning indicators for complicated brucellosis. In this cohort, CRP ≥27 mg/L and symptom duration ≥30 days were strongly associated with complicated disease, while their combined assessment provided better discrimination than either parameter alone. These findings require validation in larger cohorts.

Keywords: Brucellosis, complicated brucellosis, C-reactive protein, symptom duration, ROC analysis

PARKİNSON HASTALIĞINDA YENİ MOLEKÜLER AKTÖRLER: circRNA'LAR

Esra BÜLBÜL
Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0000-6089-7428

Prof. Dr. Aydın RÜSTEMOĞLU
Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı
ORCID: 0000-0002-1354-4598

ÖZET
Parkinson hastalığı (PH), dopaminerjik nöronların ilerleyici kaybı ve alfa-sinüklein patolojisi ile karakterize, moleküler temeli oldukça karmaşık bir nörodejeneratif hastalıktır. Hastalığın ortaya çıkışı ve ilerlemesinde genetik yatkınlık ile çevresel faktörlerin yanı sıra mitokondriyal disfonksiyon, oksidatif stres, nöroinflamasyon ve hücresel protein homeostazındaki bozulmaların birbiriyle ilişkili biçimde rol oynadığı bilinmektedir. Bununla birlikte, klinik belirtilerin ortaya çıkmasından önce başlayan uzun nörodejeneratif süreç ve hastalığın biyolojik heterojenliği, erken tanıya olanak sağlayabilecek moleküler göstergelerin ve hastalık sürecine müdahale edebilecek yeni hedeflerin araştırılmasını gerekli kılmaktadır. Son yıllarda bu arayışın dikkat çeken odaklarından birini sirküler RNA'lar (circRNA) oluşturmaktadır. Back-splicing mekanizması sonucunda meydana gelen circRNA'lar, serbest 5′ ve 3′ uçlarının bulunmadığı kovalent kapalı halkasal yapıları sayesinde yüksek biyokimyasal kararlılık gösteren RNA molekülleridir. Ekzonükleaz aracılı yıkıma karşı dirençli olmaları, hücre ve dokularda uzun süre korunabilmeleri ve özellikle santral sinir sisteminde zengin ekspresyon göstermeleri, circRNA'ların nörodejeneratif hastalıklar açısından önemini artırmaktadır. Yapılan çalışmalar, Parkinson hastalığında belirli circRNA'ların ekspresyon profillerinin değişebildiğini ve bu değişimlerin alfa-sinüklein homeostazı, mitokondriyal işlev bozukluğu, oksidatif stres, nöroinflamasyon ve nöronal sağkalım gibi hastalığın temel patolojik süreçleriyle ilişkili olabileceğini göstermektedir. circRNA'ların hücre içindeki biyolojik rollerinin yanı sıra periferik biyolojik sıvılarda saptanabilmeleri, bu moleküllere klinik açıdan ayrı bir önem kazandırmaktadır. Özellikle eksozomlar içerisinde korunarak dolaşıma taşınabilmeleri ve yapısal kararlılıklarını sürdürebilmeleri, circRNA'ları Parkinson hastalığının erken tanısı ve moleküler takibi açısından umut verici biyobelirteç adayları arasına taşımaktadır. Ayrıca hastalıkla ilişkili circRNA ekspresyonunun hedeflenmesine yönelik RNA temelli yaklaşımlar, bu moleküllerin yalnızca hastalığı yansıtan göstergeler değil, gelecekte hastalık sürecine müdahale edilebilecek potansiyel moleküler hedefler olabileceğini düşündürmektedir.
Anahtar Kelimeler: Parkinson hastalığı, sirküler RNA, circRNA, nörodejenerasyon, biyobelirteç

EMERGING MOLECULAR PLAYERS IN PARKINSON'S DISEASE: circRNAs

ABSTRACT
Parkinson's disease (PD) is a neurodegenerative disorder with a highly complex molecular basis, characterized by the progressive loss of dopaminergic neurons and alpha-synuclein pathology. In addition to genetic susceptibility and environmental factors, mitochondrial dysfunction, oxidative stress, neuroinflammation, and disturbances in cellular protein homeostasis are known to play interconnected roles in the onset and progression of the disease.

However, the prolonged neurodegenerative process that begins before the emergence of clinical symptoms, together with the biological heterogeneity of the disease, necessitates the investigation of molecular indicators that may enable early diagnosis and novel targets that may allow intervention in the disease process. In recent years, circular RNAs (circRNAs) have emerged as one of the notable focuses of this search. Generated through the back-splicing mechanism, circRNAs are RNA molecules with high biochemical stability due to their covalently closed circular structures lacking free 5′ and 3′ ends. Their resistance to exonuclease-mediated degradation, prolonged persistence in cells and tissues, and particularly abundant expression in the central nervous system increase the relevance of circRNAs to neurodegenerative diseases. Studies indicate that the expression profiles of specific circRNAs may be altered in Parkinson's disease and that these changes may be associated with key pathological processes of the disease, including alpha-synuclein homeostasis, mitochondrial dysfunction, oxidative stress, neuroinflammation, and neuronal survival.
In addition to their intracellular biological roles, the detectability of circRNAs in peripheral biological fluids gives these molecules particular clinical relevance. Their ability to be protected within exosomes, transported in the circulation, and maintain their structural stability places circRNAs among promising biomarker candidates for the early diagnosis and molecular monitoring of Parkinson's disease. Furthermore, RNA-based approaches aimed at targeting disease-associated circRNA expression suggest that these molecules may serve not only as indicators reflecting the disease but also as potential molecular targets for future interventions in the disease process.
Keywords: Parkinson's disease, circular RNA, circRNA, neurodegeneration, biomarker

GİRİŞ

Parkinson hastalığı (PH), özellikle ileri yaşlarda görülme sıklığı artan, ilerleyici ve heterojen bir nörodejeneratif hastalıktır. Klinik olarak bradikinezi, rijidite ve istirahat tremoru gibi motor belirtilerle tanınmakla birlikte; koku kaybı, uyku bozuklukları, otonomik disfonksiyon, depresyon ve bilişsel değişiklikler gibi non-motor bulgular da hastalığın önemli bileşenleridir. Patolojik açıdan substantia nigra pars compacta bölgesindeki dopaminerjik nöron kaybı ve α-sinüklein açısından zengin Lewy patolojisi temel özellikler arasında yer almaktadır. α-Sinükleinin Lewy cisimciklerinin başlıca bileşenlerinden biri olduğunun gösterilmesi, protein katlanması ve proteostaz bozukluğunun PH patogenezindeki önemini güçlendirmiştir (Spillantini vd., 1997). Deneysel modellerde patolojik α-sinüklein türlerinin hücreler arasında yayılabildiğinin gösterilmesi de hastalığın ilerleyici doğasının anlaşılmasına önemli katkı sağlamıştır (Luk vd., 2012). PH'nin moleküler temeli tek bir yolakla açıklanamamaktadır. Mitokondriyal işlev bozukluğu, oksidatif stres, lizozomal-otofajik sistemlerdeki aksaklıklar, nöroinflamasyon ve protein homeostazındaki bozulmalar birbiriyle etkileşen süreçler olarak değerlendirilmektedir. Substantia nigra dokusunda mitokondriyal kompleks I aktivitesinin azaldığının gösterilmesi, mitokondriyal enerji metabolizması ile PH arasındaki ilişkinin erken ve temel biyokimyasal kanıtlarından birini oluşturmuştur (Schapira vd., 1990). Bu süreçlerin birbirinden bağımsız olmadığı; özellikle mitokondriyal hasar, reaktif oksijen türlerinin oluşumu ve hücresel temizleme mekanizmalarındaki bozulmanın α-sinüklein birikimi ve nöronal stresle karşılıklı etkileşebildiği düşünülmektedir. Hastalığın heterojen yapısının anlaşılmasında genetik çalışmalar önemli bir dönüm noktası olmuştur. SNCA genindeki patojenik varyantların ailesel PH ile ilişkilendirilmesi ve daha sonra SNCA lokusundaki gen doz artışlarının hastalığa neden olabildiğinin gösterilmesi, α-sinüklein biyolojisi ile genetik yatkınlık arasında doğrudan bir bağlantı kurmuştur (Polymeropoulos vd., 1997; Singleton vd., 2003).

Bunun yanında LRRK2, PRKN, PINK1 ve GBA1 gibi genlerle ilişkili bulgular; mitokondriyal kalite kontrolü, lizozomal işlev, veziküler trafik ve protein homeostazı gibi farklı hücresel süreçlerin PH patogenezinde kesişebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte genetik faktörler hastalığın bütün olgularını tek başına açıklamamaktadır; PH, genetik yatkınlığın yaşlanma ve çevresel etkenlerle etkileşebildiği çok faktörlü bir hastalık olarak kabul edilmektedir. Genetik varyasyonların yanı sıra gen ekspresyonunun transkripsiyonel ve post-transkripsiyonel düzeyde nasıl düzenlendiği de nörodejeneratif hastalık araştırmalarında giderek daha fazla önem kazanmıştır. MikroRNA'lar (miRNA), uzun kodlamayan RNA'lar (lncRNA) ve sirküler RNA'lar (circRNA) protein kodlamayan düzenleyici RNA sınıfları arasında yer almaktadır. Bu moleküller gen ekspresyonunun farklı basamaklarını etkileyebilmekte ve hücresel stres yanıtlarıyla ilişkili düzenleyici ağlara katılabilmektedir. Bu nedenle PH'nin moleküler heterojenliğini yalnızca protein kodlayan genler üzerinden değil, kodlamayan RNA ağlarını da kapsayan daha geniş bir düzenleyici çerçevede değerlendirmek önem kazanmıştır. Bu bağlamda circRNA'lar, doğrusal RNA'lardan farklı yapısal özellikleri nedeniyle dikkat çeken bir RNA sınıfıdır. circRNA'lar çoğunlukla back-splicing sürecinde aşağı akımdaki 5′ splice donor bölgesinin yukarı akımdaki 3′ splice acceptor bölgesiyle birleşmesi sonucunda kovalent olarak kapalı halka yapısı kazanır (Zhang vd., 2014; Kristensen vd., 2019). Serbest 5′ ve 3′ uçlarının bulunmaması birçok circRNA'nın ekzonükleaz aracılı yıkıma karşı doğrusal RNA'lara göre daha dirençli olmasına katkıda bulunur (Jeck vd., 2013; Chen, 2020). Bazı circRNA'ların miRNA'larla veya RNA bağlayıcı proteinlerle etkileşebildiği, transkripsiyonel düzenlemeye katılabildiği ve belirli örneklerde cap-bağımsız translasyona uğrayabildiği gösterilmiştir (Hansen vd., 2013; Memczak vd., 2013; Yang vd., 2017).circRNA'ların sinir sistemindeki zengin ekspresyonu ve görece yüksek stabilitesi, nörodejeneratif hastalıklardaki rollerine yönelik ilgiyi artırmıştır. PH hastalarının periferik kan mononükleer hücrelerinde farklı circRNA profillerinin bildirilmesi, bu moleküllerin hastalıkla ilişkili düzenleyici süreçler ve biyobelirteç araştırmaları açısından incelenmesine yol açmıştır (Ravanidis vd., 2021; Kong vd., 2021; Xiao vd., 2022). Bununla birlikte mevcut çalışmaların önemli bir bölümü vaka-kontrol tasarımına veya biyoinformatik olarak öngörülen düzenleyici ağlara dayanmaktadır. Bu nedenle bir circRNA'nın hastalarda farklı düzeyde bulunması tek başına hastalığın oluşumunda nedensel rol oynadığını göstermemektedir.Bu anlatısal derlemenin amacı, PH ve circRNA ilişkisini hastalığın moleküler biyolojisinden RNA temelli düzenleyici mekanizmalara uzanan bütüncül bir çerçevede değerlendirmektir. Bu doğrultuda öncelikle Parkinson hastalığının temel klinik ve moleküler özellikleri ile genetik altyapısı ele alınmakta; ardından circRNA'ların biyogenezi ve temel biyolojik işlevleri açıklanmaktadır. Son bölümde ise PH'de bildirilen circRNA ekspresyon değişiklikleri, α-sinüklein homeostazı, oksidatif stres ve nöroinflamasyonla olası ilişkileri ile biyobelirteç ve terapötik hedef olma potansiyelleri yayımlanmış çalışmalar üzerinden tartışılmaktadır. Böylece mevcut kanıtların güçlü yönlerinin yanında yöntemsel sınırlılıkların ve gelecekte doğrulanması gereken araştırma alanlarının ortaya konması amaçlanmaktadır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışmada, literatürde Parkinson hastalığı ile circRNA ilişkisine dair yayımlanmış çalışmalar incelenerek derleme yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Literatürde bildirilen gözlemler, kullanılan biyolojik örnekler, önerilen mekanizmalar ve kanıtların sınırlılıkları birlikte ele alınmıştır.

Parkinson hastalığının klinik ve moleküler özellikleri

Parkinson hastalığı, Alzheimer hastalığından sonra en sık görülen nörodejeneratif hastalıklardan biridir ve yaşla birlikte görülme sıklığı artmaktadır. Klinik tablo klasik olarak bradikinezi, rijidite, istirahat tremoru ve postüral instabilite gibi motor belirtilerle tanımlansa da; koku kaybı, uyku bozuklukları, otonomik belirtiler, depresyon ve bilişsel değişiklikler gibi non-motor bulgular hastalığın önemli bir bölümünü oluşturur. Patolojik açıdan en belirgin özellikler, substantia nigra pars compacta dopaminerjik nöronlarının ilerleyici kaybı ve α-sinüklein açısından zengin Lewy patolojisidir. α-Sinükleinin Lewy cisimciklerinin temel bileşenlerinden biri olduğunun gösterilmesi, protein katlanması ve proteostaz bozukluğunun PH patogenezindeki yerini güçlendirmiştir (Spillantini vd., 1997). Deneysel çalışmalar ayrıca patolojik α-sinüklein türlerinin hücreler arasında yayılabildiğini ve Parkinson benzeri nörodejeneratif süreçleri tetikleyebildiğini göstermiştir (Luk vd., 2012).

Parkinson hastalığının genetik temelleri

PH tek bir moleküler bozuklukla açıklanamayan heterojen bir hastalıktır. SNCA genindeki patojenik varyantların ve gen doz artışlarının ailesel PH ile ilişkisi, α-sinüklein biyolojisi ile genetik yatkınlık arasındaki doğrudan bağlantıyı ortaya koymuştur (Polymeropoulos vd., 1997; Singleton vd., 2003). Bunun yanında LRRK2, PRKN, PINK1 ve GBA1 gibi genlerle ilişkili bulgular; mitokondriyal kalite kontrolü, lizozomal işlev, veziküler trafik ve protein homeostazının hastalık biyolojisinde kesiştiğini göstermektedir. Mitokondriyal kompleks I aktivitesindeki azalma da PH dokusunda erken dönemden beri bildirilen temel biyokimyasal gözlemlerden biridir (Schapira vd., 1990). Bu süreçlerin oksidatif stres ve nöroinflamasyonla karşılıklı etkileşimi, dopaminerjik nöronların seçici kırılganlığını artırabilecek çok katmanlı bir patolojik ağ oluşturmaktadır.

circRNA'ların biyogenezi ve biyolojik özellikleri

Protein kodlayan genlerin hastalık mekanizmalarını açıklamadaki önemi tartışılmaz olmakla birlikte, transkriptomun protein kodlamayan bileşenleri de hücresel düzenlemede önemli roller üstlenmektedir. Kodlamayan RNA'lar; mikroRNA (miRNA), uzun kodlamayan RNA (lncRNA) ve sirküler RNA (circRNA) gibi farklı sınıfları içeren heterojen bir gruptur. circRNA'lar doğrusal RNA'lardan farklı olarak serbest 5′ ve 3′ uçlara sahip değildir; çoğunlukla back-splicing adı verilen süreçte aşağı akımdaki 5′ splice donor bölgesinin yukarı akımdaki 3′ splice acceptor bölgesiyle birleşmesi sonucunda kovalent kapalı halka yapısı oluşur (Zhang vd., 2014; Kristensen vd., 2019). Bu yapı, birçok circRNA'nın ekzonükleaz aracılı yıkıma karşı doğrusal transkriptlere göre daha dirençli olmasına katkı sağlar. circRNA'ların memeli beyninde zengin ve gelişimsel olarak düzenlenen ekspresyon göstermesi, nörodejeneratif hastalıklar açısından özel bir ilgi alanı oluşturmuştur. İlk geniş ölçekli çalışmalar circRNA'ların hayvan transkriptomunda yaygın olduğunu ve bazı örneklerin güçlü düzenleyici kapasite gösterebildiğini ortaya koymuştur (Memczak vd., 2013; Hansen vd., 2013). Daha sonraki çalışmalar, circRNA'ların yalnızca miRNA bağlayan moleküller olarak değerlendirilmemesi gerektiğini; RNA bağlayıcı proteinlerle etkileşim, transkripsiyonel kontrol ve bazı circRNA'larda protein/peptit üretimi gibi farklı işlevlerin de söz konusu olabileceğini göstermiştir (Kristensen vd., 2019; Yang vd., 2017; Chen, 2020). Bu özellikler, uzun ömürlü nöronlarda RNA düzenlenmesinin hastalıkla ilişkili değişimlerini araştırmak için circRNA'ları dikkat çekici adaylar haline getirmektedir. PH bağlamında periferik kan mononükleer hücreleri ve diğer örneklerde farklı eksprese edilen circRNA'ların bildirilmesi, bu moleküllerin hem mekanistik hem de klinik araştırmalarda incelenmesine yol açmıştır (Ravanidis vd., 2021; Kong vd., 2021; Xiao vd., 2022).

Bununla birlikte, gözlenen ekspresyon farklılıklarının hastalığın nedeni mi, sonucu mu yoksa eşlik eden hücresel stres yanıtlarının bir göstergesi mi olduğu her aday için ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Bu çalışmanın amacı, circRNA biyolojisini PH'nin temel moleküler süreçleriyle birlikte ele almak; mevcut bulguların biyobelirteç ve tedavi hedefi açısından ne ölçüde destek sağladığını ve hangi sınırlılıkların devam ettiğini tartışmaktır. circRNA biyogenezinin temel özelliği, klasik doğrusal splicing düzeninden farklı bir ekzon birleşme biçimi olan back-splicing mekanizmasıdır. Bu süreçte aşağı akımda yer alan 5′ splice donor bölgesi, yukarı akımdaki 3′ splice acceptor bölgesiyle birleşerek kovalent kapalı bir RNA halkası oluşturur. İntronlardaki tamamlayıcı diziler, özellikle ters yönelimli Alu elementleri, spliceozomal faktörler ve çeşitli RNA bağlayıcı proteinler bu sürecin verimliliğini etkileyebilir (Jeck vd., 2013; Zhang vd., 2014). Biyogenez sonucunda ekzonik circRNA'lar, ekzon-intron circRNA'ları ve intronik circRNA'lar gibi farklı alt tipler ortaya çıkabilir. Bu alt tiplerin hücre içindeki yerleşimleri ve işlevleri birbirinden farklılık gösterebilir. Kapalı halka yapısı circRNA'ların önemli biyolojik özelliklerinden biridir. Serbest uçların bulunmaması, birçok circRNA'nın klasik ekzonükleaz yıkımına karşı görece dirençli olmasına ve bazı doğrusal RNA'lara kıyasla daha uzun süre hücre içinde kalabilmesine katkı sağlar (Jeck vd., 2013; Chen, 2020). Bununla birlikte, bu özellik bütün circRNA'ların aynı derecede stabil olduğu veya hiçbir nükleaz tarafından parçalanmadığı anlamına gelmez. Hücre tipi, alt hücresel lokalizasyon, RNA modifikasyonları ve özgül yıkım mekanizmaları circRNA düzeylerini etkileyebilir. Bu nedenle circRNA stabilitesi, biyobelirteç araştırmaları için avantaj oluştururken aday bazında deneysel doğrulama gerektirir. circRNA'ların en çok bilinen işlevlerinden biri bazı örneklerde miRNA'larla etkileşime girmeleridir. CDR1as/ciRS-7 gibi yüksek sayıda miRNA bağlanma bölgesi taşıyan özel circRNA'lar, miRNA erişilebilirliğini etkileyebilen güçlü örneklerdir (Hansen vd., 2013; Memczak vd., 2013). Ancak bu mekanizma bütün circRNA'lara genellenmemelidir; etkili bir miRNA-sünger fonksiyonu için bağlanma bölgesi sayısı, moleküler bolluk ve hücresel stokiyometri önemlidir. Bunun yanında circRNA'lar RNA bağlayıcı proteinler için iskele görevi görebilir, proteinlerin lokalizasyonunu veya aktivitesini etkileyebilir ve çekirdekte transkripsiyonel düzenlemeye katılabilir (Kristensen vd., 2019; Wang vd., 2024). circRNA'ların protein kodlama potansiyeli de son yıllarda dikkat çekmiştir. Klasik 5′ cap yapısına sahip olmamalarına rağmen, internal ribosome entry site benzeri diziler veya N6-metiladenozin (m6A) gibi modifikasyonlar bazı circRNA'larda cap-bağımsız translasyonu destekleyebilir. Yang ve arkadaşları (2017), m6A aracılı circRNA translasyonunun yaygın olabilecek bir mekanizma olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, endojen circRNA kaynaklı peptitlerin fizyolojik ve patolojik öneminin birçok aday için halen doğrulanması gerekmektedir. Bu nedenle circRNA'ların PH'deki işlevleri değerlendirilirken miRNA etkileşimi, protein bağlanması, transkripsiyonel düzenleme ve translasyon olasılıkları ayrı kanıt düzeyleriyle ele alınmalıdır.

Parkinson hastalığında circRNA ekspresyon değişiklikleri

Sinir dokusunda circRNA birikiminin yaş, nöronal farklılaşma ve sinaptik aktivite ile ilişkili olması, PH gibi ileri yaşta ortaya çıkan nörodejeneratif hastalıklarda circRNA profilinin araştırılmasını teşvik etmiştir. PH hastalarında periferik kan mononükleer hücrelerinden elde edilen RNA profilleri, sağlıklı kontrollerle karşılaştırıldığında çok sayıda circRNA'nın farklı düzeylerde eksprese olabildiğini göstermiştir. Ravanidis ve arkadaşları (2021), PH hastalarının periferik kan mononükleer hücrelerinde farklı eksprese edilen circRNA'ları tanımlayarak bunların hastalıkla ilişkili moleküler ağlarda yer alabileceğini bildirmiştir. Kong ve arkadaşlarının (2021) periferik kan circRNA dizileme çalışması da PH ile kontrol grupları arasında farklı circRNA profillerine işaret etmiştir.

İlgili literatürün klinik açıdan dikkat çeken yönü, circRNA'ların yalnızca postmortem beyin dokusunda değil, periferik örneklerde de araştırılabilmesidir. Kan temelli bir biyobelirteç yaklaşımı, örneklem alımının tekrarlanabilir ve görece düşük invaziv olması nedeniyle avantajlıdır. Xiao ve arkadaşları (2022), bağımsız bir doğrulama kohortunda dört circRNA'dan oluşan potansiyel bir biyobelirteç paneli bildirmiş; circRNA–miRNA–mRNA ilişkilerini ise biyoinformatik olarak öngörmüştür. Bununla birlikte, farklı çalışmalarda kullanılan örnek türü, RNA izolasyon yöntemi, RNase R uygulaması, dizileme/qPCR platformu, normalizasyon stratejisi ve hasta özellikleri sonuçların doğrudan karşılaştırılmasını zorlaştırabilir. Bu nedenle tek bir circRNA adayının klinik tanı aracı olarak kabul edilmesinden önce bağımsız ve daha geniş kohortlarda doğrulanması gereklidir.

PH'de circRNA profillerinin değişmesi, tek başına mekanistik nedensellik göstermez. Nöronal kayıp, immün hücre kompozisyonundaki değişiklikler, ilaç kullanımı, yaş, hastalık süresi ve eşlik eden sistemik süreçler ölçülen RNA profilini etkileyebilir. Bu nedenle aday circRNA'ların yalnızca vaka-kontrol farkı üzerinden değil; hastalık evresi, klinik fenotip, tedavi durumu ve hücre tipi gibi değişkenlerle birlikte değerlendirilmesi önemlidir. Mevcut literatür, circRNA'ların PH biyolojisine ilişkin anlamlı sinyaller taşıyabildiğini desteklemekle birlikte, özgüllük ve tekrarlanabilirlik açısından standardize edilmiş çalışmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Liao vd., 2023; Li vd., 2024).

circRNA'ların α-sinüklein, oksidatif stres ve nöroinflamasyonla ilişkisi

PH patogenezinin merkezindeki α-sinüklein, yalnızca genetik ve protein düzeyinde değil, kodlamayan RNA ağları açısından da önem taşır. miRNA'ların SNCA ekspresyonunu düzenleyebilmesi, bu miRNA'larla etkileşen circRNA'ların dolaylı olarak α-sinüklein homeostazını etkileyebileceği hipotezini doğurmuştur. Bu bağlamda literatürde circSNCA gibi SNCA lokusundan türeyen circRNA'lar ve miRNA-circRNA-mRNA ağları tartışılmaktadır (Liao vd., 2023; Titze-de-Almeida ve Titze-de-Almeida, 2023). Ancak belirli bir circRNA-miRNA etkileşiminin hastalık mekanizmasında belirleyici olduğunu göstermek için ekspresyon korelasyonuna ek olarak bağlanma, kayıp/kazanım fonksiyon deneyleri ve uygun in vivo modeller gereklidir. Oksidatif stres, dopaminerjik nöronların yüksek enerji gereksinimi, dopamin metabolizması ve mitokondriyal işlev bozukluğu ile ilişkili olarak PH'de önemli bir patolojik bileşendir. Substantia nigra dokusunda kompleks I eksikliğinin gösterilmesi, mitokondriyal enerji metabolizması ile PH arasındaki biyokimyasal bağlantının temel bulgularından biridir (Schapira vd., 1990). circRNA'ların oksidatif stres yanıtını düzenleyen miRNA ve mRNA ağlarıyla etkileşebildiği farklı hastalık modellerinde bildirilmiştir (Zhang vd., 2021). PH açısından bu bulgular, oksidatif stresle değişen circRNA profillerinin hem hücresel yanıtın bir parçası hem de potansiyel bir moleküler gösterge olabileceğini düşündürmektedir; ancak adayların PH'ye özgü işlevlerinin deneysel olarak ayrıştırılması gerekmektedir. Mitokondriyal kalite kontrolü ile lizozomal-otofajik sistemler PH genetiğinde de öne çıkan yolaklardır. PINK1/PRKN eksenindeki bozukluklar hasarlı mitokondrilerin uzaklaştırılmasını etkilerken, GBA1 ile ilişkili lizozomal değişiklikler α-sinüklein birikimiyle karşılıklı etkileşim gösterebilir. circRNA'ların bu yolakları hedefleyen miRNA'lar veya RNA bağlayıcı proteinler üzerinden düzenleyebilmesi biyolojik olarak olasıdır; ancak literatürdeki ağ analizlerinin önemli bir bölümü hesaplamalı tahminlere dayanır. Bu nedenle ceRNA ağları, doğrulanmış moleküler etkileşimlerle desteklenmediği sürece mekanistik kanıt olarak değil, deneysel olarak test edilmesi gereken hipotezler olarak değerlendirilmelidir. Nöroinflamasyon da PH'de circRNA araştırmalarının kesiştiği alanlardan biridir. Mikroglial aktivasyon ve inflamatuvar sinyal yolları, dopaminerjik nöronların stres yanıtını ve çevresel mikroortamını etkileyebilir.

Bazı circRNA'ların NF-κB, inflamatuvar sitokinler veya mikroglial fenotiple ilişkili düzenleyici ağlarda yer aldığı farklı deneysel sistemlerde gösterilmiştir. PH literatüründe de circRNA-miRNA-mRNA ağlarının inflamasyonla ilişkili gen kümelerini zenginleştirebildiği bildirilmektedir (Liao vd., 2023; Xiao vd., 2024). Bununla birlikte, periferik inflamasyon sinyalleri ile santral sinir sistemi kaynaklı circRNA değişikliklerini birbirinden ayırmak klinik örneklerde önemli bir metodolojik sorundur. Yayımlanmış çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde circRNA'ların PH'de tek bir patolojik basamağa özgü moleküller olmadığı; protein homeostazı, mitokondriyal stres, oksidatif hasar ve inflamatuvar yanıt gibi birbiriyle bağlantılı süreçlerin düzenleyici ağlarında yer alabilecekleri görülmektedir. Bu çoklu bağlantı, circRNA'ları mekanistik açıdan ilgi çekici hale getirirken aynı zamanda yorumlamayı zorlaştırmaktadır. Bir circRNA düzeyindeki değişikliğin hastalığı başlatan olay, kompansatuvar yanıt veya ilerleyen nörodejenerasyonun ikincil sonucu olabileceği seçenekleri birbirinden ayrılmalıdır.

Biyobelirteç potansiyeli ve klinik sınırlılıklar

Bir biyobelirteç adayının klinik değeri yalnızca hasta ve kontrol grupları arasında istatistiksel fark göstermesine bağlı değildir. Analitik stabilite, örnekleme kolaylığı, hastalığa özgüllük, duyarlılık, bağımsız kohortlarda tekrarlanabilirlik ve klinik olarak anlamlı bir soruya yanıt verebilme gereklidir. circRNA'ların kapalı halka yapısı ve biyolojik sıvılarda saptanabilmeleri, bu açıdan avantaj sağlayabilir. Periferik kan circRNA çalışmalarında elde edilen farklı ekspresyon profilleri, PH tanısı veya alt gruplandırması için panel yaklaşımının araştırılabileceğini göstermektedir (Ravanidis vd., 2021; Kong vd., 2021; Xiao vd., 2022). Eksozomlar ve diğer ekstrasellüler veziküller, RNA'ların hücreler arası taşınmasında rol oynayabilir ve dolaşımdaki RNA'ları çevresel RNazlardan kısmen koruyabilir. Exosomal circRNA'ların farklı hastalıklarda biyobelirteç olarak araştırılması, PH açısından da ilgi çekici bir çerçeve sunmaktadır (Wang vd., 2019). PH'de eksozomal kodlamayan RNA'lara ilişkin literatür, periferik biyosıvılardaki RNA kargosunun hastalıkla ilişkili bilgi taşıyabileceğini düşündürmektedir (Zhang vd., 2022). Ancak eksozom izolasyonu, vezikül saflığı ve RNA ölçüm yöntemleri laboratuvarlar arasında standardize edilmeden klinik performansın karşılaştırılması güçtür. circRNA biyobelirteç çalışmalarında bir diğer sorun, Parkinson hastalığının biyolojik heterojenliğidir. Monojenik olgular, sporadik PH, farklı motor fenotipler, bilişsel etkilenim ve hastalık progresyon hızları aynı moleküler profile sahip olmayabilir. Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda tek bir 'PH circRNA imzası' aramak yerine klinik ve biyolojik alt grupları dikkate alan tasarımlar daha açıklayıcı olabilir. Ayrıca Alzheimer hastalığı, Lewy cisimcikli demans, multipl sistem atrofisi ve progresif supranükleer palsi gibi ayırıcı tanıda yer alan nörodejeneratif hastalıkların kontrol gruplarına eklenmesi, aday circRNA'ların hastalığa özgüllüğünü değerlendirmek açısından önem taşır. Tanısal kullanımın yanı sıra prognostik ve tedavi yanıtını öngören circRNA imzaları da araştırılabilir. Bunun için kesitsel vaka-kontrol çalışmalarından çok, aynı bireylerin zaman içinde izlendiği longitudinal kohortlara ihtiyaç vardır. Hastalık süresi, levodopa ve diğer dopaminerjik tedaviler, yaş, cinsiyet, komorbiditeler ve örnek alım koşulları gibi değişkenlerin standart biçimde raporlanması gerekir. Mevcut çalışmalar umut verici adaylar üretmiş olsa da, klinik kullanıma hazır bir circRNA testi bulunduğu sonucuna varmak için henüz yeterli doğrulama yoktur.

Terapötik yaklaşımlar ve gelecek perspektifi

circRNA'ların terapötik hedef olarak değerlendirilmesi iki temel strateji üzerinden düşünülebilir: hastalıkla ilişkili olduğu gösterilen bir circRNA'nın azaltılması veya koruyucu işlev taşıyan bir circRNA'nın düzeyinin artırılması.

RNA girişimi, antisens oligonükleotidler (ASO) ve CRISPR tabanlı yaklaşımlar, back-splice junction bölgesini hedefleyerek belirli circRNA'ların daha seçici biçimde baskılanması için teorik ve deneysel olanaklar sunmaktadır. PH deneysel modellerinde circRNA hedefli tedavi yaklaşımlarının gelişimi üzerine yapılan değerlendirmeler, alanın henüz erken aşamada olduğunu ancak hedef özgüllüğü açısından önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir (Titze-de-Almeida ve Titze-de-Almeida, 2023). ASO teknolojisinin farklı hastalıklarda klinik kullanıma girmiş olması, RNA hedefli tedavilerin uygulanabilirliğini göstermektedir; ancak bir circRNA'yı hedeflemek doğrusal konak transkriptin etkilenmemesi açısından özel tasarım gerektirir. Back-splice junction dizisi bu seçicilik için önemli bir hedef olabilir. Buna karşılık terapötik circRNA üretimi, kapalı halka yapısının stabilitesinden yararlanarak protein üretimi veya düzenleyici RNA etkisi oluşturmak amacıyla araştırılmaktadır. RNA tabanlı ilaçların hücre ve dokuya etkin ulaştırılması, immün yanıt, doz kontrolü ve uzun dönem güvenlilik gibi sorunlar bu yaklaşımlar için de geçerlidir. PH'de terapötik circRNA çalışmalarının bir başka sınırlılığı, hangi değişikliğin nedensel olduğunun belirlenmesidir. Hastalık sırasında artan bir circRNA, patolojik süreci güçlendirebileceği gibi hücresel stresi sınırlamaya çalışan kompansatuvar bir yanıt da olabilir. Bu nedenle yalnızca ekspresyon yönüne bakılarak hedef seçmek yeterli değildir. Aday circRNA'nın hücre tipi, subselüler lokalizasyonu, bağlandığı miRNA/proteinler, konak gen üzerindeki etkisi ve nöronal fenotiple ilişkisi birlikte değerlendirilmelidir. İnsan kaynaklı indüklenmiş pluripotent kök hücre modelleri, organoid sistemleri ve uygun hayvan modelleri bu nedensellik sorusunun çözülmesinde önemli araçlar olabilir. Gelecekte çoklu omik verilerin bütünleştirilmesi circRNA araştırmalarını güçlendirebilir. circRNA profillerinin genomik risk varyantları, mRNA/miRNA ekspresyonu, proteomik, metabolomik ve klinik fenotiplerle birlikte analiz edilmesi, tek molekül odaklı yaklaşımlardan daha kapsamlı biyolojik ağların tanımlanmasına olanak sağlayabilir. Bununla birlikte, hesaplamalı olarak oluşturulan ağların deneysel doğrulamayla desteklenmesi temel gerekliliktir. Özellikle beyin dokusu ile periferik kan arasındaki ilişkinin, hücre tipi özgüllüğünün ve hastalığın farklı evrelerindeki dinamik değişimlerin açıklanması, circRNA'ların klinik değerini belirleyecek başlıca araştırma alanlarıdır.

Araştırma boşlukları ve standardizasyon gereksinimi

circRNA araştırmalarında karşılaşılan temel sorunlardan biri, aday moleküllerin adlandırılması ve ölçümünün çalışmalar arasında tam olarak karşılaştırılabilir olmamasıdır. Aynı konak genden birden fazla back-splice junction oluşabildiği için yalnızca konak gen adıyla yapılan tanımlamalar belirli bir circRNA izoformunu ayırt etmekte yetersiz kalabilir. Bu nedenle genomik koordinatların, kullanılan referans genomun, back-splice junction dizisinin ve primer bilgilerinin açık biçimde raporlanması önemlidir. RT-qPCR doğrulamalarında primerlerin halka birleşim bölgesini özgül olarak hedeflemesi, doğrusal transkriptlerden kaynaklanabilecek sinyalin dışlanması ve gerektiğinde RNase R gibi yaklaşımlarla halkasal yapının desteklenmesi sonuçların güvenilirliğini artırır. Ancak RNase R direnci tek başına circRNA kimliğinin kesin kanıtı olarak değerlendirilmemeli; sekans doğrulaması ve uygun negatif kontrollerle birlikte kullanılmalıdır (Kristensen vd., 2019; Chen, 2020). Örnek türü de PH-circRNA çalışmalarında kritik bir değişkendir. Beyin dokusu hastalıkla doğrudan ilişkili hücresel ortamı yansıtsa da çoğunlukla postmortem materyale dayanır ve hastalığın ileri evresini temsil eder. Periferik kan ise tekrarlı örneklemeye olanak verir; buna karşın lökosit alt tiplerinin oranı, sistemik inflamasyon ve ilaç tedavileri ölçülen RNA profilini etkileyebilir. Eksozomal veya diğer ekstrasellüler vezikül kaynaklı RNA analizleri belirli hücresel sinyallerin zenginleştirilmesi açısından avantaj sağlayabilir, fakat izolasyon yöntemlerinin farklılığı yeni bir standardizasyon sorunu oluşturur.

Bu nedenle gelecekte aynı hastadan birden fazla biyolojik örneğin eş zamanlı incelendiği çalışmalar, periferik circRNA değişikliklerinin merkezi sinir sistemi patolojisini ne ölçüde yansıttığını açıklamak açısından değerlidir. Çalışma tasarımında yaş ve cinsiyet eşleştirmesine ek olarak hastalık süresi, Hoehn-Yahr evresi, motor ve non-motor fenotipler, bilişsel durum ve kullanılan ilaçların kaydedilmesi önem taşır. Özellikle PH'nin klinik heterojenliği, küçük örneklemli çalışmalarda gerçek biyolojik sinyallerin hasta grubu içindeki değişkenlik nedeniyle zayıflamasına veya tesadüfi ilişkilerin güçlü görünmesine yol açabilir. Bu nedenle keşif kohortlarında belirlenen adayların aynı analitik yöntemle bağımsız doğrulama kohortlarında test edilmesi ve mümkün olduğunda çok merkezli tasarımların kullanılması gerekir. Ravanidis vd. (2021), Kong vd. (2021) ve Xiao vd. (2022) gibi çalışmalar periferik circRNA araştırmalarına önemli adaylar kazandırmış olmakla birlikte, bu adayların rutin klinik uygulamaya aktarılması için tekrarlanabilirlik temel koşuldur. İşlevsel doğrulama açısından da yalnızca biyoinformatik hedef tahminlerine dayanan circRNA-miRNA-mRNA ağları yeterli değildir. Bir circRNA'nın belirli bir miRNA'yı bağladığını göstermek için moleküler bağlanma deneyleri; hedef gen üzerindeki etkisini göstermek için ekspresyon ve kurtarma deneyleri; PH ile ilişkili fenotipi değerlendirmek için ise nöronal hücre modelleri ve uygun in vivo sistemler gereklidir. Özellikle insan kaynaklı nöronal modeller, hastaya özgü genetik arka planı koruyarak aday circRNA'ların dopaminerjik nöron biyolojisindeki rolünü inceleme fırsatı sunabilir. Böyle bir doğrulama zinciri, korelasyon düzeyindeki adayların gerçekten mekanistik öneme sahip moleküllerden ayrılmasına yardımcı olacaktır. Son olarak circRNA alanının klinik değeri, tek bir molekülün tanısal performansından çok, farklı biyolojik katmanların birlikte değerlendirilmesiyle artabilir. Genetik risk, α-sinüklein ile ilişkili biyobelirteçler, protein ve metabolit profilleri ile circRNA/miRNA verilerinin bütünleştirilmesi, PH'nin heterojen biyolojisini daha iyi temsil eden çok değişkenli modellerin geliştirilmesine olanak sağlayabilir. Bununla birlikte böyle modellerde aşırı uyum, küçük örneklem ve merkezler arası teknik farklılıklar önemli risklerdir. Bu nedenle gelecekteki çalışmaların önceden tanımlanmış analiz planları, yeterli örneklem büyüklüğü, bağımsız doğrulama ve şeffaf veri raporlama ilkeleriyle yürütülmesi, circRNA'ların araştırma düzeyinden klinik değere geçişini belirleyecektir.

SONUÇ

Parkinson hastalığı; genetik yatkınlık, α-sinüklein proteostazı, mitokondriyal işlev bozukluğu, oksidatif stres ve nöroinflamasyonun birbiriyle etkileştiği heterojen bir nörodejeneratif süreçtir. circRNA'lar ise kapalı halka yapıları, görece yüksek stabiliteleri ve sinir sistemindeki zengin ekspresyonları nedeniyle bu karmaşık biyolojinin işleyişinde rol oynayan önemli bir RNA sınıfı olarak öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda PH hastaları ile kontroller arasında circRNA ekspresyon farklılıkları bildirilmiş; bazı circRNA adaylarının hastalıkla ilişkili düzenleyici ağlarda rol oynayabileceği öne sürülmüştür. Bununla birlikte, circRNA ekspresyon düzeylerindeki değişikliklerin PH'nin nedeni, ilerletici bir bileşeni veya nörodejenerasyona verilen ikincil/kompansatuvar yanıt olup olmadığı çoğu circRNA adayı için kesinleşmemiştir. Bu nedenle biyobelirteç veya tedavi hedefi olarak önerilen circRNA'ların geniş ve bağımsız hasta gruplarında doğrulanması; örnekleme ve analiz süreçlerinin standardize edilmesi; hücre tipi özgüllüğünün belirlenmesi ve mekanistik bulguların fonksiyonel deneylerle desteklenmesi gerekmektedir. Bu koşullar sağlandığında circRNA araştırmaları, PH'nin moleküler heterojenliğinin anlaşılmasına ve daha hassas tanısal ya da terapötik stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Chen, L. L. (2020). The expanding regulatory mechanisms and cellular functions of circular RNAs. Nature Reviews Molecular Cell Biology, 21, 475–490.

Hansen, T. B., Jensen, T. I., Clausen, B. H., et al. (2013). Natural RNA circles function as efficient microRNA sponges. Nature, 495, 384–388.

Jeck, W. R., Sorrentino, J. A., Wang, K., et al. (2013). Circular RNAs are abundant, conserved, and associated with ALU repeats. RNA, 19, 141–157.

Kong, F., Lv, Z., Wang, L., et al. (2021). RNA-sequencing of peripheral blood circular RNAs in Parkinson disease. Medicine, 100, e25888.

Kristensen, L. S., Andersen, M. S., Stagsted, L. V. W., et al. (2019). The biogenesis, biology and characterization of circular RNAs. Nature Reviews Genetics, 20, 675–691.

Li, X., Wang, P., Qi, S., et al. (2024). The clinical perspective of circular RNAs in neurodegenerative diseases: Potential diagnostic tools and therapeutic targets. Frontiers in Cellular Neuroscience, 18, 1470641.

Liao, J., Zhang, Q., Huang, J., et al. (2023). The emerging role of circular RNAs in Parkinson's disease. Frontiers in Neuroscience, 17, 1137363.

Luk, K. C., Kehm, V., Carroll, J., et al. (2012). Pathological α-synuclein transmission initiates Parkinson-like neurodegeneration in nontransgenic mice. Science, 338, 949–953.

Memczak, S., Jens, M., Elefsinioti, A., et al. (2013). Circular RNAs are a large class of animal RNAs with regulatory potency. Nature, 495, 333–338.

Polymeropoulos, M. H., Lavedan, C., Leroy, E., et al. (1997). Mutation in the α-synuclein gene identified in families with Parkinson's disease. Science, 276, 2045–2047.

Ravanidis, S., Bougea, A., Karampatsi, D., et al. (2021). Differentially expressed circular RNAs in peripheral blood mononuclear cells of patients with Parkinson's disease. Movement Disorders, 36, 1170–1179.

Schapira, A. H., Cooper, J. M., Dexter, D., et al. (1990). Mitochondrial complex I deficiency in Parkinson's disease. Journal of Neurochemistry, 54, 823–827.

Singleton, A. B., Farrer, M., Johnson, J., et al. (2003). α-Synuclein locus triplication causes Parkinson's disease. Science, 302, 841.

Spillantini, M. G., Schmidt, M. L., Lee, V. M. Y., et al. (1997). α-Synuclein in Lewy bodies. Nature, 388, 839–840.

Titze-de-Almeida, S. S., & Titze-de-Almeida, R. (2023). Progress in circRNA-targeted therapy in experimental Parkinson's disease. Pharmaceutics, 15, 2035.

Wang, Y., Liu, J., Ma, J., et al. (2019). Exosomal circRNAs: Biogenesis, effect and application in human diseases. Molecular Cancer, 18, 116.

Wang, Y., Zhang, J., Yang, Y., et al. (2024). Circular RNAs in human diseases. MedComm, 5, e699.

Xiao, F., He, Z., Wang, S., et al. (2024). Regulatory mechanism of circular RNAs in neurodegenerative diseases. CNS Neuroscience & Therapeutics, 30, e14499.

Xiao, Y., Chen, H., Liao, J., et al. (2022). The potential circular RNAs biomarker panel and regulatory networks of Parkinson's disease. Frontiers in Neuroscience, 16, 893713.

Yang, Y., Fan, X., Mao, M., et al. (2017). Extensive translation of circular RNAs driven by N6-methyladenosine. Cell Research, 27, 626–641.

Zhang, P., Rasheed, M., Liang, J., et al. (2022). Emerging potential of exosomal non-coding RNA in Parkinson's disease: A review. Frontiers in Aging Neuroscience, 14, 819836.

Zhang, X. O., Wang, H. B., Zhang, Y., et al. (2014). Complementary sequence-mediated exon circularization. Cell, 159, 134–147.

Zhang, Y., Chen, Y., Wan, Y., et al. (2021). Circular RNAs in the regulation of oxidative stress. Frontiers in Pharmacology, 12, 697903.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

OKUL ÖNCESİ ÇOCUKLARDA GÜNLÜK MİNERAL ALIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Türkan TİRYAKİ
Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Sağlık Bilimler Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü
ORCID: 0000-0003-4224-9907

Prof. Dr. Yasemin BEYHAN
Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Sağlık Bilimler Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü
ORCID: 0000-0002-4001-1965

ÖZET

Bu çalışmada, okul öncesi dönemdeki çocukların günlük mineral alımlarının değerlendirilmesi ve önerilen günlük alım düzeylerini karşılama durumlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yöntem: Kesitsel tipte planlanan bu çalışmaya 1–5 yaş aralığında toplam 100 çocuk dahil edilmiştir. Çocukların günlük besin tüketimleri değerlendirilerek kalsiyum, fosfor, çinko, magnezyum, selenyum, bakır ve demir alımları belirlenmiştir. Mineral alımları yaş grupları ve cinsiyete göre değerlendirilmiş, önerilen alım düzeylerini karşılama oranları hesaplanmıştır. İstatistiksel analizlerde Mann-Whitney U testi kullanılmış ve $p<0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Bulgular: Çocukların günlük mineral alımlarının genel olarak önerilen düzeyleri karşıladığı belirlenmiştir. Kalsiyum alımının 4–5 yaş grubunda kız çocuklarında %82, erkek çocuklarında %68 oranında önerilen düzeyi karşıladığı görülmüştür. Demir alımının önerilen düzeyi karşılama oranı kızlarda %93, erkeklerde %88 olarak bulunmuştur. Çinko alımı 1–3 yaş grubunda kızlarda %143, erkeklerde %145; 4–5 yaş grubunda ise sırasıyla %127 ve %118 oranında önerilen düzeyi karşılamıştır. Fosfor alımının tüm gruplarda önerilen düzeylerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Mineral alımlarının cinsiyete göre karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmamıştır ($p>0,05$). Sonuç: Okul öncesi çocukların günlük mineral alımları genel olarak yeterli olmakla birlikte, özellikle 4–5 yaş grubunda kalsiyum ve demir alımlarının izlenmesi önem taşımaktadır. Bu dönemde yeterli ve dengeli beslenmeyi destekleyen beslenme eğitimlerinin sürdürülmesi önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Okul öncesi çocuk, mineral alımı, kalsiyum.

EVALUATION OF DAILY MINERAL INTAKE AMONG PRESCHOOL CHILDREN

ABSTRACT

Objective: This study aimed to evaluate the daily mineral intakes of preschool children and determine the extent to which their intakes met recommended levels. Methods: This cross-sectional study included 100 children aged 1–5 years. Daily dietary intake was assessed, and calcium, phosphorus, zinc, magnesium, selenium, copper, and iron intakes were determined. Mineral intakes were evaluated according to age groups and sex, and the percentages meeting recommended intake levels were calculated. The Mann-Whitney U test was used for statistical analysis, with $p<0.05$ considered statistically significant. Results: Overall, daily mineral intakes generally met recommended levels. Calcium intake met 82% of the recommended level in girls and 68% in boys aged 4–5 years. The percentages meeting recommended iron intake were 93% in girls and 88% in boys. Zinc intake met 143% and 145% of the recommended levels in girls and boys aged 1–3 years, respectively, and 127% and 118% in girls and boys aged 4–5 years, respectively.

Phosphorus intake exceeded recommended levels in all groups. No statistically significant differences were found in mineral intakes according to sex ($p>0.05$). Conclusion: Although daily mineral intakes were generally adequate, calcium and iron intakes, particularly among preschool children, should be monitored. Nutrition education supporting adequate and balanced nutrition during this period is recommended.
Keywords: Preschool children, mineral intake, calcium, iron

GİRİŞ

Okul öncesi dönem, büyüme ve gelişmenin hızlı bir şekilde devam ettiği, beslenme alışkanlıklarının şekillendiği ve yaşamın ilerleyen dönemlerine ilişkin sağlık davranışlarının temellerinin atıldığı önemli bir dönemdir. Bu dönemde yeterli ve dengeli beslenmenin sağlanması, çocukların fiziksel büyüme ve gelişmelerinin yanı sıra bilişsel gelişim, bağışıklık sistemi ve genel sağlık durumlarının desteklenmesi açısından önem taşımaktadır (World Health Organization, 2019; Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, 2022). Çocukların beslenmesinde enerji ve makro besin ögelerinin yanı sıra vitamin ve minerallerin yeterli miktarda alınması sağlıklı büyüme ve gelişmenin sürdürülebilmesi için gereklidir (Gropper, Smith ve Carr, 2018).

Mineraller, insan organizmasında çok sayıda biyolojik ve fizyolojik süreçte görev alan temel besin ögeleridir. Kalsiyum ve fosfor, özellikle kemik ve dişlerin oluşumu ve mineralizasyonunda önemli rol oynarken; demir, hemoglobin sentezi ve oksijen taşınması açısından önem taşımaktadır (Gropper, Smith ve Carr, 2018; National Institutes of Health, 2024a). Çinko büyüme, hücre bölünmesi, protein sentezi ve bağışıklık sistemi işlevlerinde rol almakta; magnezyum ise enerji metabolizması, kas ve sinir sistemi işlevlerinin sürdürülmesine katkı sağlamaktadır (National Institutes of Health, 2024b; National Institutes of Health, 2024c). Selenyum, antioksidan savunma sistemi ve tiroid hormon metabolizmasında görev alırken, bakır enerji üretimi, bağ dokusu oluşumu, sinir sistemi ve bağışıklık sistemi işlevlerinde rol oynamaktadır (National Institutes of Health, 2024d; National Institutes of Health, 2024e).

Çocukların mineral gereksinimleri yaşa ve büyüme dönemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu nedenle çocukların günlük mineral alımlarının yaşa özgü önerilen değerler doğrultusunda değerlendirilmesi önemlidir (European Food Safety Authority, 2017). Türkiye Beslenme Rehberi'nde de çocukların yaş ve gelişim dönemlerine uygun yeterli ve dengeli beslenmelerinin sağlanmasının önemi vurgulanmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, 2022). Yetersiz mineral alımı, özellikle büyüme ve gelişmenin hızlı olduğu çocukluk döneminde çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (World Health Organization, 2016).

Demir, çocukluk döneminde özellikle dikkat edilmesi gereken minerallerden biridir. Demir yetersizliği çocuklarda anemi gelişimine neden olabilmekte ve bilişsel gelişim, dikkat ve fiziksel kapasite üzerinde olumsuz sonuçlara yol açabilmektedir (World Health Organization, 2011). Benzer şekilde kalsiyumun yeterli miktarda alınması, çocukluk döneminde kemik mineralizasyonu ve iskelet gelişiminin desteklenmesi açısından önem taşımaktadır (National Institutes of Health, 2024f). Çinko ise çocuklarda büyüme ve gelişme, bağışıklık fonksiyonları ve hücresel süreçlerin sürdürülmesinde önemli bir mikro besin ögesidir (National Institutes of Health, 2024g).

Çocukluk döneminde yalnızca mineral yetersizliklerinin değil, gereksinimin üzerinde alımların da değerlendirilmesi önemlidir. Mineral alımlarının değerlendirilmesinde yaşa özgü önerilen değerlerin yanı sıra tolere edilebilir üst alım düzeylerinin de dikkate alınması, çocukların beslenme durumunun daha doğru şekilde yorumlanmasına katkı sağlamaktadır (European Food Safety Authority, 2017).

Bu nedenle okul öncesi çocukların günlük besin tüketimlerinin değerlendirilmesi ve mineral alımlarının yaşa özgü gereksinimlerle karşılaştırılması, yeterli ve dengeli beslenmenin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.
Bu çalışmada, okul öncesi dönemdeki çocukların günlük mineral alımlarının değerlendirilmesi ve önerilen günlük alım düzeylerini karşılama durumlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca mineral alımlarının yaş grupları ve cinsiyete göre değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Araştırmanın Türü

Bu çalışma, gözlemsel, analitik ve kesitsel araştırma olarak planlanmıştır.

Araştırmanın Yapıldığı Yer ve Zaman

Araştırma, Gaziantep SANKO Üniversitesi Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Polikliniği'nde Eylül 2025-Ocak 2026 tarihleri arasında yürütülmüştür. Araştırmaya ilişkin veriler aynı tarih aralığında toplanmıştır.

Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Araştırmanın evrenini, Eylül 2025-Ocak 2026 tarihleri arasında Gaziantep SANKO Üniversitesi Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Polikliniği'ne başvuran 1–5 yaş arasındaki çocuklar oluşturmuştur. Araştırmaya, belirlenen dahil edilme kriterlerini karşılayan ve ebeveyni tarafından araştırmaya katılımı kabul edilen çocuklar dahil edilmiştir. Araştırmaya son üç ay içerisinde çinko veya multivitamin desteği almamış olan, sistemik kronik hastalığı bulunmayan ve malabsorpsiyon sendromu olmayan çocuklar dahil edilmiştir. Ayrıca çocukların konjenital metabolik hastalıklarının ve akut veya kronik enfeksiyonlarının bulunmamasına dikkat edilmiştir.

Besin Tüketimlerinin Değerlendirilmesi

Çocukların günlük besin tüketimleri, ebeveyn veya bakım verenlerden alınan bilgiler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Besin tüketimlerinin belirlenmesinde çocukların bir günlük besin tüketim kayıtlarından yararlanılmış ve tüketilen besinlerin miktarları değerlendirilmiştir. Çocukların günlük enerji ve besin ögesi alımları BeBİS programı kullanılarak hesaplanmıştır. Günlük besin tüketimlerinden elde edilen kalsiyum, fosfor, çinko, magnezyum, selenyum, bakır ve demir alımları değerlendirilmiştir. Çocukların mineral alımları yaş grupları ve cinsiyete göre incelenmiş ve elde edilen değerler önerilen günlük alım düzeyleri ile karşılaştırılmıştır. Mineral alımlarının önerilen düzeyi karşılama oranları yüzde olarak hesaplanmıştır.

İstatistiksel Analiz

Araştırmadan elde edilen verilerin istatistiksel analizinde uygun tanımlayıcı istatistikler kullanılmıştır. Çocukların mineral alımlarının cinsiyete göre karşılaştırılmasında Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir.

BULGULAR

Araştırmaya 1–5 yaş arasında toplam 100 çocuk dahil edilmiştir. Çocukların günlük mineral alımlarının genel olarak önerilen düzeyleri karşıladığı belirlenmiştir.
Tablo 1'de çocukların cinsiyete göre günlük mineral alımları karşılaştırılmıştır. Kalsiyum alımı hem 1–3 yaş ($p=0,948$) hem de 4–5 yaş grubunda ($p=0,110$) kız ve erkek çocuklar arasında benzer bulunmuştur.

Fosfor alımı açısından da 1–3 yaş (p=0,977) ve 4–5 yaş gruplarında (p=0,580) istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır. Çinko alımı 1–3 yaş grubunda (p=0,925) ve 4–5 yaş grubunda (p=0,498) cinsiyete göre anlamlı farklılık göstermemiştir. Magnezyum alımı hem 1–2 yaş (p=0,274) hem de 3–5 yaş grubunda (p=0,576), selenyum alımı 1–3 yaş (p=0,249) ve 4–5 yaş grubunda (p=0,334), bakır alımı 1–2 yaş (p=0,804) ve 3–5 yaş grubunda (p=0,883) kız ve erkek çocuklarda benzer bulunmuştur. Demir alımı açısından da cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır (p=0,306). Buna göre günlük mineral alımları bakımından incelenen değişkenlerin hiçbirinde kız ve erkek çocuklar arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Mineral alımlarının cinsiyete göre karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmamıştır (p>0,05).

Tablo 1. Çocukların cinsiyete göre günlük mineral alımları

	Kız			**Erkek**			**p**
Mineraller (mg)	**Ort±SS**	**Medyan (En az-En fazla)**	**Önerileni karşılama oranı (%)**	**Ort±SS**	**Medyan (En az-En fazla)**	**Önerileni karşılama oranı (%)**	
Kalsiyum							
1-3 yaş	622,63± 243,39	573,58 (155,62-1376,87)	%138	608,33± 233,37	609,78 (215,07-1611,86)	%135	0,948
4-5 yaş	655,9± 212,44	632,49 (207,06-1124,2)	%82	547,36± 208,63	561,01 (325,49-1074,29)	%68	0,110
Fosfor							
1-3 yaş	781,77± 208,11	734,94 (439,34-1334,13)	%312	779,18± 156,23	734,3 (445,91-1257,93)	%311	0,977
4-5 yaş	857,77± 186,3	853,52 (482,77-1211,08)	%194	851,08± 216,08	796,69 (594,51-1316,4)	%193	0,580
Çinko							
1-3 yaş	6,15± 1,87	6,13 (3,1-11,64)	%143	6,25± 1,59	5,87 (3,15-11,5)	%145	0,925
4-5 yaş	7± 1,81	6,65 (4,15-10,75)	%127	6,5± 2,03	6,32 (3,52-12,37)	%118	0,498
Magnezyum							
1-2 yaş	199,21± 54,38	190,87 (123,54-392,57)	%117	185,84± 49,02	173,55 (123,65-324,76)	%108	0,274
3-5 yaş	215,1± 40,88	204,83 (125,44-291,32)	%93	207,73± 41,66	201,98 (116,75-303,98)	%90	0,576
Selenyum							
1-3 yaş	27,52± 35,83	13,45 (3,08-126,6)	%180	15,6± 17,03	13,45 (0-111,5)	%101	0,249
4-5 yaş	28,59± 40,99	13,45 (0-124,95)	%140	38,25± 46,18	13,86 (0-127,31)	%190	0,334
Bakır							
1-2 yaş	0,92± 0,24	0,9 (0,6-1,63)	%131	0,97± 0,34	0,9 (0,56-1,88)	%138	0,804
3-5 yaş	1,14± 0,3	1,19 (0,59-1,66)	%114	1,16± 0,34	1,19 (0,66-1,85)	%116	0,883
Demir	6,51± 1,67	6,45 (4,02-11,68)	%93	6,17± 1,42	6,04 (3,43-11,31)	%88	0,306

Mann Whitney U testi; Ort: Art. Ortalama; SS: Std. Sapma.

TARTIŞMA

Bu çalışmada 1–5 yaş arasındaki okul öncesi çocukların günlük mineral alımları değerlendirilmiş ve çocukların genel olarak kalsiyum, fosfor, çinko, magnezyum, selenyum, bakır ve demir açısından önerilen düzeyleri karşıladığı belirlenmiştir. Okul öncesi dönem, büyüme hızının devam ettiği ve beslenme alışkanlıklarının şekillendiği önemli bir dönem olduğundan, bu yaş grubunda mikro besin ögesi alımlarının değerlendirilmesi çocukların büyüme ve gelişmesinin desteklenmesi açısından önem taşımaktadır (Gropper, Smith ve Carr, 2018; Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, 2022). Bununla birlikte günlük mineral alımının önerilen düzeyi karşılaması, beslenmenin tüm yönleriyle yeterli ve dengeli olduğunu tek başına göstermemekte; besin çeşitliliği, besinlerin biyoyararlanımı ve çocukların bireysel gereksinimleri de dikkate alınmalıdır (European Food Safety Authority, 2017).

Çalışmamızda özellikle 4–5 yaş grubunda kalsiyum alımının önerilen düzeyi karşılama oranının kız çocuklarında %82, erkek çocuklarında %68 olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, özellikle erkek çocuklarda kalsiyum alımının önerilen düzeyin altında kalabildiğini göstermesi açısından dikkat çekicidir. Kalsiyum, çocukluk döneminde kemik mineralizasyonu ve iskelet gelişimi açısından temel minerallerden biridir. Çocukluk ve adölesan dönemde yeterli kalsiyum alımı, kemik kütlesinin oluşumu ve ilerleyen yaşlarda kemik sağlığının korunması açısından önem taşımaktadır (National Institutes of Health, 2024f). Kalsiyum gereksiniminin karşılanmasında süt ve süt ürünleri önemli kaynaklar olmakla birlikte, bu besinlerin tüketiminin çocuklar arasında değişkenlik gösterebilmesi günlük kalsiyum alımını etkileyebilmektedir (Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, 2022). Bu nedenle özellikle 4–5 yaş grubunda kalsiyumdan zengin besinlerin günlük beslenme örüntüsünde yeterli düzeyde yer alması desteklenmelidir.

Çalışmamızda demir alımının önerilen düzeyi karşılama oranı kız çocuklarında %93, erkek çocuklarında %88 olarak bulunmuştur. Her iki cinsiyette de oranların %100'e yakın olması, araştırma grubundaki çocukların günlük demir alımlarının genel olarak yeterli olduğunu düşündürmektedir. Demir; hemoglobin sentezi, oksijen taşınması, enerji metabolizması ve nörogelişim açısından önemli bir mineraldir (National Institutes of Health, 2024a). Özellikle hızlı büyümenin devam ettiği erken çocukluk döneminde demir gereksiniminin karşılanması önem taşımaktadır. Demir yetersizliği çocukluk döneminde demir eksikliği anemisine yol açabilmekte ve uzun süreli yetersizlik durumunda bilişsel ve davranışsal gelişimi olumsuz etkileyebilmektedir (World Health Organization, 2011). Bu nedenle çalışmamızda demir alımının genel olarak yeterli bulunması olumlu bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte yalnızca günlük demir miktarının değerlendirilmesi, alınan demirin biyoyararlanımını göstermemektedir. Hayvansal kaynaklı hem demirin yanı sıra bitkisel kaynaklı non-hem demirin tüketilmesi ve C vitamini içeren besinlerle birlikte alınması demirin emilimini etkileyebilmektedir (Gropper, Smith ve Carr, 2018).

Çinko alımının 1–3 yaş grubunda kız çocuklarında %143, erkek çocuklarında %145; 4–5 yaş grubunda ise kızlarda %127, erkeklerde %118 oranında önerilen düzeyi karşıladığı belirlenmiştir. Çinko alımının tüm gruplarda önerilen düzeyin üzerinde olması, araştırmaya dahil edilen çocukların günlük beslenmelerinde çinko açısından belirgin bir yetersizlik olmadığını göstermektedir. Çinko; büyüme ve gelişme, hücre bölünmesi, protein sentezi, yara iyileşmesi ve bağışıklık sistemi işlevleri açısından önemli bir mikro besin ögesidir (National Institutes of Health, 2024g). Özellikle çocukluk döneminde büyümenin sürdürülmesi açısından yeterli çinko alımı önemlidir. Bununla birlikte önerilen düzeyin üzerinde alım bulunması tek başına olumsuz bir durum olarak değerlendirilmemelidir. Mineral alımının değerlendirilmesinde önerilen düzeylerin yanı sıra yaşa özgü tolere edilebilir üst alım düzeylerinin de dikkate alınması gerekmektedir (European Food Safety Authority, 2017).

Bu nedenle çalışmamızdaki yüksek çinko alım oranlarının çocukların toplam beslenme örüntüsü ve üst alım sınırlarıyla birlikte değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

Fosfor alımının araştırmadaki tüm gruplarda önerilen düzeylerin üzerinde bulunması da dikkat çekici bir bulgudur. Fosfor; kemik ve diş yapısının yanı sıra ATP aracılığıyla enerji metabolizmasında, hücre membranlarının yapısında ve çeşitli metabolik süreçlerde görev almaktadır (Gropper, Smith ve Carr, 2018). Çocukların günlük beslenmesinde süt ve süt ürünleri, et ve et ürünleri, yumurta, tahıllar ve kurubaklagiller gibi birçok besin fosfor içermektedir. Bu nedenle çeşitli besin gruplarının tüketildiği çocuklarda fosfor alımının önerilen düzeyin üzerine çıkması mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte fosfor açısından yüksek alımın değerlendirilmesinde yalnızca toplam miktarın değil, fosfor-kalsiyum dengesinin ve besin kaynaklarının da dikkate alınması önemlidir.

Çalışmada magnezyum, selenyum ve bakır alımları da değerlendirilmiş ve çocukların günlük mineral alımlarının genel olarak önerilen düzeyleri karşıladığı görülmüştür. Magnezyum enerji metabolizması, kas fonksiyonları ve sinir sistemi işlevlerinde görev alan temel minerallerden biridir (National Institutes of Health, 2024b). Selenyum antioksidan savunma sisteminde ve tiroid hormon metabolizmasında rol oynarken, bakır enerji üretimi, demir metabolizması, bağ dokusu oluşumu ve sinir sistemi işlevlerine katkı sağlamaktadır (National Institutes of Health, 2024c; National Institutes of Health, 2024d). Bu minerallerin günlük beslenme içerisinde yeterli miktarda alınması, çocukların büyüme ve gelişme süreçlerinin desteklenmesi açısından önem taşımaktadır. Bununla birlikte bu minerallerin gereksinimleri düşük miktarlarda olduğundan, günlük tüketimin küçük farklılıkları bile önerilen düzeyi karşılama oranlarında belirgin değişikliklere neden olabilmektedir.

Araştırmada mineral alımlarının cinsiyete göre karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmamıştır ($p>0,05$). Kız ve erkek çocukların mineral alımlarının benzer bulunması, bu yaş grubunda beslenme gereksinimlerinin cinsiyetten çok yaş, büyüme hızı, tüketilen besinlerin çeşitliliği ve bireysel beslenme alışkanlıkları ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte çocukluk döneminde beslenme değerlendirmelerinde cinsiyetin yanı sıra yaş grubu ve büyüme özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, 2022). Çalışmamızda cinsiyete göre anlamlı farklılık bulunmaması, araştırma grubunda mineral alımlarının benzer bir beslenme örüntüsüne sahip olabileceğini düşündürmekle birlikte, bu bulgunun daha geniş örneklemli çalışmalarla desteklenmesi gerekmektedir.

Çalışmamızın önemli bulgularından biri, mineral alımlarının genel olarak yeterli olmasına rağmen bazı mineraller açısından yaş grupları arasında dikkat edilmesi gereken farklılıkların bulunmasıdır. Özellikle 4–5 yaş grubunda kalsiyum alımının önerilen düzeyi tam olarak karşılamaması, okul öncesi çocukların beslenme değerlendirmelerinde yalnızca genel yeterlilik durumunun değil, her bir mineralin ayrı ayrı incelenmesinin gerekliliğini göstermektedir. Benzer şekilde demir alımının önerilen düzeye yakın olması olumlu olmakla birlikte, demirin biyoyararlanımı ve çocukların klinik özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle çocukların beslenme değerlendirmelerinde yalnızca “yeterli” veya “yetersiz” şeklinde genel bir sınıflama yapılması yerine, yaşa özgü gereksinimler ve besin kaynakları dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle çalışmanın kesitsel tasarımda olması nedeniyle mineral alımları ile çocukların uzun dönem büyüme ve sağlık sonuçları arasında nedensel bir ilişki kurulamaz. Ayrıca günlük besin tüketiminin ebeveyn veya bakım verenlerden alınan beyanlara dayanması, hatırlama ve porsiyon miktarlarının doğru tahmin edilememesine bağlı ölçüm yanlılığı oluşturabilir. Tek günlük besin tüketim kaydı, çocukların günlük beslenme alışkanlıklarındaki günler arası değişkenliği tam olarak yansıtmayabilir.

Bunun yanında çalışmanın tek bir sağlık kuruluşunda yürütülmesi ve örneklem büyüklüğünün sınırlı olması sonuçların tüm okul öncesi çocuklara genellenebilirliğini kısıtlayabilir. Buna karşın çalışmada farklı minerallerin birlikte değerlendirilmiş olması, çocukların mikro besin ögesi alımlarına ilişkin bütüncül bir değerlendirme yapılmasına katkı sağlamaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çalışmamızdaki okul öncesi çocukların günlük mineral alımlarının büyük ölçüde önerilen düzeyleri karşıladığı, ancak özellikle 4–5 yaş grubunda kalsiyum alımının dikkatle izlenmesi gerektiği görülmektedir. Bu sonuçlar, okul öncesi dönemde çocukların beslenme durumlarının düzenli olarak değerlendirilmesinin ve özellikle kalsiyum ve demir gibi büyüme ve gelişme açısından önemli minerallerin yeterli alımının desteklenmesinin önemini ortaya koymaktadır. Ailelere yönelik beslenme eğitimlerinde yalnızca enerji ve makro besin ögelerine değil, yaşa özgü mikro besin ögesi gereksinimlerine de yer verilmesi, çocukların yeterli ve dengeli beslenme alışkanlıklarının geliştirilmesine katkı sağlayabilir (Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, 2022).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, okul öncesi çocukların günlük mineral alımlarının genel olarak önerilen düzeyleri karşıladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte özellikle 4–5 yaş grubunda kalsiyum alımının izlenmesi ve yeterli kalsiyum alımının desteklenmesi önem taşımaktadır. Demir alımının her iki cinsiyette de önerilen düzeye büyük ölçüde yaklaştığı, çinko alımının ise önerilen düzeylerin üzerinde olduğu görülmüştür.

Okul öncesi çocukların yeterli ve dengeli beslenmelerinin sağlanması amacıyla ailelere yönelik beslenme eğitimlerinin sürdürülmesi önerilmektedir. Beslenme eğitimlerinde özellikle süt ve süt ürünleri, et ve et ürünleri, yumurta, kuru baklagiller, sebze ve meyveler gibi farklı besin gruplarının dengeli tüketilmesinin önemi vurgulanmalıdır (Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, 2022). Çocukların günlük besin tüketimlerinin düzenli olarak değerlendirilmesi ve yaşa özgü mineral gereksinimlerinin dikkate alınması, yeterli ve dengeli beslenmenin sürdürülmesine katkı sağlayacaktır (European Food Safety Authority, 2017).

KAYNAKLAR

European Food Safety Authority (EFSA). (2017). Dietary reference values for nutrients: Summary report. EFSA Supporting Publications, 14(12), e15121. https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121

Gropper, S. S., Smith, J. L., & Carr, T. P. (2018). Advanced nutrition and human metabolism (7th ed.). Cengage Learning.

National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. (2024). Calcium: Fact sheet for health professionals. National Institutes of Health.

National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. (2024). Copper: Fact sheet for health professionals. National Institutes of Health.

National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. (2024). Iron: Fact sheet for health professionals. National Institutes of Health.

National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. (2024). Magnesium: Fact sheet for health professionals. National Institutes of Health.

National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. (2024). Selenium: Fact sheet for health professionals. National Institutes of Health.

National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. (2024). Zinc: Fact sheet for health professionals. National Institutes of Health.

Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (2022). Türkiye Beslenme Rehberi (TÜBER) 2022. Ankara: Sağlık Bakanlığı.

World Health Organization. (2011). Guideline: Intermittent iron supplementation in preschool and school-age children. Geneva: World Health Organization. ISBN 978-92-4-150200-9.

World Health Organization. (2016). Guideline: Use of multiple micronutrient powders for point-of-use fortification of foods consumed by infants and young children aged 6–23 months and children aged 2–12 years. World Health Organization.

World Health Organization. (2019). Guidelines on physical activity, sedentary behaviour and sleep for children under 5 years of age. Geneva: World Health Organization.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

DİŞ HEKİMLİĞİ ALANINDA YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ ÇALIŞMALARININ KARŞILAŞTIRMALI BETİMSEL ANALİZİ

Doç. Dr. Kübra DEĞİRMENCİ
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı
ORCID: 0000-0001-6429-4923

ÖZET

Amaç: Diş hekimliği alanında oral yapıların, materyallerin ve okluzal kuvvetlerin değerlendirilmesini yapan sonlu elemanlar analizi araştırmalarının bilimsel profilini sunan güncel bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, diş hekimliği alanındaki sonlu elemanlar analizi araştırmalarının betimsel analizini yaparak planlanacak araştırmalar için dikkate edilecek unsurlarla ilgili bilgi sunabilmektir.

Gereç ve Yöntem: Web of Science bilimsel veri tabanında "dentistry oral surgery medicine" kategorisinde 2021-2025 yılları arasında Science Citation Index Expanded dergilerde yayınlanan, 792 araştırma diş hekimliği konularına göre 8 farklı gruba ayrıldı. Ayrıca araştırmaların yayınlandıkları yıl, yayınlandıkları bilimsel derginin çeyreklik dilimi ve aldıkları atıf sayıları kaydedildi. Verilerin betimsel analizleri yapıldı. Araştırmada yıl, derginin çeyreklik dilimi ve bilimsel araştırma konularına göre oluşturulan grupların atıf sayısı verilerinin değerlendirilmesinde Kruskall-Wallis testi ve ikili karşılaştırmalar için Bonferroni düzeltmesi kullanıldı. Makalenin araştırma konusu ile yayınlandığı derginin çeyreklik derecesi arasındaki ilişki Goodman and Kruskal's Tau katsayısı ile incelendi.

Bulgular: Sonlu elemanlar analizi araştırmalarının sayısının 2021 yılından 2025 yılına kadar geçen dönemde %13,6 dan %33,5 e kadar artış gösterdiği belirlendi. 2021 ve 2023 yılları arasındaki grupların atıf sayılarında anlamlı farklılık görülmezken ($p>0,05$), 2025 yılı grubundaki atıf sayısının diğer gruplardan anlamlı derecede düşük olduğu belirlendi ($p<0,001$). Bilimsel konulara bakıldığında ortodonti ile cerrahi ve periodontoloji karşılaştırmasında anlamlı farklılık görülürken ($p=0,001$), diğer ikili karşılaştırmalar arasında anlamlı farklılık görülmedi ($p>0,05$). Bilimsel dergilerin çeyreklik dilimlerine göre karşılaştırma yapıldığında Q1 grubunun atıf sayısının diğer gruplardan anlamlı derecede yüksek olduğu tespit edildi ($p<0,05$). Goodman ve Kruskal Tau katsayısı incelendiğinde makalelerin araştırma konusu bilgisinin, o makalenin yayınlanacağı derginin bilimsel çeyreklik dilimini tahmin etmedeki hata payını %6,6 oranında azaltabildiği belirlendi (tau = 0,066; $p < 0,001$).

Sonuç: Sonlu elemanlar analizi ile ilgili araştırmaların Q1 dergilerde yayınlanma ihtimali daha yüksektir ve derginin Q1 diliminde olması yayının atıf alma ihtimali üzerinde etkilidir. Araştırmanın konusuna bakılarak yayınlanacağı derginin bilimsel çeyreklik dilimi %6,6 azalan hata payı ile tahmin edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sonlu elemanlar analizi, betimsel analiz, araştırma eğilimleri, bilimsel yayınlar, atıf analizi

COMPARATIVE DESCRIPTIVE ANALYSIS OF FINITE ELEMENT STUDIES IN THE DISCIPLINE OF DENTISTRY

ABSTRACT

Objective: There is no current study presenting the scientific profile of finite element analysis (FEA) research in dentistry evaluating oral structures, materials, and occlusal forces. The aim of this study is to provide a descriptive analysis of dentistry field and to present information regarding factors to be considered for future research.

Materials and Methods: 792 studies published in Science Citation Index Expanded journals in the "dentistry oral surgery medicine" category of the Web of Science scientific database between 2021 and 2025 were divided into 8 different groups according to their dental topics. The year of publication, the quartile of the journal in which they were published, and the number of citations received were also recorded. Descriptive analyses of the data were performed. The Kruskal-Wallis test and Bonferroni correction for pairwise comparisons were used to evaluate the citation data of the groups formed according to year, journal quartile, and scientific research topic. The relationship between research topics and journal quartiles was examined via Goodman and Kruskal's Tau coefficient.

Results: The proportion of finite element analysis studies rose from 13.6% to 33.5% between 2021 and 2025. Citations remained stable between 2021 and 2023 ($p>0.05$) but dropped significantly in 2025 ($p<0.001$). Across scientific topics, a significant difference emerged only when comparing orthodontics with surgery and periodontology ($p=0.001$; other pairs: $p>0.05$). Q1 journals exhibited significantly higher citation rates than others ($p<0.05$).Goodman and Kruskal's Tau coefficients indicated that knowing the research topic improves the predictability of its journal quartile by 6.6% ($\tau = 0.066$, $p < 0.001$).

Conclusion: Finite element analysis studies are more likely to be published in Q1 journals, and the journal's quartile influences the likelihood of the publication receiving citations. Based on the topic, a journal's quartile can be predicted with 6.6% less error.

Keywords: Finite element analysis, descriptive statistics, research trends, scientific publications, citation analysis.

GİRİŞ

Sonlu elemanlar analizi araştırmaları, temel olarak mühendislik bilimsel alanına dayanan ve farklı bilimsel alanlarda uygulanabilen çalışmalar olarak multidisipliner yapıya sahiptir. Sonlu elemanlar analizi karmaşık geometrik yapıları düğüm noktalarıyla birbirine bağlanan daha küçük, ayrık elemanlara bölen bilgisayar tabanlı bir sayısal yöntem olarak yapıların biyomekanik değerlendirilmesinin bilgisayar ortamında yapılabilmesini sağlar (Xie ve ark.,2024). Dolayısıyla, tıp ve diş hekimliği alanlarında da yapılması planlanan klinik tedavilerin biyomekanik değerlendirmeleri sonlu elemanlar analizleri ile kolaylıkla yapılabilir. Klinik çalışmalar ile incelemesi zor ve vakit alacak olan tedavi yöntemlerinin etkilerini biyomekanik olarak inceleme imkanı sunduğu için diş hekimliği bilim alanında giderek daha çok sonlu elemanlar analizi araştırmaları yapıldığı görülmektedir (Trivedi,2014).Yapılan araştırmalarda sonlu elemanlar analizi yöntemi ile ağız içi kuvvetlerin, farklı materyallerin, mekanik uygulamaların değerlendirilmesi ile beraber, farklı klinik durumların ağız ve çevre dokularına etkileri de hızlıca değerlendirilerek in vitro araştırmalara göre daha kısa sürede bilgi elde edilebilmektedir (Lisiak-Myszke ve ark., 2020).

Sonlu elemanlar analizi araştırmalarına diş hekimliği bilim alanındaki bilimsel dergilerin ilgisi de son dönemde artmıştır.

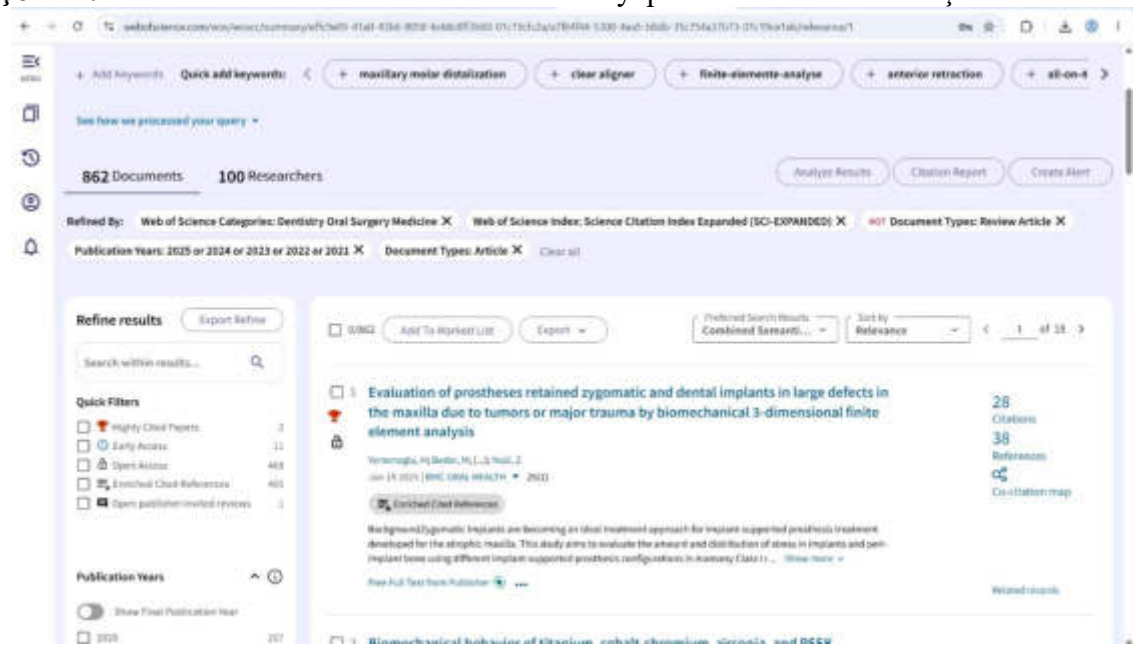
Yapılan güncel bir bibliyometrik analiz araştırmasında, sonlu elemanlar analizi ile ilgili diş hekimliği bilim alanında 2.800'den fazla bilimsel belgenin yayınlandığı ve son yirmi yılda bu konudaki araştırmaların arttığı bildirilmiştir (Xie ve ark.,2024). Sonlu elemanlar analizi araştırmaları diş hekimliğinin implantoloji, restoratif diş hekimliği, cerrahi uygulamalar ve ortodonti gibi çeşitli uzmanlık alanlarında uygulanabilmektedir (Shivakumar ve ark.,2021). Bu araştırmalarda anizotropik kemik modellemesi, dinamik kuvvetler gibi ağız ortamını taklit eden parametrelerin uygulanmasında sınırlamalar olmasına rağmen, stres dağılımını ve yüke bağlı görülebilen sonuçlarda ortak sonuçlar elde edilebildiği görülmüştür (Azhdari ve ark.,2026). Sonlu elemanlar analizi yöntemi, restorasyonlardaki tüberküllerde görülen defleksiyonun, kompozitlerdeki polimerizasyon büzülmesi stresinin ve indirekt restorasyonlardaki stres dağılımını incelemek için de kullanılmaktadır (Ouldyerou ve ark.,2023; Aliberti ve ark.,2026). Benzer şekilde, endodontik tedavi uygulamalarında; dişlerdeki stres dağılımı, kırılma direnci, sıcaklık değişimleri ve dento-alveolar yapılardaki stres dağılımlarının da incelemelerinde sonlu elemanlar yöntemleri başarı ile kullanılmaktadır (Abdelhafeez,2024; Atif ve ark.,2026).

Sonlu elemanlar analizi ile ilgili diş hekimliğinde farklı uzmanlık alanlarında başarılı araştırmalar, derleme çalışmaları olmasına rağmen, bu konuda araştırma yapmayı planlayan bir araştırmacının çalışmasının yayınlanacak bilimsel değere sahip olabilmesi ve atıf alabilmesi için nelere dikkat etmesi gerektiği ile ilgili düzenlenmiş yeterli bilgi bulunmamaktadır. Sonlu elemanlar analizi araştırmalarına ilginin çok fazla olmasından dolayı bu konuda literatürün güncel bir halinin değerlendirilmesinin bu konuda araştırma yapacak bilim insanlarına faydalı olacağı görülmektedir. Bu araştırmanın amacı, diş hekimliği alanında yüksek etki değerine sahip bilimsel dergilerin sonlu elemanlar analizi ile ilgili tutumunu bilimsel temelli olarak değerlendirerek araştırmacılara yeni planlanacak araştırmalar için fikirler sunabilmektir. Bu araştırmanın birinci sıfır hipotezi araştırmaların yayın yılı ile atıf sayısı arasında anlamlı farklılık yoktur, ikinci sıfır hipotezi araştırmaların konusu ile atıf sayısı arasında anlamlı farklılık yoktur ve üçüncü sıfır hipotezi ise araştırmaların yayınlandıkları dergilerin bilimsel çeyreklik derecesi ile atıf sayısı arasında anlamlı farklılık yoktur şeklindedir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu araştırmada Web of science bilimsel veri tabanında, 2021-2025 yılları arasında Dentistry oral surgery medicine kategorisi seçilerek, "finite element analysis" araması ile science citation expanded indexed kapsamındaki bilimsel dergilerde yayınlanan orijinal araştırmaların değerlendirilmesi yapıldı. Aramada elde edilen "https://www.webofscience.com/wos/woscc/citation-report/effc9e05-41a0-43b6-8058-6c68c8ff3b60-01c19cfc2a?sort=relevance&page=15" linkteki 862 tane makaleye ulaşıldı (Figür 1.).

Şekil 1. Web of Science bilimsel veri tabanında yapılan arama sonucu ulaşılan makaleler.



Bu makalelerin ön incelemesi sırasında derleme, bibliyometrik analiz olan araştırmalar ve sonlu elemanlar yöntemini kullanmadan stres analizi yapan araştırmalar dışlanarak 58 farklı bilimsel dergide yayınlanan toplam 792 tane araştırma incelenmeye dahil edildi. Araştırmalar online olarak yayınlandıkları 2021 ve 2025 yılları arasındaki yıl gruplarına göre sınıflandırıldı. Ayrıca, makalelerin yayınlandıkları bilimsel dergilerin çeyreklik derecelerine göre sınıflamaları yapıldı. Her bir araştırmanın web of science üzerinden aldıkları atıf sayıları kaydedildi. Makalelerin başlıkları ile özetleri değerlendirilerek araştırdıkları konulara göre diş hekimliği alanı ile ilgili 8 farklı araştırma konusuna göre gruplandırmaları da yapıldı (Tablo 1.).

Tablo 1. Araştırmadaki makalelerin sınıflamaları için bilimsel konulara göre hazırlanan kategoriler.

Kategori Grubu	**Araştırma Konusu**
Dental İmplant: 1	Dental implant,implant üstü yapılar ve implant çevresini değerlendiren araştırmalar
Ortodonti: 2	Ortodontik tedaviler ve çevre dokulara olan etkileri değerlendiren araştırmalar
Restoratif Materyal ve Diş: 3	Restoratif materyaller, simanlar, materyallerin mekanik özelliklerini ve ortodontik olmayan diş hareketlerini değerlendiren araştırmalar
Endodonti: 4	Endodontik tedavilerin, endodontik aletlerin ve diş köküne olan etkilerini değerlendiren araştırmalar
Cerrahi ve Periodontoloji: 5	Greft uygulamaları, iyileşme, cerrahi fiksasyon uygulamaları, sinus lift ve temporomandibular ekleme yapılan müdahelelerin etkilerini değerlendiren araştırmalar
Bruksizm: 6	Gece plaklarının etkilerini değerlendiren araştırmalar
Pedodonti: 7	Pedodontik diş hareketleri ve travma altındaki diş hareketlerini değerlendiren araştırmalar
Çene Yüz Protezleri: 8	Çene yüz protezi uygulamalarını ve çene yüz bölgesini değerlendiren araştırmalar

Elde edilen bilimsel makalelerin betimsel analizi yapıldı. Tanımlayıcı istatistikler ve analizler için SPSS (IBM, Version 27) paket programı kullanıldı. Bilimsel makalelerin yıllara, yayınlandıkları dergilerin çeyreklik dilimlerine, bilimsel araştırma konularına göre dağılımları için tanımlayıcı istatistikler elde edildi. Araştırmada yıl, derginin çeyreklik dilimi ve bilimsel araştırma konularına göre oluşturulan grupların atıf sayısı verilerinin normallik dağılımına Shapiro-Wilk testi ile bakıldı ve verilerin normal dağılmadığı görüldü ($p<0,001$). Grup karşılaştırmaları için Kruskall-Wallis testi ve ikili karşılaştırmalar için Bonferroni düzeltmesi yapıldı. Ayrıca makalenin ait olduğu bilimsel araştırma konu grubu ile yayınlandığı derginin çeyreklik derecesi arasındaki ilişki, tahmin hatasındaki oransal azalmayı belirlemek için Goodman and Kruskal's Tau asimetrik ilişki katsayısı ile incelendi.

BULGULAR

"Finite element analysis" terimi ile yapılan web of science taramasında 2021-2025 yılları arasında 862 makalenin başlıkları ve özetleri değerlendirildikten sonra sonlu elemanlar analizi ile ilgili olan, 58 farklı SCI (Science-Citation Indexed) bilimsel dergide sayfa numarası alarak yayım sürecini tamamlayan toplam 792 tane araştırmanın yayınlandığı görüldü (Tablo 2).

Tablo 2. Bilimsel dergilerde yayınlanan makale sayısı.

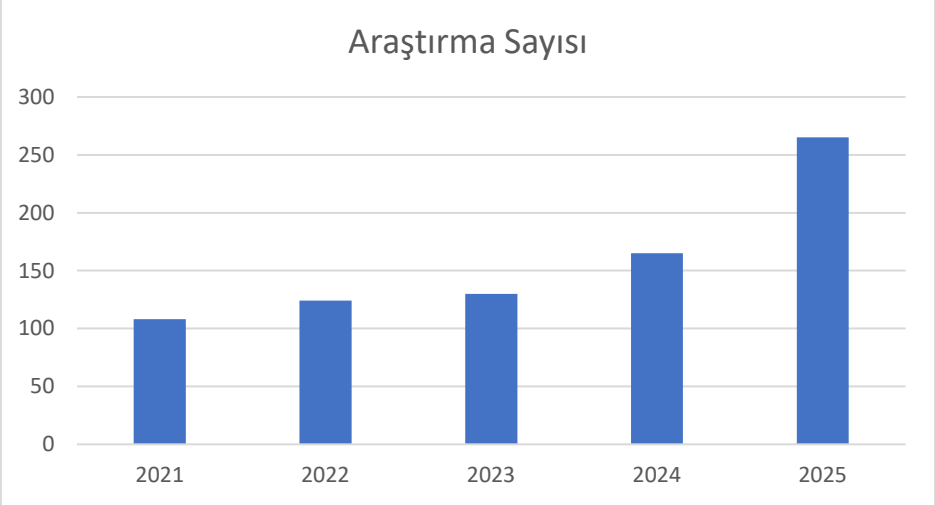
Bilimsel Dergi Adı	**Makale Sayısı**
BMC ORAL HEALTH	155
DENTAL MATERIALS	67
JOURNAL OF PROSTHETIC DENTISTRY	63
JOURNAL OF STOMATOLOGY ORAL AND MAXILLOFACIAL SURGERY	43
AMERICAN JOURNAL OF ORTHODONTICS AND DENTOFACIAL ORTHOPEDICS	43
CLINICAL ORAL INVESTIGATIONS	34
JOURNAL OF PROSTHODONTICS-IMPLANT ESTHETIC AND RECONSTRUCTIVE DENTISTRY	30
JOURNAL OF ENDODONTICS	27
INTERNATIONAL JOURNAL OF ORAL & MAXILLOFACIAL IMPLANTS	26
PROGRESS IN ORTHODONTICS	24
DENTAL MATERIALS JOURNAL	22
JOURNAL OF PROSTHODONTIC RESEARCH	19
JOURNAL OF DENTAL SCIENCES	18
DENTAL TRAUMATOLOGY	17
JOURNAL OF ORAL IMPLANTOLOGY	16
INTERNATIONAL JOURNAL OF PROSTHODONTICS	15
ORTHODONTICS & CRANIOFACIAL RESEARCH	14
ODONTOLOGY	11
JOURNAL OF OROFACIAL ORTHOPEDICS-FORTSCHRITTE DER KIEFERORTHOPADIE	11
INTERNATIONAL DENTAL JOURNAL	10

KOREAN JOURNAL OF ORTHODONTICS	9
JOURNAL OF CRANIO-MAXILLOFACIAL SURGERY	9
CLINICAL IMPLANT DENTISTRY AND RELATED RESEARCH	8
AUSTRALIAN ENDODONTIC JOURNAL	8
JOURNAL OF ESTHETIC AND RESTORATIVE DENTISTRY	8
JOURNAL OF ADVANCED PROSTHODONTICS	8
JOURNAL OF CLINICAL PEDIATRIC DENTISTRY	7
HEAD & FACE MEDICINE	6
JOURNAL OF DENTISTRY	6
BRITISH JOURNAL OF ORAL & MAXILLOFACIAL SURGERY	6
INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTERIZED DENTISTRY	6
MEDICINA ORAL PATOLOGIA ORAL Y CIRUGIA BUCAL	5
EUROPEAN JOURNAL OF ORAL SCIENCES	5
BRAZILIAN ORAL RESEARCH	5
EUROPEAN JOURNAL OF ORTHODONTICS	4
CLEFT PALATE CRANIOFACIAL JOURNAL	4
SEMINARS IN ORTHODONTICS	4
AMERICAN JOURNAL OF DENTISTRY	4
JOURNAL OF ADHESIVE DENTISTRY	4
INTERNATIONAL JOURNAL OF ORAL AND MAXILLOFACIAL SURGERY	3
INTERNATIONAL JOURNAL OF IMPLANT DENTISTRY	3
ORAL SURGERY ORAL MEDICINE ORAL PATHOLOGY ORAL RADIOLOGY	3
JOURNAL OF ORAL AND MAXILLOFACIAL SURGERY	3
AUSTRALASIAN ORTHODONTIC JOURNAL	3
ARCHIVES OF ORAL BIOLOGY	3
ANGLE ORTHODONTIST	2
QUINTESSENCE INTERNATIONAL	2
INTERNATIONAL JOURNAL OF ORAL SCIENCE	2
JOURNAL OF DENTAL RESEARCH	2
INTERNATIONAL JOURNAL OF PERIODONTICS & RESTORATIVE DENTISTRY	2
CLINICAL ORAL IMPLANTS RESEARCH	2
INTERNATIONAL ENDODONTIC JOURNAL	1
AUSTRALIAN DENTAL JOURNAL	1
INTERNATIONAL JOURNAL OF PAEDIATRIC DENTISTRY	1

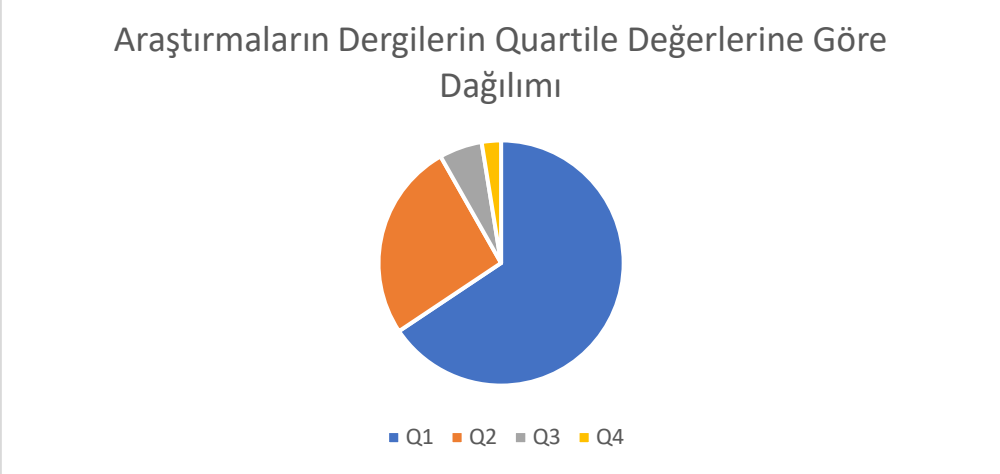
ORAL RADIOLOGY	1
JOURNAL OF ORAL REHABILITATION	1
CRANIO-THE JOURNAL OF CRANIOMANDIBULAR & SLEEP PRACTICE	1
JOURNAL OF APPLIED ORAL SCIENCE	1

Araştırmaların 108 (%13,6) tanesinin 2021 yılında, 124 (%15,7) tanesinin 2022 yılında, 130 (%16,4) tanesinin 2023 yılında, 165 (%20,8) tanesinin 2024 yılında ve 265 (%33,5) tanesinin 2025 yılında yayınlandığı görüldü. Sonlu elemanlar analizi araştırmalarının sayısının yıllar içinde %13,6 dan %33,5'e kadar artış gösterdiği belirlendi (Grafik 1). Araştırmaların yayınlandığı dergilerin çeyreklik derecelerine göre değerlendirmesi yapıldığında 520 (%65,7) tane yayının Q1 dergide, 207 (%26,1) tane yayının Q2 dergide, 45 (%5,7) tane yayının Q3 dergide ve 20 (%2,5) tane yayının Q4 dergide yayınlanmış olduğu tespit edildi (Grafik 2).

Grafik 1. Yıllara göre yayınlanan sonlu elemanlar analizi çalışmalarının sayısının dağılımı.



Grafik 2. Araştırmaların yayınlandıkları dergilerin quartile derecelerine göre dağılımı.



Araştırmaların başlıkları ve özetleri değerlendirildikten sonra konularına göre yapılan 8 farklı araştırma konusu sınıflaması ile yayınlandıkları bilimsel dergilerin çeyreklik değerlerine göre makale sayıları belirlendi (Tablo 3).

Araştırmaların atıf sayıları yayınların yayınlandıkları yıl gruplarına, araştırma konu gruplarına ve yayınlandıkları dergilerin bilimsel çeyreklik değerlerine göre verilerin Shapiro-Wilk testleri ile değerlendirilmesi yapıldığında normallik varsayımının sağlanmadığı görüldü (p<0,001). Bundan dolayı, atıf sayılarının gruplar arası değerlendirilmelerinde anlamlı farklılık gösterip göstermemesi Kruskall-Wallis testi ile ikili karşılaştırmalar ise Bonferroni düzeltmesi ile yapıldı.

Atıf sayılarının yıl gruplarına göre karşılaştırılması Kruskall-Wallis testine göre incelendiğinde anlamlı farklılık olduğu belirlendi (p<0,001, Tablo 4). Yıl gruplarına göre atıf değerleri karşılaştırıldığında 2021 ve 2022 grupları arasında, 2022 ve 2023 grupları arasında, 2021 ile 2023 grupları arasında ikili karşılaştırmalarda anlamlı farklılık bulunmamaktadır (sırasıyla p=0,990, p=0,732 ve p=0,751). Bununla beraber, 2024 ile 2025 yılı karşılaştırmasında (p<0,001), 2025 ile 2023 karşılaştırmasında (p<0,001), 2025 ile 2021 karşılaştırmasında (p<0,001), 2025 ile 2022 karşılaştırmasında(p<0,001), 2024 ile 2023 karşılaştırmasında (p<0,001), 2024 ile 2021 karşılaştırmasında (p<0,001), 2024 ile 2022 karşılaştırmasında (p<0,001) anlamlı farklılıklar olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Araştırmaların araştırma konuları sınıflaması ile yayınlandıkları bilimsel dergilerin çeyreklik değerlerine göre sıklık değerleri.

Araştırma Konusu	**Bilimsel Dergilerin Çeyreklik Değerleri**				**Toplam**
	Q1	**Q2**	**Q3**	**Q4**	
Dental İmplant	144 (%64,3)	63 (%28,1)	2 (%0,9)	15 (%6,7)	224 (%100)
Ortodonti	101 (%56,1)	57 (%31,7)	22 (%12,2)	0 (%0)	180 (%100)
Restoratif Materyal ve Diş	136 (%83,4)	15 (%9,2)	8 (%4,9)	4 (%2,5)	163 (%100)
Endodonti	79 (%78,2)	12 (%11,9)	10 (%9,9)	0 (%0)	101 (%100)
Cerrahi ve Periodontoloji	33 (%40,2)	47 (%57,3)	2 (%2,4)	0 (%0)	82 (%100)
Bruksizm	13 (%61,9)	7 (%33,3)	1 (%4,8)	0 (%0)	21 (%100)
Pedodonti	10 (%66,7)	5 (%33,3)	0 (%0)	0 (%0)	15 (%100)
Çene Yüz Protezleri	4 (%66,7)	1 (%16,7)	0 (%0)	1 (%16,7)	6 (%100)
Toplam	520 (%100)	207 (%100)	45 (%100)	20 (%100)	

Tablo 4. Makalelerin yayınlandıkları yıl gruplarına göre atıf sayılarının karşılaştırması.

Yıl	**Atıf Değerleri**		**P değeri***
	Ort.± Std.Sp.	**Ortanca (Min.-Max.)**	
2021	12,44±11,42	8 (0-67)[a]	**<0,001**
2022	13,44±15,39	8,50 (0-109)[a]	
2023	11,22±10,30	9 (0-80)[a]	
2024	5,81±5,84	4 (0-36)[b]	
2025	2,69±7,28	1 (0-107)[c]	

*Kruskall-Wallis testi sonucunu gösteren p değeri, p<0,05 anlamlıdır.

a,b,c farklı üstel harfler Bonferroni düzeltmesi ile yapılan ikili karşılaştırmalara göre gruplar arası anlamlı farklılığı göstermektedir.

Atıf sayılarının araştırma konu gruplarına göre karşılaştırılması Kruskall-Wallis testine göre incelendiğinde anlamlı farklılık olduğu belirlendi (p=0,005, Tablo 5). Araştırma konusu gruplarına göre atıf değerleri karşılaştırıldığında gruplar arasında anlamlı farklılık belirlenmiştir (p=0,005). Branş gruplarına göre atıf değerleri karşılaştırıldığında cerrahi ve periodontoloji ile ortodonti kategorileri arasında anlamlı farklılık belirlenmiştir (p=0,001). Diğer branşların ikili karşılaştırmaları arasında anlamlı farklılık görülmemektedir (p>0,05).

Tablo 5. Atıf sayılarının araştırma konu gruplarına göre karşılaştırılması.

Araştırma Konu Grupları	**Atıf Değerleri**		**P değeri**
	Ort.± Std.Sap.	**Ortanca (Min.-Max).**	
Dental İmplant	7,01±7,87	4 (0-47)[a,b]	**0,005**
Ortodonti	9,20±10,85	5,5 (0-67)[a]	
Restoratif Materyal ve Diş	8,86±15,57	4 (0-109)[a,b]	
Endodonti	8,37±10,71	5 (0-67)[a,b]	
Cerrahi ve Periodontoloji	4,44±5,85	2 (0-32)[b]	
Bruksizm	6,05±5,35	4 (0-17)[a,b]	
Pedodonti	7,53±7,96	6 (0-27)[a,b]	
Çene Yüz Protezleri	3,17±3,43	1,50 (0-8)[a,b]	

*Kruskall-Wallis testi sonucunu gösteren p değeri, p<0,05 anlamlıdır.
a,b,c farklı üstel harfler Bonferroni düzeltmesi ile yapılan ikili karşılaştırmalara göre gruplar arası anlamlı farklılığı göstermektedir.

Atıf sayılarının dergilerin bilimsel çeyreklik değer gruplarına göre karşılaştırılması Kruskall-Wallis testi ile değerlendirildiğinde anlamlı farklılık olduğu tespit edildi (p<0,001, Tablo 6). Q1 grubu ile Q2 grubu arasında, Q1 grubu ile Q3 grubu arasında ve Q1 grubu ile Q4 grubu arasında anlamlı farklılıklar belirlenmiştir (sırasıyla p<0,001, p=0,007 ve p=0,013). Diğer grupların ikili karşılaştırmaları arasında anlamlı farklılık yoktur (p>0,05).

Tablo 6. Atıf sayılarının yayınların dergilerin bilimsel çeyreklik derecesi gruplarına göre karşılaştırılması.

Dergilerin Bilimsel Çeyreklik Derecesi	**Atıf Değerleri**		**P değeri**
	Ort.± Std.Sap.	**Ortanca (Min.-Max.)**	
Q1	9,02±11,88	5 (0-109)[a]	**<0,001**
Q2	5,43±8,06	3 (0-67)[b]	
Q3	5,38±6,89	3 (0-33)[b]	
Q4	4,20±5,11	2 (0-18)[b]	

*Kruskall-Wallis testi sonucunu gösteren p değeri, p<0,05 anlamlıdır.
a,b,c farklı üstel harfler Bonferroni düzeltmesi ile yapılan ikili karşılaştırmalara göre gruplar arası anlamlı farklılığı göstermektedir.

Makalenin yayınlandığı derginin bilimsel çeyreklik derecesinin atıf alma potansiyeli üzerinde etkisi olduğu için, makalenin araştırma konusu ile derginin çeyreklik derecesi arasındaki ilişkiyi değerlendirebilmek için bilimsel çeyreklik derecesi bağımlı değişken olarak kabul edilerek ve ki kare ön değerlendirmesinde 5 ten az beklenen değerlerin % 0 olabilmesi için Q3 ile Q4 grupları birleştirilerek korelasyon bakıldı.

Pearson ki-kare testi anlamlı çıktığı (p<0,001) için Lambda katsayısı yığılmalı dağılımlarda hata azaltımını sıfıra yakın hesaplama eğilimindeyken, tablonun genel dağılım varyansını (marjinal olasılıkları) hesaba kattığı için Goodman ve Kruskal Tau değerlendirmesi ile inceleme yapıldı.

Yapılan analiz sonucunda, araştırma konusu ile derginin bilimsel çeyreklik derecesi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmıştır (tau = 0,066; p < 0,001) (Tablo 7). Elde edilen katsayı değerine göre, makalelerin araştırma konusu bilgisine sahip olunduğunda, o makalenin yayınlanacağı derginin bilimsel çeyreklik derecesini (Q1-Q4) tahmin etmedeki hata payının %6,6 oranında azaldığı (oransal hata azaltımı) belirlendi. Makalelerin bilimsel konusunun, yayınlanabileceği bilimsel derginin bilimsel çeyreklik derecesini tahmin etmede istatistiksel açıdan anlamlı ve açıklayıcı bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Diğer açıdan, derginin bilimsel çeyreklik derecesi bilindiğinde branşı tahmin etme gücü daha zayıf kalarak hatayı yalnızca %2,1 oranında azalttığı belirlendi. Bu durum, araştırma konusu değişkeninin dergi bilimsel çeyreklik derecesi üzerinde daha belirleyici bir asimetrik etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 7. Değişkenlerin birbirini tahmin etme gücüne ilişkin Goodman ve Kruskal Tau analizi

	Bağımlı Değişken	Değer (Tau)	Asemptotik Standart Hata	P değeri
Goodman and Kruskal tau	Yayınlandığı derginin quartile derecesi	,066	,015	**<0,001***
	Araştırma konusu branş	,021	,005	**<0,001***

*p <0 ,001; Not: Anlamlılık testleri Pearson Ki-Kare yaklaşımına dayanmaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada diş hekimliği bilim alanında sıklıkla uygulanan sonlu elemanlar analiz yöntemi ile ilgili bilimsel makaleler incelendi. Etki değeri yüksek dergilerdeki bilimsel makalelerin verileri değerlendirilerek bu alanda literatürün güncel bir değerlendirmesi yapıldı. Bu araştırmada kurulan birinci sıfır hipotezi araştırmaların yayın yılı ile atıf sayısı arasında anlamlı farklılık yoktur hipotezi reddedildi. Çünkü yıllar geçtikçe bilimsel yayınların atıf alma sayısında anlamlı bir artış olduğu görüldü. Bu araştırmada elde edilen sonuç atıf üretiminin 12 yılda yaklaşık iki katına çıktığını gösteren önceki bir araştırma ile tutarlılık göstermektedir (Petersen ve ark.,2014). Bilimsel bir yayının literatürdeki ömrü ve zaman geçtikçe daha çok araştırmacıya ulaşması görünürlüğünü etkileyerek atıf dağılımı üzerinde yılların etkili olmasını göstermektedir (Yin ve Wang, 2017). Bu araştırmada literatürde üç yılını tamamlamış makale gruplarının atıf değerleri arasında anlamlı farklılık görülmemektedir. Bu bulgu, üç yıllık sürenin yayınların uzun vadeli etkisini kabul edilebilir seviyede öngörebildiği ve erken atıf sayısının tahmininde önemli bir süre olduğunu bildiren araştırma sonucu ile tutarlılık göstermektedir (Stegehuis ve ark.,2015). Atıf eğilimlerini incelemek bilim alanındaki bibliyometrik dinamikleri anlayarak planlanacak araştırmalara önemli fikirler sağlayacağı için araştırmaların konusuna göre atıf sayısının nasıl etkilendiğini de anlamak önemlidir. Bu araştırmanın ikinci hipotezi olan araştırmaların konusu ile atıf sayısı arasında anlamlı farklılık yoktur hipotezi de reddedildi.

Bu araştırmada ortodonti kategorisinin cerrahi ve periodontoloji kategorisinden daha çok atıf aldığı görülürken diğer bilimsel kategori grupları arasında anlamlı farklılık görülmemesi alanın yayın potansiyeli, bilimsel konuya olan güncel ilgi, bilimsel derginin görünürlüğü ve disiplinler arası etkileşimden etkilenebildiği için bu farklılık görülebilmektedir (Higham ve ark.,2017; Petersen,2019). Bundan dolayı, ortodonti kategorisinin daha yüksek atıf değerleri göstermesi çalışmaların bilimsel niteliğinin yanı sıra ortodonti alanındaki yayın sayısı, alanlar arası atıf ilişkileri ve bilimsel derginin görünürlüğü üzerinde etkili olan çeyreklik değeri de dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

Bu araştırmada bilimsel dergilerin çeyreklik değerinin atıf verileri üzerine etkisi değerlendirildiğinde, araştırmaların yayınlandıkları dergilerin bilimsel çeyreklik derecesi ile atıf sayısı arasında anlamlı farklılık yoktur şeklinde kurulan üçüncü sıfır hipotezi reddedilmektedir. Q1 dergi grubu diğer gruplara göre atıf değerlerinde anlamlı derecede yüksek değerler göstermiştir. Bu farklılıkta Q1 dergilerde yapılan yayın sayısının diğer gruplardan daha fazla olması, daha geniş akademik kitlelere erişebilmesi ve dergiler arasındaki etkileşimin önemli rol oynadığı düşünülebilir. Araştırmanın bu bulgusu yayınların kısa dönemde atıf performansını açıklamada dergi etki faktörünün önemli bir etken olduğunu bildiren araştırma ile uyumluluk göstermektedir (Stegehuis ve ark.,2015). Diğer yandan araştırmacıların sonlu elemanlar ile ilgili araştırmalarını öncelikli olarak etki faktörü daha yüksek olan Q1 dergilerde yayınlatmak istemesi ve Q4 dergilerden önce Q1 dergilere makalelerini göndermeleri de makale sayısının Q1 dergilerde daha fazla olmasının nedeni olabilir.

Atıf birikimi genellikle makalenin yayımlanmasının hemen ardından değil; makale belirli bir süre bilimsel veri tabanında bulunduğunda en yüksek düzeyine ulaşır ve daha sonra azalma eğilimine girer (Petersen ve ark., 2014). Dolayısıyla bu araştırmada, güncel atıf değerlendirmesinin yapılabilmesi için makalelerin hem yayım sürecini tamamlamış olması hem de atıf alabilecek kadar bir süre geçebilmesi için 2026 yılı dahil edilmeden 2021-2025 tarihleri arası dikkate alındı. Ayrıca, yayın sayısındaki artış ve araştırma alanlarının genişlemesi, önceki çalışmaların atıf alma olasılığını da artırabilmektedir. Bununla beraber, bilimsel yayın sayısındaki hızlı artış, araştırmacıların ilgili tüm çalışmaları takip etmesini güçleştirdiği için makalelere ayrılan akademik dikkatin zamanla azalmasına yol açmaktadır (Parolo ve ark.,2015). Dolayısıyla bir makalenin atıf sayısındaki artış, hem çalışmaya yönelen akademik ilgiyi hem de bilimsel literatürün genel büyümesini yansıtan çok boyutlu bir süreç olarak değerlendirilebilir (Higham ve ark.,2017; Yin ve Wang,2017).

Diş hekimliğindeki sonlu elemanlar analizi araştırmalarının farklı alt alanlara yayıldığı ve atıf dinamiklerinin yalnızca bir branşa indirgenemeyeceği görülmektedir (Xie ve ark.,2024). Bu araştırmanın sonucunda da atıf alma etkisi üzerinde araştırmanın yapıldığı branşın belirgin bir etkisi olmadığı görülmektedir. Bu bulgu, literatürdeki implantoloji, protetik, ortodonti, endodonti ve materyal odaklı sonlu elemanlar çalışmalarının ortak bir bilgi tabanı oluşturduğunu; atıf sayısının ise atıfların branştan çok uzmanlaşma, dergi etkisi ve işbirliği gibi etkenlerle ilişkili olduğunu gösteren bulgular ile tutarlılık göstermektedir (Fiorillo ve ark.,2026; Foster ve ark.,2026).

Bu araştırmada farklı branşlardaki makaleler arasında anlamlı farklılık bulunmaması 2024 tarihinde 2383 kaydı değerlendiren araştırmada bildirilen en çok atıf alan yayınların, implant, diş hareketi, materyal, endodonti ve restorasyon gibi farklı dental başlıklara dağıldığını bildiren ve atıf alınma potansiyelinin tek bir uzmanlık alanına özgü olmadığını sunan bulgu ile tutarlılık göstermektedir (Xie ve ark.,2024).

Benzer şekilde, en çok atıf alan 100 adet sonlu elemanlar analizi araştırmasını değerlendiren bir araştırmada sonlu elemanlar araştırmalarının implant biyomekaniği, protetik yapı ve tasarımına odaklanmasına rağmen; ortodonti, endodonti ve rejeneratif biyomateryaller ile bağlantılı disiplinler arası katkıların arttığı bildirilmiştir (Fiorillo ve ark.,2026).

Diş hekimliği alanındaki yayınlarda diş hekimliğinin farklı branşlarının dikkat çekme ve atıf alma potansiyelinin benzer olduğu görülmesine rağmen, bunu doğrudan karşılaştırmalı değerlendiren ve istatiksel sonuçlar ile değerlendiren güncel bir çalışma henüz bulunmamaktadır (Xie ve ark.,2024; Fiorillo ve ark.,2026; Foster ve ark.,2026). Bu araştırmanın sonucuna göre, bir araştırmanın konusu dikkate alınarak yayınlanacağı derginin çeyreklik dilimini ve atıf alma potansiyelini tahmin etmedeki yanılma payının %6,6 oranında azalabildiği görülmektedir. Bu bilgi doğrultusunda sonlu elemanlar analizi ile ilgili araştırma yapacak ve diş hekimliği alanındaki bilimsel dergileri hedef alan araştırmacılar bu yanılma payı ile beraber, tahminde etkili olabilecek derginin yoğunluğu, derginin son dönemde dikkate aldığı yayınların konusu, hazırlanan araştırmanın bilimsel niteliği gibi diğer faktörleri de dikkate alarak bir öngörü de bulunabilir. Araştırmanın bu bulgusu, makale konusu, erken atıflar, dergi etkisi ve bibliyometrik göstergelerin birlikte kullanılmasının uzun dönemli atıf etkisi ve uygun dergi seçimi tahminlerini geliştirdiğini gösteren araştırmalar ile tutarlılık içindedir (Macri ve ark.,2023; Wang ve ark.,2020; Stegehuis ve ark.,2015). Makalelerin atıf potansiyeli dinamiklerinin bu tür analizler ile incelenerek bibliyometrik göstergelerle hesaplanması yeni araştırmalar planlama sürecinde araştırmacılara bilimsel bir zemin sunması açısından önemlidir (Costas ve ark., 2010).

Bu araştırmada son beş yıldaki sonlu elemanlar araştırmaları değerlendirilerek güncel bilimsel profil elde edilebilmesine rağmen bazı limitasyonlar bulunmaktadır. Bu limitasyonlar, araştırmada tek bir veri tabanının değerlendirilmesi, sadece İngilizce dilindeki araştırmaların dahil edilmesi ve farklı bilimsel indekslerde taranan bilimsel dergilerin incelenmemesidir. İleri araştırmalarda farklı bilimsel veri tabanlarının, farklı dillerdeki makalelerin ve farklı bilimsel indekslerdeki dergilerin değerlendirmeye dahil edildiği karşılaştırmalı çalışmalar ile daha ileri bilgiler elde edilerek daha detaylı bilimsel profil oluşturulabilecektir. Bu araştırmadaki limitasyonlara rağmen aşağıdaki sonuçlar elde edilebilmektedir:

1. Sonlu elemanlar analizi ile ilgili yapılan araştırmalar yıllar geçtikçe artış göstermektedir ve bu konudaki araştırmalara ilginin devam edeceği görülmektedir.
2. Sonlu elemanlar analizi ile ilgili araştırmaların Q1 dergilerde yayınlanma ihtimali daha yüksektir.
3. Diş hekimliği alanındaki farklı uzmanlıklarda yapılan sonlu elemanlar analizi bilimsel araştırmaları atıf alma konusunda benzer etkiye sahiptir.
4. Araştırmanın yayınlandığı derginin bilimsel çeyreklik derecesinin Q1 olması yayının atıf alma ihtimali üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir.
5. Makalelerin araştırma konusu bilgisine sahip olunduğunda, %6,6 oranında azalan hata payı ile o makalenin yayınlanacağı derginin bilimsel çeyreklik derecesi tahmin edilebilmektedir.

KAYNAKLAR

Abdelhafeez, M. M. (2024). Applications of finite element analysis in endodontics: A systematic review and meta-analysis. Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences, 16(Suppl 3), S1977.

Aliberti, A., Caggiano, M., Piscopo, M., Gasparro, R., Cernera, M., Armogida, N. G., & Ausiello, P. (2026). Finite element analysis in polymer-based adhesive dental restorations: a narrative review on material behavior, methodological validity, and clinical relevance. Polymers, 18(5), 580.

Atif, M., Tewari, N., Reshikesh, M., Chanda, A., Mathur, V. P., & Morankar, R. (2024). Methods and applications of finite element analysis in dental trauma research: A scoping review. Dental Traumatology, 40(4), 366-388.

Azhdari, M., Kamrava, M., Rezazadeh, G., Pathak, R., Schulze-Späte, U., Ricken, T., & Seyedpour, S. M. (2025). From mechanical models to clinical reality: a systematic review of finite element advances in dental implant design, biomechanics, and optimization. Materials Today Communications, 114314.

Costas, R., Van Leeuwen, T. N., & Van Raan, A. F. (2010). Is scientific literature subject to a 'Sell-By-Date'? A general methodology to analyze the 'durability'of scientific documents. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 61(2), 329-339.

Fiorillo, L., Flores-Fraile, J., Caravelli, A., Heboyan, A., Alarcón-Sánchez, M. A., Milone, D., & Galletti, C. (2026). Finite Element in Dentistry: A Review and Bibliometric Analysis. Prosthesis, 8(7), 79.

Foster, J. G., Rzhetsky, A., & Evans, J. A. (2015). Tradition and innovation in scientists' research strategies. American sociological review, 80(5), 875-908.

Higham, K. W., Governale, M., Jaffe, A. B., & Zülicke, U. (2017). Unraveling the dynamics of growth, aging and inflation for citations to scientific articles from specific research fields. Journal of Informetrics, 11(4), 1190-1200.

Lisiak-Myszke, M., Marciniak, D., Bieliński, M., Sobczak, H., Garbacewicz, Ł., & Drogoszewska, B. (2020). Application of finite element analysis in oral and maxillofacial surgery—A literature review. Materials, 13(14), 3063.

Macri, C., Bacchi, S., Teoh, S. C., Lim, W. Y., Lam, L., Patel, S., ... & Chan, W. (2023). Evaluating the ability of open-source artificial intelligence to predict accepting-journal impact factor and eigenfactor score using academic Article abstracts: Cross-sectional machine learning analysis. Journal of medical Internet research, 25, e42789.

Ouldyerou, A., Mehboob, H., Mehboob, A., Merdji, A., Aminallah, L., Mukdadi, O. M., ... & Junaedi, H. (2023). Biomechanical performance of resin composite on dental tissue restoration: A finite element analysis. PloS one, 18(12), e0295582.

Parolo, P. D. B., Pan, R. K., Ghosh, R., Huberman, B. A., Kaski, K., & Fortunato, S. (2015). Attention decay in science. Journal of Informetrics, 9(4), 734-745.

Petersen, A. M., Pan, R. K., Pammolli, F., & Fortunato, S. (2019). Methods to account for citation inflation in research evaluation. Research Policy, 48(7), 1855-1865.

Petersen, A. M., Fortunato, S., Pan, R. K., Kaski, K., Penner, O., Rungi, A., ... & Pammolli, F. (2014). Reputation and impact in academic careers. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(43), 15316-15321.

Shivakumar, S., Kudagi, V. S., & Talwade, P. (2021). Applications of finite element analysis in dentistry: A review. Journal of International Oral Health, 13(5), 415-422.

Stegehuis, C., Litvak, N., & Waltman, L. (2015). Predicting the long-term citation impact of recent publications. Journal of informetrics, 9(3), 642-657.

Trivedi, S. (2014). Finite element analysis: A boon to dentistry. Journal of oral biology and craniofacial research, 4(3), 200-203.

Wang, M., Jiao, S., Zhang, J., Zhang, X., & Zhu, N. (2020). Identification high influential articles by considering the topic characteristics of articles. IEEE Access, 8, 107887-107899.

Xie, B., Zhang, L., Wang, Y., Chu, Y., & Lu, Y. (2025). Finite element analysis in the Dental Sciences: A Bibliometric and a Visual Study. International Dental Journal, 75(2), 855-867.

Yin, Y., & Wang, D. (2017). The time dimension of science: Connecting the past to the future. Journal of Informetrics, 11(2), 608-621.

İMMATÜR DİŞLERDE MTA İLE PULPOTOMİ SONRASI APEKSOGENEZİSİN SAĞLANMASI: 2 OLGU SUNUMU

Arş. Gör. Huriye İŞCİ ULUIŞIK
Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0001-2966-7913

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜNAL
Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı
ORCID: 0000-0001-9111-6962

ÖZET

AMAÇ: Bu olgu sunumunun amacı, kök gelişimi tamamlanmamış daimi dişlerde Mineral Trioxide Aggregate (MTA) kullanılarak yapılan pulpotominin klinik ve radyografik sonuçlarını ve tedavi sonrasında kök gelişiminin devam ederek apeksogenezisin tamamlanmasını 2 olgu üzerinden değerlendirmektir.

OLGU 1: Sistemik olarak sağlıklı 8 yaşındaki erkek hasta, sağ alt posterior bölgede ağrı şikâyeti ile kliniğimize başvurmuştur. Yapılan klinik ve radyografik değerlendirmede, immatür mandibular sağ birinci daimi molar dişte (46 numaralı diş) derin dentin çürüğü saptanmıştır.

OLGU 2: Sistemik olarak sağlıklı 8 yaşındaki kız hasta, sol alt posterior bölgede ağrı şikâyeti ile kliniğimize başvurmuştur. Yapılan klinik ve radyografik değerlendirmede, immatür mandibular sol birinci daimi molar (36 numaralın diş) dişte derin dentin çürüğü gözlemlenmiştir.

Her iki hasta da spontan ve gece ağrısı bulunmadığını, ağrının yalnızca uyaranla ortaya çıktığını ve analjezik kullanımı sonrasında geçtiğini ifade etmiştir.Klinik muayenede apse, sinüs yolu gibi herhangi bir patolojik bulguya rastlanmamıştır. Radyografik incelemede ise periapikal radyolusensi ya da kök rezorpsiyonu gözlenmemiştir. Perküsyon ve palpasyon testleri negatif olarak belirlenmiştir. Dişler rubber-dam ile izole edildikten sonra çürük dokular uzaklaştırılmış, pulpa ekspozu sonrasında giriş kaviteleri hazırlanmış ve pulpanın vital olduğu belirlenmiştir. Kanal ağızları biyouyumlu bir materyal olan MTA ile kapatılmış; birinci olguda diş kompozit restorasyonla, ikinci olguda paslanmaz çelik kronla (PÇK) restore edilmiştir.

BULGULAR: Düzenli kontroller sonucunda birinci olguda 12., ikinci olguda 24. ayda kök gelişiminin tamamlandığı görülmüştür. Her iki hastada da klinik ve radyografik semptom saptanmamış olup kontroller devam etmektedir.

SONUÇ: Bu olgu serisi uygun vakalarda MTA ile yapılan pulpotominin immatür daimi dişlerin tedavisinde konservatif ve başarılı bir tedavi seçeneği olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimler: MTA, Pulpotomi, İmmatür daimi diş, Apeksogenezis

APEXOGENESIS ACHIEVED AFTER PULPOTOMY WITH MTA IN IMMATURE TEETH: 2 CASE REPORTS

ABSTRACT

OBJECTIVE: The aim of this case report is to evaluate the clinical and radiographic results of pulpotomy using Mineral Trioxide Aggregate (MTA) in permanent teeth with incomplete root development, and the continuation of root development and completion of apexogenesis after treatment, through two cases.

CASE 1: An 8-year-old male patient, systemically healthy, presented to our clinic with a complaint of pain in the lower right posterior region. Clinical and radiographic evaluation revealed deep dentin caries in the immature mandibular right first permanent molar (tooth 46).

CASE 2: An 8-year-old female patient, systemically healthy, presented to our clinic with a complaint of pain in the lower left posterior region. Clinical and radiographic evaluation revealed deep dentin caries in the immature mandibular left first permanent molar (tooth 36).

Both patients reported that they did not experience pain spontaneously or at night, that the pain only occurred with stimuli, and that it subsided after taking analgesic medication. Clinical examination revealed no pathological findings such as abscesses or sinus tracts. Radiographic examination showed no periapical radiolucency or root resorption. Percussion and palpation tests were negative. After isolating the teeth with a rubber dam, carious tissues were removed, access cavities were prepared after pulp exposure, and the pulp was determined to be vital. The root canals were sealed with MTA, a biocompatible material; in the first case, the tooth was restored with a composite restoration, and in the second case, with a stainless steel crown (SSC).

RESULTS: Regular follow-ups showed that root development was complete at 12 months in the first case and at 24 months in the second case. Neither patient showed any clinical or radiographic symptoms, and follow-ups are ongoing.

CONCLUSION: This case series suggests that pulpotomy with MTA may be a conservative and successful treatment option for immature permanent teeth in suitable cases.

Keywords: MTA, Pulpotomy, Immature permanent tooth, Apexogenesis

BİRİNCİ DAİMİ MOLAR DİŞLERİN ÇEKİMİ SONRASI İKİNCİ DAİMİ MOLAR DİŞLERİN SPONTAN MEZİALİZASYONU: İKİ YILLIK TAKİPLİ BİR OLGU SUNUMU

Arş. Gör. Huriye İŞCİ ULUIŞIK
Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0001-2966-7913

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜNAL
Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı
ORCID: 0000-0001-9111-6962

ÖZET

GİRİŞ: Birinci daimi molar dişler erken erüpsiyonları, karmaşık oklüzal anatomileri ve oral ortama uzun süre maruz kalmaları nedeniyle, diş çürüğüne, yapısal bozulmaya daha yatkındır. Dolayısıyla birinci daimi molar dişlerin tedavi planlamasında, uzun dönem prognozun kötü olduğu, restoratif yada endodontik tedavilerin başarısız olacağının düşünüldüğü durumlarda, ekstraksiyon tedavi seçenekleri arasında değerlendirilmelidir.

AMAÇ: Bu olgu sunumunun amacı, kötü prognozlu immatür birinci daimi molar dişlerin çekimini takiben, ikinci daimi molar dişlerde meydana gelen spontan mezializasyonu klinik ve radyografik bulgular ışığında değerlendirmektir.

OLGU SUNUMU: Bu olgu sunumunda, 9 yaşında sistemik olarak sağlıklı erkek hasta diş ağrısı nedeniyle kliniğimize başvurmuştur. Hasta üst çenesinde spontan ağrılarının olduğunu ve ağrısının ağrı kesicilerle geçmediğini söylemiştir. Hastanın klinik ve radyografik muayenesi sonucunda sağ birinci daimi molar (16 numaralı diş) ve sol birinci daimi molar (26 numaralı diş) dişlerde derin dentin çürükleri olduğu öğrenilmiştir. 16 ve 26 numaralı dişlerde perküsyon ve palpasyon testleri pozitif, yapılan vitalite testi de negatif bulunmuştur. 16 ve 26 numaralı dişlerin kök gelişimleri tamamlanmamış ve prognozları kötü olduğu için bu dişlerin çekimine karar verilmiştir. Çekim kararında, sağ üst ikinci daimi molar (17 numaralı diş) ve sol üst ikinci daimi molar (27 numaralı diş) dişlerin gelişim evreleri ile angulasyonlarının spontan mezializasyon için uygun olması ve sağ üst üçüncü daimi molar ve sol üst üçüncü daimi molar diş germlerinin olması belirleyici olmuştur. Ayrıca diğer tüm dişlerin tedavileri yapılıp, hastaya oral hijyen eğitimi verilmiştir. 2 yıllık takip sonunda 17 ve 27 numaralı dişlerin spontan mezialize olduğu, hastanın okluzal kapanışının sınıf 1 olduğu ve ark bütünlüğünün korunduğu gözlemlenmiştir.

SONUÇ: Restorasyonu mümkün olmayan üst birinci daimi molar dişlerinin uygun zamanda çekilmesi, komşu ikinci daimi molar dişlerinin spontan mezializasyonuna olanak sağlayarak ark bütünlüğünün korunmasına katkıda bulunabilir.

Anahtar Kelimeler: Birinci daimi molar, Diş çekimi, Spontan mezializasyon, İkinci daimi molar

SPONTANEOUS MESIALIZATION OF SECOND PERMANENT MOLARS FOLLOWING EXTRACTION OF FIRST PERMANENT MOLARS: A CASE REPORT WITH TWO-YEAR FOLLOW-UP

ABSTRACT

INTRODUCTION: First permanent molars are more susceptible to caries and structural damage due to their early eruption, complex occlusal anatomy, and prolonged exposure to the oral environment. Therefore, in the treatment planning of first permanent molars, extraction should be considered among the treatment options when the long-term prognosis is poor and restorative or endodontic treatments are expected to fail.

OBJECTIVE: The aim of this case report is to evaluate spontaneous mesialization in the second permanent molar following extraction of an immature first permanent molar with a poor prognosis, in light of clinical and radiographic findings.

CASE REPORT: In this case report, a 9-year-old male patient, systemically healthy, presented to our clinic with a complaint of toothache. The patient stated that he had spontaneous pain in his upper jaw and that the pain did not subside with analgesics. Clinical and radiographic examination revealed deep dentin caries in the right first permanent molar (tooth 16) and the left first permanent molar (tooth 26). Percussion and palpation tests were positive for both teeth, while the vitality test was negative. Extraction of teeth 16 and 26 was decided upon due to incomplete root development and poor prognosis. The decision to extract was also made because of the developmental stages and angles suitable for spontaneous mesialization of the upper right second permanent molar (tooth 17) and the upper left second permanent molar (tooth 27), and the presence of embryos in the upper right and upper left third permanent molars. All other teeth were treated, and the patient received oral hygiene education. After a 2-year follow-up, spontaneous mesialization was observed in teeth 17 and 27, the patient's occlusal bite was Grade 1, and arch integrity was preserved.

CONCLUSION: Timely extraction of irreparable upper first permanent molars can contribute to preserving the integrity of the dental arch by allowing spontaneous mesialization of adjacent second permanent molars.

Keywords: First permanent molar, Tooth extraction, Spontaneous mesialization, Second permanent molar

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

112 ACİL SAĞLIK HİZMETLERİ ÇALIŞANLARINDA MESLEKİ KAS-İSKELET SİSTEMİ YAKINMALARI: FONKSİYONEL ETKİLENME VE REHABİLİTASYON HİZMETİNE ERİŞİMİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali Niyazi KURTCEBE
Gölbaşı Devlet Hastanesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon
ORCID: 0000-0002-5396-8141

Uğur ŞAKAR
Dışkapı Yıldırım Beyazıt Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Acil Tıp
ORCID: 0000-0003-2790-3827

ÖZET

Amaç: Bu çalışmada, 112 Acil Sağlık Hizmetleri çalışanlarında kas-iskelet sistemi yakınmalarının sıklığı ve anatomik dağılımının belirlenmesi, yakınmaların fonksiyonel etkileri ile fizik tedavi ve rehabilitasyon hizmetlerine erişimin değerlendirilmesi ve ilişkili mesleki ve bireysel faktörlerin araştırılması amaçlandı.

Gereç ve Yöntem: Kesitsel, tanımlayıcı ve analitik olarak yürütülen çalışmaya 112 Acil Sağlık Hizmetlerinde aktif görev yapan 17 çalışan dahil edildi. Sosyodemografik ve mesleki özellikler araştırmacılar tarafından hazırlanan veri toplama formuyla, kas-iskelet sistemi yakınmaları ise Nordic Kas-İskelet Sistemi Anketi ile değerlendirildi. Son 12 aydaki yakınmalar, aktivite kısıtlanması ve son yedi gündeki yakınmalar dokuz anatomik bölge için sorgulandı. İlişkilerin değerlendirilmesinde Fisher excat testi ve Mann–Whitney U testi kullanıldı.

Bulgular: Katılımcıların ortanca yaşı 36 yıl, 112'de ortanca çalışma süresi 15 yıldı. Tüm katılımcılar (%100) son 12 ayda en az bir bölgede kas-iskelet sistemi yakınması bildirdi. En sık etkilenen bölgeler boyun (%82,4), bel (%70,6), omuz (%70,6) ve üst sırt (%64,7) idi. Katılımcıların %70,6'sında yakınmalara bağlı aktivite kısıtlanması bulunurken, %29,4'ü fizik tedavi ve rehabilitasyon hizmeti almıştı. Aktivite kısıtlanması olanların yalnızca %33,3'ü rehabilitasyon hizmetine ulaşmıştı. On beş yıl ve üzeri 112 deneyimi olanlarda son yedi gündeki yakınma daha sıktı (p=0,015). Hasta transferi sırasında sıklıkla/her zaman fiziksel zorlanma hissedenlerin tamamında boyun yakınması vardı (p=0,029).

Sonuç: Bu çalışmada 112 çalışanlarında kas-iskelet sistemi yakınmalarının yaygın olduğu ve önemli düzeyde fonksiyonel etkilenmeyle birlikte seyrettiği görüldü. Rehabilitasyon hizmetlerinden yararlanmanın sınırlı olması dikkat çekiciydi. Örneklem büyüklüğü nedeniyle ilişkisel bulgular hipotez üretici olarak değerlendirilmeli; daha geniş örneklemli çalışmalarla desteklenmelidir.

Anahtar Kelimeler: 112 acil sağlık hizmetleri, kas-iskelet sistemi yakınmaları, Nordic Kas-İskelet Sistemi Anketi, mesleki maruziyet, rehabilitasyon

OCCUPATIONAL MUSCULOSKELETAL COMPLAINTS AMONG 112 EMERGENCY HEALTH SERVICE PERSONNEL: EVALUATION OF FUNCTIONAL IMPAIRMENT AND ACCESS TO REHABILITATION SERVICES

ABSTRACT

Objective: This study aimed to determine the frequency and anatomical distribution of musculoskeletal complaints among 112 Emergency Medical Services (EMS) personnel, evaluate their functional impact and access to physical therapy and rehabilitation services, and investigate associated occupational and individual factors.

Materials and Methods: This cross-sectional, descriptive, and analytical study included 17 healthcare professionals actively working in 112 Emergency Medical Services. Sociodemographic and occupational characteristics were assessed using a data collection form developed by the researchers, while musculoskeletal complaints were evaluated using the Nordic Musculoskeletal Questionnaire. Complaints during the previous 12 months, related activity limitations, and complaints during the previous seven days were assessed across nine anatomical regions. Fisher's exact test and the Mann–Whitney U test were used for statistical analyses.

Results: The median age of the participants was 36 years, and the median duration of employment in 112 Emergency Medical Services was 15 years. All participants (100%) reported a musculoskeletal complaint in at least one anatomical region during the previous 12 months. The most frequently affected regions were the neck (82.4%), lower back (70.6%), shoulders (70.6%), and upper back (64.7%). Activity limitation related to musculoskeletal complaints was reported by 70.6% of participants, whereas 29.4% had received physical therapy and rehabilitation services. Among participants with activity limitations, only 33.3% had received rehabilitation services. Complaints during the previous seven days were more frequent among participants with ≥15 years of EMS experience (p=0.015). All participants who frequently or always perceived physical strain during patient transfer reported neck complaints (p=0.029).

Conclusion: Musculoskeletal complaints were common among 112 EMS personnel and were accompanied by substantial functional limitations. Utilization of rehabilitation services was relatively limited. Given the small sample size, the observed associations should be considered hypothesis-generating and require confirmation in larger studies.

Keywords: emergency medical services, musculoskeletal complaints, Nordic Musculoskeletal Questionnaire, occupational exposure, rehabilitation

GİRİŞ

Kas-iskelet sistemi yakınmaları, sağlık çalışanlarında mesleki maruziyetlerle ilişkili önemli sağlık sorunları arasında yer almaktadır. Acil sağlık hizmetleri çalışanları ise hastane öncesi bakımın kendine özgü koşulları nedeniyle bu açıdan özellikli bir grubu oluşturmaktadır. Hasta kaldırma ve taşıma, sedyenin yüklenmesi ve indirilmesi, ekipmanların taşınması, dar alanlarda çalışma ve acil müdahale sırasında uygun olmayan vücut pozisyonlarının sürdürülmesi gibi görevler kas-iskelet sistemi üzerindeki fiziksel yükü artırabilmektedir [1,2].

Acil sağlık hizmetleri çalışanlarında kas-iskelet sistemi sorunlarının yaygın olduğu güncel çalışmalarla da gösterilmiştir. Tahernejad ve ark. tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizde, acil sağlık hizmetleri personelinde kas-iskelet sistemi bozukluklarının toplam prevalansı %56,5 olarak bildirilmiş; en sık etkilenen anatomik bölgelerin bel, üst sırt, boyun, omuz ve diz olduğu belirlenmiştir [3]. Benzer şekilde, paramediklerde mesleki yaralanmaları değerlendiren bir sistematik derlemede zorlanma ve burkulmaların öne çıktığı, gövde ve üst ekstremitelerin sık etkilendiği ve vücut hareketleriyle ilişkili mekanizmaların yaralanmalarda önemli rol oynadığı gösterilmiştir [2]. Güncel bir kapsam belirleme derlemesinde ise sedye kullanımı ve hasta çıkarma/taşıma görevlerinin paramediklerin fiziksel açıdan en zorlayıcı görevleri arasında olduğu bildirilmiştir [4].

Kas-iskelet sistemi yakınmalarının önemi yalnızca semptomların varlığıyla sınırlı değildir. Bu yakınmalar çalışanların günlük ve mesleki aktivitelerini etkileyebilmekte ve sağlık hizmeti gereksinimine yol açabilmektedir. Bu nedenle yakınmaların anatomik dağılımının yanı sıra fonksiyonel sonuçlarının ve çalışanların rehabilitasyon hizmetlerine erişiminin değerlendirilmesi, sorunun mesleki etkisinin daha kapsamlı ortaya konulmasına katkı sağlayabilir.

Ayrıca mesleki deneyim, çalışma düzeni, hasta kaldırma ve transfer yükü, algılanan fiziksel zorlanma, ergonomi eğitimi ve egzersiz alışkanlığı gibi faktörlerin birlikte incelenmesi, çalışan sağlığına yönelik koruyucu yaklaşımların planlanması açısından önem taşımaktadır [1,4].

Bu çalışmanın amacı, 112 Acil Sağlık Hizmetleri çalışanlarında kas-iskelet sistemi yakınmalarının sıklığını ve anatomik dağılımını belirlemek; bu yakınmaların fonksiyonel etkilerini ve fizik tedavi ve rehabilitasyon hizmetlerine erişim durumunu değerlendirmektir. Ayrıca kas-iskelet sistemi yakınmaları ve etkilenme düzeyinin çeşitli mesleki ve bireysel faktörlerle ilişkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOD

Araştırma tasarımı ve katılımcılar

Bu çalışma, 112 Acil Sağlık Hizmetleri çalışanlarında kas-iskelet sistemi yakınmalarının sıklığını, fonksiyonel etkilenmeyi ve ilişkili mesleki ve bireysel faktörleri değerlendirmek amacıyla kesitsel, tanımlayıcı ve analitik olarak gerçekleştirildi. Araştırma 14 Ağustos–4 Eylül 2026 tarihleri arasında yürütüldü. Çalışmaya, araştırma döneminde 112 Acil Sağlık Hizmetlerinde aktif olarak görev yapan ve çalışmaya katılmayı kabul eden sağlık çalışanları dahil edildi.

Veri toplama ve değerlendirme

Katılımcıların sosyodemografik ve mesleki özellikleri araştırmacılar tarafından hazırlanan veri toplama formu ile değerlendirildi. Yaş, cinsiyet, vücut kitle indeksi, düzenli egzersiz alışkanlığı, görev unvanı, 112 Acil Sağlık Hizmetlerinde çalışma süresi, çalışma/vardiya düzeni ve haftalık çalışma süresi kaydedildi. Mesleki fiziksel yükün değerlendirilmesinde vardiya başına hasta transfer sayısı, hasta kaldırma ve transferine katılım, manuel hasta kaldırma, sedye yükleme/indirme, yardımcı ekipman kullanımı, hasta kaldırma ve taşıma konusunda ergonomi eğitimi alma durumu ve transfer sırasında algılanan fiziksel zorlanma sorgulandı.

Kas-iskelet sistemi yakınmaları Nordic Kas-İskelet Sistemi Anketi (Nordic Musculoskeletal Questionnaire, NMQ) kullanılarak değerlendirildi. Boyun, omuz, üst sırt, dirsek, el/el bileği, bel, kalça/uyluk, diz ve ayak/ayak bileği olmak üzere dokuz anatomik bölge için son 12 ayda yakınma varlığı, yakınmaya bağlı normal iş veya günlük aktivitelerde kısıtlanma ve son yedi gündeki yakınma varlığı değerlendirildi. Ayrıca kas-iskelet sistemi yakınmaları nedeniyle işe gidememe, sağlık kuruluşuna başvurma, fizik tedavi ve rehabilitasyon hizmeti alma, iş veya görev tanımında değişiklik yapma ve yakınmaların işle ilişkili olduğuna yönelik katılımcı görüşleri kaydedildi.

İstatistiksel analiz

Tanımlayıcı veriler kategorik değişkenler için sayı ve yüzde, sürekli değişkenler için uygun şekilde ortanca ve çeyrekler arası aralık (ÇAA) ile sunuldu. Kategorik değişkenler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinde Fisher kesin testi, iki bağımsız grubun sürekli değişkenlerinin karşılaştırılmasında Mann–Whitney U testi kullanıldı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edildi. Örneklem büyüklüğünün sınırlı olması nedeniyle ilişkisel analizler keşfedici ve hipotez üretici nitelikte değerlendirildi.

Etik ve veri gizliliği

Çalışma, Ankara İl Sağlık Müdürlüğünden veri kullanım izni alınarak gerçekleştirildi. Araştırma verileri anonim olarak değerlendirildi ve veri setinde katılımcıların kimliğinin belirlenmesine olanak sağlayabilecek kişisel tanımlayıcı bilgilere yer verilmedi.

BULGULAR

Çevrimiçi ankete 17 acil sağlık hizmetleri çalışanı yanıt verdi. Katılımcıların 13'ü (%76,5) kadındı; ortanca yaş 36 (ÇAA 34–40; aralık 30–54) yıldı. Sekiz katılımcı (%47,1) acil tıp teknisyeni, sekizi (%47,1) paramedikti. 112'de ortanca çalışma süresi 15 yıl (ÇAA 12–15), ortanca haftalık çalışma süresi 44 saat (ÇAA 40–57) idi ve dokuz kişi (%52,9) 24 saatlik vardiya düzeninde çalışıyordu. Ortanca vücut kitle indeksi 25,4 kg/m² olup 10 katılımcı (%58,8) fazla kilolu veya obezdi; yalnızca üç kişi (%17,6) düzenli egzersiz yapıyordu ve dördü (%23,5) bilinen bir kas-iskelet sistemi hastalığı bildirdi.

Mesleki maruziyet açısından 12 katılımcı (%70,6) hasta kaldırma/transfer işlemlerine sıklıkla ya da her zaman fiziksel olarak katıldığını, 11'i (%64,7) manuel hasta kaldırdığını ve 12'si (%70,6) sedye yükleme/indirmede aktif görev aldığını belirtti; sekiz kişi (%47,1) vardiya başına altı veya daha fazla hasta transferinde görev alıyordu. Katılımcıların 15'i (%88,2) hasta kaldırma/ergonomi eğitimi almıştı ve 10'u (%58,8) yardımcı ekipmanı sıklıkla kullanıyordu; buna karşın 11 kişi (%64,7) hasta transferi sırasında kendini sıklıkla ya da her zaman fiziksel olarak zorlanmış hissettiğini bildirdi.

Nordic anketine göre tüm katılımcılar (17/17; %100) son 12 ayda en az bir bölgede kas-iskelet sistemi yakınması tanımladı. En sık etkilenen bölgeler boyun (%82,4), bel (%70,6), omuz (%70,6) ve üst sırt (%64,7) idi (Tablo 1). Kişi başına etkilenen bölge sayısının ortancası 5 (ÇAA 3–8) olup 13 katılımcı (%76,5) üç veya daha fazla bölgede, dördü (%23,5) ise dokuz bölgenin tamamında yakınma bildirdi. On iki katılımcı (%70,6) son 12 ayda en az bir bölgedeki yakınma nedeniyle iş ya da günlük aktivitelerinden uzak kaldığını, 10'u (%58,8) son 7 gün içinde de yakınmasının sürdüğünü belirtti.

Yakınmaların mesleki ve sağlık hizmeti boyutunda beş katılımcı (%29,4) son 12 ayda kas-iskelet yakınması nedeniyle işe gidemediğini (bildirilen süre birkaç günden üç aya kadar), 11'i (%64,7) bir sağlık kuruluşuna başvurduğunu ve beşi (%29,4) fizik tedavi ve rehabilitasyon hizmeti aldığını bildirdi. Aktivite kısıtlanması tanımlayan 12 katılımcının yalnızca dördü (%33,3) rehabilitasyon hizmetine ulaşmıştı. Beş kişi (%29,4) yakınması nedeniyle iş ya da görev tanımı değişikliği yapmak zorunda kalmış, 16'sı (%94,1) yakınmasını tamamen (n=8) ya da kısmen (n=8) işiyle ilişkili görmüştü.

İlişkili faktörlerin analizinde (Fisher kesin testi, Mann-Whitney U testi), 112'de 15 yıl ve üzeri çalışanlarda son 7 günde yakınma varlığı (8/9'a karşı 2/8; p=0,015) ve sağlık kuruluşuna başvuru sınırda anlamlı olmak üzere (8/9'a karşı 3/8; p=0,050) daha sıktı; son 7 günde yakınması olanların ortanca 112 çalışma süresi 15 yıl iken olmayanlarda 12 yıldı (p=0,042). Hasta transferi sırasında kendini sıklıkla/her zaman zorlanmış hissedenlerin tamamında son 12 ayda boyun yakınması vardı (11/11'e karşı 3/6; p=0,029). Bilinen kas-iskelet hastalığı olanlarda etkilenen bölge sayısı daha yüksekti (ortanca 9'a karşı 4; p=0,022). Vardiya başına transfer sayısı, manuel kaldırma, sedye kullanımı, görev unvanı, vardiya düzeni, cinsiyet, vücut kitle indeksi, düzenli egzersiz ve ergonomi eğitimi ile yakınma varlığı ya da etkilenen bölge sayısı arasında anlamlı fark saptanmadı (tümü p>0,05). Örneklem büyüklüğü göz önüne alındığında bu ilişkiler hipotez üretici nitelikte değerlendirilmelidir.

Tablo 1. Nordic Kas-İskelet Sistemi Anketine göre anatomik bölgelere göre yakınma sıklığı ve yakınmaların mesleki etkileri (n=17)

Anatomik bölge	**Son 12 ay yakınma**	**Aktivite kısıtlanması (12 ay)**	**Son 7 gün yakınma**
Boyun	14 (82,4)	6 (35,3)	6 (35,3)
Omuz	12 (70,6)	8 (47,1)	9 (52,9)
Bel	12 (70,6)	8 (47,1)	9 (52,9)
Üst sırt	11 (64,7)	9 (52,9)	9 (52,9)
Kalça/uyluk	10 (58,8)	7 (41,2)	7 (41,2)
Ayak/ayak bileği	9 (52,9)	4 (23,5)	6 (35,3)
El/el bileği	8 (47,1)	7 (41,2)	6 (35,3)
Diz	7 (41,2)	6 (35,3)	6 (35,3)
Dirsek	6 (35,3)	6 (35,3)	5 (29,4)
En az bir bölge	**17 (100,0)**	**12 (70,6)**	**10 (58,8)**
Etkilenen bölge sayısı, ortanca (ÇAA)	5 (3–8)	3 (0–7)	3 (0–7)
Mesleki ve sağlık hizmeti etkilenmesi			
Kas-iskelet yakınması nedeniyle işe gidememe (son 12 ay)	5 (29,4)		
Sağlık kuruluşuna başvuru	11 (64,7)		
Fizik tedavi ve rehabilitasyon hizmeti alma	5 (29,4)		
Aktivite kısıtlanması olanlarda rehabilitasyon hizmeti alma (n=12)	4 (33,3)		
İş veya görev tanımı değişikliği	5 (29,4)		
Yakınmayı işle ilişkili görme (tamamen/kısmen)	16 (94,1)		

Değerler n (%) olarak verilmiştir. Aktivite kısıtlanması: son 12 ayda ilgili bölgedeki yakınma nedeniyle işten veya normal aktivitelerden uzak kalma. ÇAA: çeyrekler arası aralık.

TARTIŞMA

Bu çalışmada 112 Acil Sağlık Hizmetleri çalışanlarının tamamı son 12 ay içinde en az bir anatomik bölgede kas-iskelet sistemi yakınması bildirmiş ve katılımcıların yaklaşık dörtte üçünde üç veya daha fazla bölge etkilenmiştir. En sık yakınma bildirilen bölgeler boyun, bel, omuz ve üst sırt olmuştur. Bunun yanında katılımcıların önemli bir bölümünde yakınmaların günlük veya mesleki aktiviteleri etkilediği ve son yedi günde de devam ettiği görülmüştür. Bu bulgular, örneklem büyüklüğü sınırlı olmakla birlikte, 112 çalışanlarında kas-iskelet sistemi yakınmalarının yalnızca sık görülmekle kalmayıp çoklu anatomik bölge tutulumu ve fonksiyonel etkilenmeyle birlikte seyredebileceğine işaret etmektedir.

Acil sağlık hizmetleri çalışanlarında kas-iskelet sistemi sorunlarının yaygınlığı daha önceki çalışmalarla da ortaya konmuştur. Tahernejad ve ark.'nın 27 çalışmayı kapsayan sistematik derleme ve meta-analizinde kas-iskelet sistemi bozukluklarının toplam prevalansı %56,52 olarak bildirilmiş; anatomik bölgeler arasında bel (%47,38), üst sırt (%35,15), boyun (%31,19) ve omuz (%30) öne çıkmıştır [3]. Bizim çalışmamızda son 12 aylık yakınma oranlarının daha yüksek bulunması; örneklemin küçük olması, katılımcıların mesleki özellikleri ve uzun çalışma deneyimleri gibi örnekleme özgü faktörlerle ilişkili olabilir. Bununla birlikte boyun, bel, omuz ve üst sırt bölgelerinin öne çıkması literatürde bildirilen anatomik dağılımla genel olarak uyumludur [3,5]. Paramediklerde mesleki yaralanmaları inceleyen sistematik bir derlemede de zorlanma ve burkulmaların en sık yaralanma türleri olduğu, gövde ve üst ekstremitelerin sıklıkla etkilendiği bildirilmiştir [2].

Çalışmamızda katılımcıların büyük bölümü hasta kaldırma ve transferine aktif olarak katılmakta, manuel hasta kaldırmakta ve sedye yükleme/indirme işlemlerinde görev almaktaydı. Ayrıca yaklaşık üçte ikisi hasta transferi sırasında kendisini sıklıkla veya her zaman fiziksel olarak zorlanmış hissettiğini bildirdi. Acil sağlık çalışanlarında kaldırma, uygun olmayan çalışma postürleri ve hastaların ambulansa yüklenmesi kas-iskelet sistemi sorunları açısından önemli mesleki riskler arasında gösterilmektedir [1,6]. Güncel bir kapsam belirleme derlemesinde de sedye ve ekipman kullanımı ile hasta çıkarma/taşıma işlemlerinin paramediklerin fiziksel açıdan en zorlayıcı görevleri arasında olduğu ve kas-iskelet sistemi yaralanmalarında özellikle sırt bölgesinin öne çıktığı bildirilmiştir [4]. Çalışmamızda algılanan fiziksel zorlanmanın boyun yakınmasıyla ilişkili bulunması bu çerçevede dikkat çekicidir. Bununla birlikte kesitsel tasarım ve küçük örneklem nedeniyle bu bulgu nedensel bir ilişki olarak değerlendirilmemelidir.

Meslekte çalışma süresi de çalışmamızda öne çıkan değişkenlerden biri olmuştur. On beş yıl ve üzeri 112 deneyimi bulunan çalışanlarda son yedi gündeki yakınma daha sık görülmüş ve yakınması devam eden çalışanların 112'de çalışma süresi daha uzun bulunmuştur. Türkiye'de acil sağlık hizmetleri çalışanları üzerinde yapılan güncel bir çalışmada da mesleki deneyim ile iş yükünün dağılımı arasında ilişki olduğu; daha az deneyimli çalışanların daha fazla vakada görev aldığı, daha deneyimli çalışanların ise daha uzun mesafeli görevlere yöneldiği bildirilmiştir [7].Uzun süreli mesleki çalışma, tekrarlayan kaldırma, taşıma ve uygun olmayan postürler gibi fiziksel yüklerin zaman içerisinde birikmesine yol açabileceğinden bu sonuç biyolojik ve mesleki açıdan olası görünmektedir [1,5]. Ancak yaş ile mesleki deneyimin birbirleriyle ilişkili olabilmesi ve örneklem büyüklüğünün çok değişkenli analiz yapılmasına elverişli olmaması nedeniyle, çalışma süresinin bağımsız etkisini ortaya koymak mümkün değildir. Bu nedenle söz konusu ilişki daha geniş örneklemli çalışmalarla doğrulanmalıdır.

Çalışmanın dikkat çekici sonuçlarından biri de yakınmaların fonksiyonel ve sağlık hizmeti boyutudur. Katılımcıların %70,6'sı son 12 ayda kas-iskelet yakınması nedeniyle en az bir bölgede iş veya normal aktivitelerinin etkilendiğini, %29,4'ü işe gidemediğini ve yine %29,4'ü iş veya görev tanımında değişiklik yapmak zorunda kaldığını bildirmiştir. Buna karşın fizik tedavi ve rehabilitasyon hizmeti alanların oranı %29,4 ile sınırlı kalmış; aktivite kısıtlanması bulunan çalışanların yalnızca üçte biri rehabilitasyon hizmeti almıştır. Bu durum, yakınmaların yüksek fonksiyonel yüküne karşın rehabilitasyon hizmetinden yararlanmanın görece sınırlı kalabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca katılımcıların %94,1'inin yakınmalarını tamamen veya kısmen işleriyle ilişkili görmesi, çalışanların algıladığı mesleki yükün önemini destekleyen bir diğer bulgudur.

Katılımcıların büyük çoğunluğunun ergonomi/hasta taşıma eğitimi almış olmasına rağmen kas-iskelet yakınmalarının yaygın olması ve ergonomi eğitimi ile yakınma göstergeleri arasında anlamlı ilişki saptanmaması da dikkatle yorumlanmalıdır. Bu sonuç, ergonomi eğitiminin etkisiz olduğu anlamına gelmemektedir.

Örneklemin küçük olması, eğitim içeriği ve süresinin değerlendirilmemesi ve katılımcıların neredeyse tamamının eğitim almış olması gruplar arasında anlamlı bir farklılığın ortaya konmasını güçleştirmiş olabilir. Literatürde elektrikli sedyeler, transfer yardımcıları ve benzeri ergonomik müdahalelerin olumlu sonuçlar sağlayabildiği bildirilmiştir [1]. Bu nedenle çalışan güvenliğinde yalnızca eğitim verilmesi yerine uygun ekipman, çalışma organizasyonu ve ergonomik uygulamaları birlikte içeren çok bileşenli yaklaşımların değerlendirilmesi uygun olabilir [5,6,8].

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle örneklem büyüklüğünün küçük olması sonuçların genellenebilirliğini ve ilişkili faktörlerin güvenilir biçimde değerlendirilmesini sınırlandırmaktadır. Kesitsel tasarım nedeniyle saptanan ilişkiler için nedensellik kurulamaz. Verilerin öz bildirime dayalı olması hatırlama yanlılığına yol açabilir ve bilinen kas-iskelet sistemi hastalıkları bildirilen yakınmaları etkileyebilir. Ayrıca çok sayıda değişkenin sınırlı bir örneklemde karşılaştırılmış olması tesadüfi istatistiksel anlamlılık olasılığını artırmaktadır. Bu nedenle özellikle çalışma süresi ve algılanan fiziksel zorlanmayla ilişkili sonuçlar doğrulayıcı olmaktan çok hipotez üretici olarak değerlendirilmelidir. Buna karşın çalışmanın kas-iskelet yakınmalarını anatomik dağılımın yanı sıra fonksiyonel etkilenme, işe devamsızlık ve rehabilitasyon hizmetinden yararlanma açısından birlikte değerlendirmesi, 112 çalışanlarındaki mesleki yükün farklı boyutlarının ortaya konulmasına katkı sağlamaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada 112 Acil Sağlık Hizmetleri çalışanlarında kas-iskelet sistemi yakınmalarının yaygın olduğu ve özellikle boyun, bel, omuz ve üst sırt bölgelerinde yoğunlaştığı görüldü. Yakınmaların önemli bir bölümünde birden fazla anatomik bölgenin etkilenmesi, günlük ve mesleki aktivitelerde kısıtlanma, işe devamsızlık ve görev değişikliği gibi fonksiyonel sonuçların eşlik etmesi dikkat çekiciydi. Buna karşın, aktivite kısıtlanması yaşayan çalışanların yalnızca üçte birinin fizik tedavi ve rehabilitasyon hizmeti almış olması, rehabilitasyon hizmetlerinden yararlanmanın geliştirilmesi gereken bir alan olabileceğini düşündürmektedir. Meslekte daha uzun çalışma süresi ve hasta transferi sırasında algılanan fiziksel zorlanma ile bazı kas-iskelet yakınmaları arasında saptanan ilişkiler, örneklem büyüklüğünün sınırlı olması nedeniyle hipotez üretici nitelikte değerlendirilmelidir. Daha geniş örneklemli çalışmalarla desteklenmesi koşuluyla, bu bulgular 112 çalışanlarında kas-iskelet sistemi sağlığının korunmasına yönelik ergonomik düzenlemelerin, uygun yardımcı ekipman kullanımının ve erken değerlendirme ile rehabilitasyon hizmetlerine erişimin birlikte ele alınmasının önemine işaret etmektedir.

KAYNAKLAR:

1. Friedenberg, R., Kalichman, L., Ezra, D., Wacht, O., & Alperovitch-Najenson, D. (2022). Work-related musculoskeletal disorders and injuries among emergency medical technicians and paramedics: A comprehensive narrative review. Archives of environmental & occupational health, 77(1), 9–17. https://doi.org/10.1080/19338244.2020.1832038

2. Kearney, J., Muir, C., & Smith, K. (2022). Occupational injury among paramedics: a systematic review. *Injury prevention : journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, *28*(2), 175–184. https://doi.org/10.1136/injuryprev-2021-044405

3. Tahernejad, A., Makki, F., Rezaei, E., Marzban, H., Tahernejad, S., & Sahebi, A. (2024). Musculoskeletal disorders in emergency medical services personnel: a systematic review and meta-analysis. *Public health*, *237*, 107–115. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2024.08.020

4. Marsh, E., Orr, R., Canetti, E. F. D., & Schram, B. (2025). Profiling paramedic job tasks, injuries, and physical fitness: A scoping review. *Applied ergonomics*, *125*, 104459. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2024.104459

5. Nazzal, M. S., Oteir, A. O., Alrawashdeh, A., Alwidyan, M. T., Obiedat, Q., Almhdawi, K. A., Ismael, N. T., & Williams, B. (2024). Prevalence of work-related musculoskeletal disorders and associated factors affecting emergency medical services professionals in Jordan: a cross-sectional study. BMJ open, 14(4), e078601. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-078601

6. Du, B., Boileau, M., Wierts, K., Karch, S. B., Yung, M., Fischer, S., & Yazdani, A. (2020). Exploring the need for and application of human factors and ergonomics in ambulance design: Overcoming the barriers with technical standards. Applied ergonomics, 88, 103144. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103144

7. Yazici, R., Bala, E. D., Kalafat, A. F. B., Sari, E., Mutlu, H., Güner, H., Kaya, H., Tapkan, R. B., Kalafat, U. M., & Doğan, S. (2024). Effects of workload and distance traveled on psychological resilience and values among emergency healthcare workers. Turkish journal of medical sciences, 55(2), 501–508. https://doi.org/10.55730/1300-0144.5994

8. Abdul Halim, N. S. S., Mohd Ripin, Z., & Ridzwan, M. I. Z. (2023). Efficacy of Interventions in Reducing the Risks of Work-Related Musculoskeletal Disorders Among Healthcare Workers: A Systematic Review and Meta-Analysis. Workplace health & safety, 71(12), 557–576. https://doi.org/10.1177/21650799231185335

YAPILANDIRILMIŞ İSTEM KULLANIMI, SİSTEMİK SKLEROZ İÇİN YAPAY ZEKA TARAFINDAN ÜRETİLEN EL VE YÜZ EGZERSİZİ ÖNERİLERİNİN KAPSAMLILIĞINI ARTIRIR MI? GEMİNİ TABANLI BİR DEĞERLENDİRME

Dr. Öğr. Üyesi Nurten Gizem TORE
Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü
ORCID: 0000-0002-9935-3564

ÖZET
Amaç: Sistemik sklerozlu (SS) bireyler, el ve orofasiyal egzersiz önerileri için büyük dil modellerinden yararlanabilir; ancak hasta tarzında yazılmış kısa istemler, uygulamaya yönelik ve güvenlikle ilişkili bazı ayrıntıların atlanmasına neden olabilir. Bu çalışmada, basit ve yapılandırılmış istemler kullanılarak Gemini tarafından üretilen önerilerin kapsamlılığı karşılaştırılmıştır.
Yöntem: Literatüre dayalı olarak belirlenen 15 SS el ve yüz egzersizi konusu, eşleştirilmiş basit ve yapılandırılmış istemler kullanılarak İngilizce olarak birer kez sorgulanmıştır. Yapılandırılmış istemlerde önceden tanımlanmış sekiz içerik alanının yer alması istenmiştir. Toplam 30 yanıt, bir fizyoterapist tarafından araştırmacılar tarafından geliştirilen sekiz maddelik bir kontrol listesi kullanılarak puanlanmıştır. Toplam puanlar Wilcoxon işaretli sıralar testi ile, madde düzeyindeki farklılıklar ise McNemar kesin testi ile karşılaştırılmıştır. Eşleştirilmiş farkların medyanı ve %95 bootstrap güven aralığı hesaplanmıştır.
Bulgular: Basit istemlerle oluşturulan yanıtların medyan puanı 6 (çeyrekler arası aralık, 6-7) iken, yapılandırılmış istemlerle oluşturulan tüm yanıtlar 8 (8-8) puan almıştır. Yapılandırılmış istemler 15 eşleştirmenin tamamında daha yüksek puan elde etmiştir; eşleştirilmiş farkların medyanı 2 puan olarak bulunmuştur (çeyrekler arası aralık, 1-2; %95 bootstrap güven aralığı, 1-2; $p < 0,001$). Egzersiz progresyonuna ilişkin öneriler basit yanıtların 2/15'inde (%13,3), egzersizi durdurma veya modifiye etme kriterleri 9/15'inde (%60,0) ve profesyonel yönlendirme önerileri 10/15'inde (%66,7) yer alırken, yapılandırılmış yanıtların tamamında bu maddelerin her biri 15/15 (%100,0) oranında bulunmuştur.
Sonuç: Yapılandırılmış istem kullanımı, özellikle egzersiz progresyonu ve güvenlikle ilişkili eşik bilgileri açısından Gemini tarafından üretilen eğitsel önerilerin kapsamlılığını artırmıştır. Bulgular; yalnızca tek bir modelin, tek bir dilin, her istem için tek bir yanıtın, tek bir değerlendiricinin ve araştırmacılar tarafından geliştirilen bir kontrol listesinin kullanılmış olması nedeniyle ön bulgular olarak değerlendirilmelidir. Yapılandırılmış istemler daha kapsamlı rehabilitasyon bilgisi sunulmasını destekleyebilir; ancak bireyselleştirilmiş profesyonel değerlendirmenin yerini alamaz.
Anahtar Kelimeler: Sistemik skleroz; istem mühendisliği; büyük dil modeli; egzersiz tedavisi; el rehabilitasyonu; orofasiyal rehabilitasyon

DOES STRUCTURED PROMPTING IMPROVE THE COMPLETENESS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-GENERATED HAND AND FACIAL EXERCISE ADVICE FOR SYSTEMIC SCLEROSIS? A GEMINI-BASED EVALUATION

ABSTRACT
Aim: People with systemic sclerosis (SSc) may use large language models for hand and orofacial exercise advice, but brief patient-style prompts may omit practical and safety-related details. This study compared the completeness of Gemini-generated advice produced by simple and structured prompts.

Methods: Fifteen literature-informed SSc hand and facial exercise topics were queried once in English using paired simple and structured prompts. Structured prompts requested eight predefined content domains. Thirty responses were scored by one physiotherapist using an author-developed eight-item checklist. Total scores were compared with the Wilcoxon signed-rank test, and item-level differences with McNemar's exact test. The median paired difference and its 95% bootstrap confidence interval were calculated.
Results: Simple-prompt responses had a median score of 6 (interquartile range, 6-7), whereas all structured-prompt responses scored 8 (8-8). Structured prompts scored higher in all 15 pairs; the median paired difference was 2 points (interquartile range, 1-2; 95% bootstrap confidence interval, 1-2; $p < 0.001$). Progression advice appeared in 2/15 simple responses (13.3%), stop or modification criteria in 9/15 (60.0%), and referral guidance in 10/15 (66.7%), compared with 15/15 (100.0%) structured responses for each item.
Conclusion: Structured prompting improved the completeness of Gemini-generated educational advice, particularly for progression and safety-threshold information. The findings remain preliminary because one model, one language, one response per prompt, one evaluator, and an author-developed checklist were used. Structured prompts may support more complete rehabilitation information but cannot replace individualized professional assessment.
Keywords: Systemic sclerosis; prompt engineering; large language model; exercise therapy; hand rehabilitation; orofacial rehabilitation

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ÇALIŞILAN ANTRENÖR SAYISININ PROSOSYAL VE ANTİSOSYAL DAVRANIŞLAR AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç. Dr. Mahmut GÜLLE
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Rekreasyon Bölümü
ORCID: 0000-0002-9967-0703

Arş. Gör. Dr. Abdullah SEMERCİ
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Rekreasyon Bölümü
ORCID: 0000-0002-0799-8569

ÖZET
Bu araştırmanın amacı, 18 yaş altı kadın futbolcuların kariyerleri boyunca çalıştıkları antrenör sayısına göre prososyal ve antisosyal davranış düzeylerinin farklılaşıp farklılaşmadığını incelemektir. Araştırma, nicel araştırma yöntemlerinden ilişkisel tarama modelinde yürütülmüştür. Çalışma grubunu Türkiye'de farklı futbol kulüplerinde forma giyen 180 lisanslı 18 yaş altı kadın futbolcu oluşturmuştur. Veriler, araştırmacılar tarafından hazırlanan Kişisel Bilgi Formu ile Kavussanu ve Boardley (2009) tarafından geliştirilen ve Sezen-Balçıkanlı (2013) tarafından Türkçeye uyarlanan Sporda Prososyal ve Antisosyal Davranış Ölçeği kullanılarak toplanmıştır. Verilerin analizinde tanımlayıcı istatistiklerin yanı sıra Tek Yönlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA) ve uygun post hoc testleri kullanılmıştır. Bulgular, çalışılan antrenör sayısına göre takım arkadaşına yönelik prososyal davranış, rakibe yönelik prososyal davranış ve takım arkadaşına yönelik antisosyal davranış puanlarında anlamlı farklılık bulunmadığını göstermiştir ($p>.05$). Buna karşın rakibe yönelik antisosyal davranış puanlarının çalışılan antrenör sayısına göre anlamlı düzeyde farklılaştığı belirlenmiş, farklılığın bir antrenör ile çalışan sporcular ile beş antrenör ile çalışan sporcular arasında olduğu tespit edilmiştir ($p<.05$). Sonuç olarak, çalışılan antrenör sayısının yalnızca rakibe yönelik antisosyal davranış üzerinde etkili olduğu, diğer prososyal ve antisosyal davranış boyutlarında ise belirleyici olmadığı görülmüştür. Bulgular, futbolda antrenör değişimlerinin sporcuların sosyal davranışlarının gelişimi açısından dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Futbol, kadın futbolcular, Antrenör sayısı, Prososyal davranış, Antisosyal davranış

EVALUATION OF THE NUMBER OF COACHES WORKED WITH IN TERMS OF PROSOCIAL AND ANTISOCIAL BEHAVIORS

ABSTRACT
The purpose of this study was to examine whether the number of coaches that U18 female football players had worked with throughout their sporting careers was associated with differences in their prosocial and antisocial behaviors. The study employed a quantitative correlational research design. The sample consisted of 180 licensed U18 female football players competing in different football clubs in Türkiye. Data were collected using a Personal Information Form and the Prosocial and Antisocial Behavior in Sport Scale (PABSS), originally developed by Kavussanu and Boardley (2009) and adapted into Turkish by Sezen-Balçıkanlı (2013). Descriptive statistics, one-way analysis of variance (ANOVA), and appropriate post hoc tests were used for data analysis.

The findings revealed no significant differences in prosocial behavior toward teammates, prosocial behavior toward opponents, or antisocial behavior toward teammates according to the number of coaches previously worked with ($p > .05$). However, a significant difference was found in antisocial behavior toward opponents ($p < .05$), with the difference occurring between players who had worked with one coach and those who had worked with five coaches. These findings suggest that the number of coaches experienced during an athlete's career may influence antisocial behavior toward opponents but does not appear to affect other dimensions of prosocial or antisocial behavior. The findings suggest that coaching changes in football should be considered in terms of the development of athletes' social behavior.
Keywords: Football, Female football players, Number of coaches, Prosocial behavior, Antisocial behavior.

GİRİŞ

Spor, bireylere yalnızca fiziksel yeterlilik kazandıran bir etkinlik olmayıp aynı zamanda dürüstlük, iş birliği, sorumluluk, empati ve adalet gibi ahlaki değerlerin gelişimini destekleyen önemli bir sosyal öğrenme ortamıdır. Bununla birlikte yoğun rekabet ortamı, zaman zaman saldırganlık, sportmenlik dışı davranışlar ve rakibe zarar vermeye yönelik eğilimlerin de ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle spor ortamında prososyal ve antisosyal davranışların belirleyicilerinin ortaya konulması, spor psikolojisi ve spor eğitimi açısından önemli görülmektedir (Shields & Bredemeier, 2007; Kavussanu, 2006).

Sporcuların davranışlarının şekillenmesinde en önemli sosyal aktörlerden biri antrenördür. Antrenörler yalnızca teknik ve taktik bilgi aktaran kişiler değil; aynı zamanda sporcuların değer yargılarını, ahlaki karar verme süreçlerini ve sosyal davranışlarını etkileyen önemli rol modelleridir (Horn, 2008). Özellikle gelişim dönemindeki sporcular, antrenörlerinin davranışlarını gözlemleyerek çeşitli tutum ve davranışları model alabilmektedir. Bu durum, sosyal öğrenme kuramının temel varsayımlarıyla da örtüşmektedir. Buna göre bireyler, önemli gördükleri kişilerin davranışlarını gözlemleyerek öğrenmekte ve zaman içerisinde bu davranışları içselleştirebilmektedirler (Bandura, 1977). Antrenör-sporcu ilişkisinin niteliğini açıklayan kuramsal yaklaşımlardan biri Jowett'in 3+1Cs Modeli'dir. Bu modele göre etkili bir antrenör-sporcu ilişkisi; yakınlık (closeness), bağlılık (commitment), tamamlayıcılık (complementarity) ve ortak yönelimden (co-orientation) oluşmaktadır. Bu bileşenlerde meydana gelen değişimler, sporcuların psikolojik uyumu, motivasyonu ve sosyal davranışları üzerinde önemli etkiler oluşturabilmektedir. Bu bağlamda sporcuların kariyerleri boyunca farklı sayıda antrenörle çalışmaları, kurulan ilişkinin sürekliliğini ve niteliğini etkileyerek prososyal ve antisosyal davranışların gelişiminde rol oynayabilir (Jowett, 2007).

Literatürde antrenör davranışlarının sporcuların psikolojik iyi oluşu, motivasyonu, ahlaki karar verme süreçleri ve sosyal davranışları üzerinde önemli etkiler oluşturduğu gösterilmiştir (Appleton & Duda, 2016; Smith, Smoll, & Cumming, 2007). Destekleyici, özerklik sağlayan ve etik değerlere önem veren antrenörlerin sporcularında prososyal davranışların daha sık görüldüğü; buna karşın baskıcı, cezalandırıcı ve yalnızca performans odaklı yaklaşımların antisosyal davranışları artırabileceği bildirilmektedir (Hodge & Gucciardi, 2015; Kavussanu, Stamp, Slade, & Ring, 2009).

Antrenör-sporcu ilişkisinin niteliği kadar sporcuların kariyerleri boyunca çalıştıkları antrenör sayısının da davranış gelişiminde etkili olabileceği düşünülmektedir. Sporcular farklı dönemlerde farklı liderlik stilleri, iletişim biçimleri ve motivasyonel iklimlerle karşılaşmaktadır.

Bu deneyimler bir yandan sporcuların farklı bakış açıları geliştirmelerine katkı sağlayabilirken diğer yandan sürekli değişen antrenörlere uyum sağlama zorunluluğu, güven ilişkilerinin zayıflaması ve farklı davranış normlarıyla karşılaşılması gibi nedenlerle sosyal davranış örüntülerini etkileyebilmektedir (Jowett & Cockerill, 2003; Jowett & Ntoumanis, 2004). Buna rağmen mevcut literatürde çalışmaların büyük çoğunluğu antrenör davranışlarının özelliklerine odaklanmış; sporcuların kariyerleri boyunca çalıştıkları antrenör sayısının prososyal ve antisosyal davranışlarla ilişkisi sınırlı düzeyde incelenmiştir.
Bu doğrultuda, 18 yaş altı kadın futbolcuların daha önce çalıştıkları antrenör sayısının prososyal ve antisosyal davranış düzeyleri üzerinde farklılık oluşturabileceği düşünülmektedir. Özellikle farklı antrenörlerin liderlik tarzları, iletişim biçimleri ve oluşturdukları motivasyon iklimlerinin sporcuların sosyal davranışlarının gelişiminde belirleyici olabileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle araştırma bulgularından elde edilecek sonuçların sporcuların sosyal gelişim süreçlerinin daha iyi anlaşılmasına ve antrenör değişimlerinin olası etkilerinin değerlendirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

YÖNTEM

Araştırma Modeli

Bu araştırma, sporcuların çalıştıkları antrenör sayısına göre prososyal ve antisosyal davranış düzeylerinin farklılaşıp farklılaşmadığını belirlemeyi amaçlayan nicel bir araştırmadır. Araştırmada ilişkisel tarama modeli kullanılmıştır. İlişkisel tarama modeli, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi ya da farklılaşmayı incelemeye olanak sağlayan araştırma desenlerinden biridir (Karasar, 2020).

Katılımcılar

Araştırmanın çalışma grubunu Türkiye'de farklı futbol kulüplerinde forma giyen lisanslı 18 yaş altı 180 kadın futbolcu oluşturmaktadır. Kadın futbolcuların yaşları 15 ila 17 arasında değişmekte ve yaş ortalamaları 16,12±1,159 yıldır. Katılımcılar uygun örnekleme yöntemi ile araştırmaya dahil edilmiştir. Araştırmaya katılan sporcuların yaş, spor yaşı, oynadıkları mevki ve çalıştıkları antrenör sayısına ilişkin demografik bilgiler kişisel bilgi formu aracılığıyla elde edilmiştir. Ayrıca katılımcılardan kariyerleri boyunca birlikte çalıştıkları antrenör sayısını belirtmeleri istenmiştir.

Veri Toplama Araçları

Kişisel Bilgi Formu: Araştırmacılar tarafından hazırlanan kişisel bilgi formunda katılımcıların yaşları, spor yaşları, eğitim durumları, oynadıkları mevkiler ve kariyerleri boyunca çalıştıkları antrenör sayısına ilişkin sorular yer almaktadır.
Sporda Prososyal ve Antisosyal Davranış Ölçeği: Katılımcıların prososyal ve antisosyal davranış düzeylerini belirlemek amacıyla Prosocial and Antisocial Behavior in Sport Scale (PABSS) kullanılmıştır. Ölçek, spor ortamında takım arkadaşlarına ve rakiplere yönelik prososyal ile antisosyal davranışları değerlendiren çok boyutlu bir ölçme aracıdır. Ölçek ilk olarak Kavussanu ve Boardley (2009) tarafından geliştirilmiştir. Ölçeğin Türkçe'ye uyarlaması Sezen-Balçıkanlı (2013) tarafından yapılmıştır. Ölçekte yer alan maddeler 5'li Likert tipinde puanlanmaktadır. Yüksek puanlar ilgili davranış türünün daha sık sergilendiğini göstermektedir. Ölçeğe ait Cronbach alpha (a) güvenirlik katsayıları ve çarpıklık basıklık değerleri tablo 1.'de verilmiştir.

Verilerin Toplanması ve Analizi

Sporculara araştırmanın amacı açıklanmış, araştırmaya katılımın tamamen gönüllülük esasına dayandığı belirtilmiş ve katılımcılardan bilgilendirilmiş gönüllü onam alınmıştır. Veriler çevrimiçi platformda uygulanarak toplanmıştır. Katılımcıların kimlik bilgileri alınmamış ve tüm veriler anonim olarak değerlendirilmiştir. Araştırmadan elde edilen veriler IBM SPSS 25 istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Öncelikle verilerin normal dağılım gösterip göstermediği çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) değerleri ile incelenmiştir. Tanımlayıcı istatistikler ortalama, standart sapma, frekans ve yüzde olarak sunulmuştur.

Çalışılan antrenör sayısına göre prososyal ve antisosyal davranış puanlarının farklılaşıp farklılaşmadığını belirlemek amacıyla bağımsız değişkenin kategori sayısına bağlı olarak Tek Yönlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA) uygulanmıştır. Varyansların homojenliği Levene testi ile değerlendirilmiştir. Anlamlı farklılık bulunması durumunda farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını belirlemek amacıyla homojenlik varsayımı sağlandığında Tukey HSD, sağlanmadığında ise Tahmane's T2 çoklu karşılaştırma testlerinden yararlanılmıştır.

Analizlerde istatistiksel anlamlılık düzeyi $p<.05$ olarak kabul edilmiştir. Ayrıca gruplar arasındaki farklılığın büyüklüğünü değerlendirmek amacıyla eta kare (η^2) etki büyüklüğü hesaplanmış ve Cohen'in önerileri doğrultusunda yorumlanmıştır (Cohen, 1988).

Tablo 1. Ölçeğe Ait Çarpıklık Basıklık ve Cronbach Alpha (α) Değerleri

Ölçek	Alt Boyut	Skewness	Kurtosis	Orijinal Ölçek (α)	Ölçek Uyarlaması (α)	Mevcut Araştırma (α)
Prososyal ve Antisosyal Davranışlar	Takım Prososyal	-665	1,574	0,74	0,70	0,67
	Rakip Prososyal	-774	,239	0,74	0,72	0,89
	Takım Antisosyal	,910	,775	0,83	0,72	0,65
	Rakip Antisosyal	,936	,257	0,86	0,75	0,84

Tablo 1.'e göre verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek için normallik testi yapılmıştır. Çarpıklık ve basıklık değerleri -1,5 ile +1,5 arasında olduğundan, ölçeklerin ve alt boyutlarının normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Tabachnick & Fidell, 2013). Ayrıca cronbach alpha **(α)** değerleri de incelendiğinde iç tutarlılık kat sayılarının güvenilir olduğu tespit edilmiştir.

BULGULAR

Tablo 2. Çalışılan Antrenör Sayısına Göre Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA)

Alt Boyutlar	Antrenör Sayısı	n	Mean	S.S.	F	p	Farklılık Kaynağı
Takım Prososyal	1	33	3,88	,734	2,401	,062	
	2	34	3,92	,643			
	3	39	4,06	,446			
	4	39	3,92	,499			
	5	35	4,30	,868			
Rakip Prososyal	1	33	3,30	1,082	,574	,682	
	2	34	3,49	,941			
	3	39	3,59	,827			
	4	39	3,30	,869			
	5	35	3,40	,999			

Takım Antisosyal	1	33	1,60	1,093	,048	,996	
	2	34	1,60	,642			
	3	39	1,58	,669			
	4	39	1,62	,557			
	5	35	1,66	,706			
Rakip Antisosyal	1	33	1,71	,619	3,039	,019	**1<5**
	2	34	1,81	,571			
	3	39	1,80	,630			
	4	39	1,94	,739			
	5	35	2,20	,762			

Tablo 2.'ye göre çalışılan antrenör sayısına göre sporcuların prososyal ve antisosyal davranış puanlarının farklılaşıp farklılaşmadığını belirlemek amacıyla Tek Yönlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA) uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre takım arkadaşına yönelik prososyal davranış, rakibe yönelik prososyal davranış ve takım arkadaşına yönelik antisosyal davranış puanları açısından çalışılan antrenör sayısına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p > .05$).

Buna karşın, rakibe yönelik antisosyal davranış puanlarının çalışılan antrenör sayısına göre anlamlı düzeyde farklılaştığı belirlenmiştir ($F=3,039$; $p=.019$). Anlamlı farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen post hoc analiz sonuçları, farklılığın 1 antrenör ile çalışan sporcular ile 5 antrenör ile çalışan sporcular arasında olduğunu göstermiştir ($p < .05$). Bulgular, çalışılan antrenör sayısının yalnızca rakibe yönelik antisosyal davranış üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunduğunu, diğer prososyal ve antisosyal davranış boyutlarında ise anlamlı bir farklılık oluşturmadığını ortaya koymaktadır.

TARTIŞMA

Bu araştırmada, sporcuların çalıştıkları antrenör sayısına göre prososyal ve antisosyal davranış düzeylerinin farklılaşıp farklılaşmadığı incelenmiştir. Araştırma bulguları, çalışılan antrenör sayısının yalnızca rakibe yönelik antisosyal davranış boyutunda anlamlı farklılık oluşturduğunu; takım arkadaşına yönelik prososyal davranış, rakibe yönelik prososyal davranış ve takım arkadaşına yönelik antisosyal davranış boyutlarında ise anlamlı bir farklılık bulunmadığını ortaya koymuştur. Bu sonuç, sporcuların kariyerleri boyunca deneyimledikleri antrenör sayısının özellikle rakiplere yönelik davranış biçimlerini etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Spor ortamında rakibe yönelik antisosyal davranışlar, rakibi aldatma, zarar verme, sportmenlik dışı davranış sergileme veya kasıtlı faul yapma gibi davranışları kapsamaktadır (Kavussanu & Boardley, 2009). Bu tür davranışların yalnızca bireysel özelliklerden değil, sporcuların içinde bulundukları sosyal çevre, takım kültürü ve özellikle antrenör davranışlarından etkilendiği bilinmektedir (Boardley & Kavussanu, 2007). Dolayısıyla farklı antrenörlerle çalışma deneyimi yaşayan sporcuların zaman içerisinde farklı liderlik anlayışları, iletişim biçimleri ve rekabet yaklaşımlarıyla karşılaşmaları, rakibe yönelik davranış normlarının değişmesine neden olabilir.

Araştırmada yalnızca rakibe yönelik antisosyal davranış boyutunda anlamlı farklılık bulunması dikkat çekicidir. Bu durum, takım arkadaşlarına yönelik davranışların uzun süre birlikte bulunulan takım kültürü, grup uyumu ve sosyal aidiyet gibi faktörlerden daha fazla etkilenmesine karşın, rakiplere yönelik davranışların antrenörlerin rekabet anlayışı ve maça ilişkin beklentilerinden daha fazla etkilenebileceğini düşündürmektedir.

Özellikle kazanmayı ön planda tutan ve performans odaklı bir yaklaşım benimseyen antrenörlerin, farkında olmadan sporcularda rakibe yönelik daha sert veya sportmenlik dışı davranışların normalleşmesine katkı sağlayabileceği ifade edilmektedir (Hodge & Gucciardi, 2015; Kavussanu, Stamp, Slade, & Ring, 2009).

Öte yandan araştırmada prososyal davranışlar ile takım arkadaşına yönelik antisosyal davranışlarda anlamlı farklılık bulunmaması, bu davranışların yalnızca çalışılan antrenör sayısından ziyade sporcuların kişilik özellikleri, ahlaki kimlikleri, aile desteği, takım iklimi ve uzun süreli sosyal etkileşimlerden etkilendiğini göstermektedir. Nitekim önceki araştırmalar da prososyal davranışların gelişiminde destekleyici motivasyonel iklim, özerklik desteği ve olumlu takım atmosferinin önemli belirleyiciler olduğunu ortaya koymuştur (Appleton & Duda, 2016; Kavussanu, 2006). Bu nedenle yalnızca farklı sayıda antrenörle çalışmış olmak, sporcuların olumlu sosyal davranışlarını değiştirmek için tek başına yeterli bir değişken olmayabilir.

Araştırmanın bulguları, antrenör değişimlerinin sporcular üzerinde yalnızca teknik ve taktik gelişim açısından değil, davranışsal ve ahlaki gelişim açısından da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Özellikle küçük yaş grubu sporlarında farklı antrenörlerin benzer etik değerleri benimsemesi ve sportmenliği merkeze alan ortak bir eğitim anlayışının oluşturulması önem taşımaktadır. Kulüplerde görev yapan antrenörlerin spor etiği, fair play ve ahlaki karar verme konularında hizmet içi eğitimlerle desteklenmesi, sporcuların rakiplere yönelik olumsuz davranışlarının azaltılmasına katkı sağlayabilir.

SONUÇ

Elde edilen bulgular, sporcuların farklı sayıda antrenörle çalışmasının özellikle rakibe yönelik davranış örüntülerini etkileyebileceğini, ancak prososyal davranışların ve takım arkadaşına yönelik davranışların daha çok takım kültürü, bireysel özellikler ve uzun süreli sosyal etkileşimler gibi farklı değişkenlerden etkilendiğini düşündürmektedir. Bu doğrultuda, küçük yaş gruplarında antrenör değişimlerinin yalnızca performans gelişimi açısından değil, sporcuların ahlaki ve sosyal gelişimleri açısından da değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Araştırma sonuçları, kulüplerde görev yapan antrenörlerin etik değerler, fair play, etkili iletişim ve olumlu motivasyonel iklim oluşturma konularında desteklenmesinin önemini ortaya koymaktadır. Özellikle farklı yaş gruplarında görev yapan antrenörlerin ortak bir eğitim anlayışı benimsemeleri ve sporculara tutarlı davranış modelleri sunmaları, rakibe yönelik antisosyal davranışların azaltılmasına katkı sağlayabilir.

Öneriler

- Çalışılan antrenör sayısından ziyade, aynı antrenörle çalışma süresi (antrenör istikrarı) prososyal ve antisosyal davranışlar üzerinde daha belirleyici olabilir. Bu nedenle gelecekteki araştırmalarda antrenör sayısının yanı sıra antrenör değişim sıklığı ve aynı antrenörle geçirilen süre gibi değişkenlerin de incelenmesi önerilmektedir.
- Altyapı organizasyonlarında sık yaşanan antrenör değişimlerinin sporcular üzerindeki psikososyal etkileri göz önünde bulundurularak kulüpler arasında ortak davranış standartlarının oluşturulması ve tüm antrenörlerin benzer eğitim anlayışı doğrultusunda hareket etmeleri sağlanabilir. Böylece sporcuların farklı antrenörlerle çalışmaları durumunda karşılaşabilecekleri davranışsal tutarsızlıkların azaltılması mümkün olabilir.
- Gelecekte yapılacak araştırmalarda yalnızca çalışılan antrenör sayısı değil, antrenör liderlik davranışları, motivasyonel iklim, özerklik desteği, antrenör-sporcu ilişkisi, sporcuların ahlaki kimlik düzeyi ve psikolojik dayanıklılık gibi değişkenlerin birlikte incelenmesi önerilmektedir. Bu sayede prososyal ve antisosyal davranışların oluşum mekanizmaları daha kapsamlı biçimde açıklanabilir.

Sınırlılıklar

- Araştırma, kesitsel bir desenle yürütüldüğünden değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisi ortaya konulamamaktadır. Elde edilen bulgular yalnızca çalışmanın gerçekleştirildiği zaman dilimindeki ilişkileri yansıtmaktadır.
- Elde edilen sonuçların farklı yaş gruplarına, erkek sporculara veya diğer spor branşlarına genellenmesi sınırlıdır.
- Araştırmada kullanılan veriler öz bildirim (self-report) ölçekleri aracılığıyla toplanmıştır. Katılımcılar, sosyal olarak kabul gören cevaplar verme eğiliminde olabileceklerinden özellikle prososyal ve antisosyal davranışlara ilişkin değerlendirmelerde sosyal beğenirlik yanlılığı oluşmuş olabilir.

KAYNAKÇA

Appleton, P. R., & Duda, J. L. (2016). Examining the interactive effects of coach-created empowering and disempowering climate dimensions on athletes' health and functioning. *Psychology of Sport and Exercise, 26*, 61–70.

Balcikanli, G. S. (2013). The Turkish adaptation of the prosocial and antisocial behavior in sport scale (PABSS). International Journal of Humanities and Social Science, 3(18), 271-276.

Bandura, A. (1977). *Social learning theory*. Prentice Hall.

Boardley, I. D., & Kavussanu, M. (2007). Development and validation of the Moral Disengagement in Sport Scale. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 29*(5), 608–628.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Hodge, K., & Gucciardi, D. F. (2015). Antisocial and prosocial behavior in sport: The role of motivational climate, basic psychological needs, and moral disengagement. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 37*(3), 257–273.

Horn, T. S. (Ed.). (2008). *Advances in sport psychology* (3rd ed.). Human Kinetics.

Jowett, S. (2007). Interdependence analysis and the 3+1Cs in the coach–athlete relationship. In S. Jowett & D. Lavallee (Eds.), Social psychology in sport (pp. 15–27). Human Kinetics.

Jowett, S., & Cockerill, I. M. (2003). Olympic medallists' perspective of the athlete–coach relationship. *Psychology of Sport and Exercise, 4*(4), 313–331.

Jowett, S., & Ntoumanis, N. (2004). The Coach–Athlete Relationship Questionnaire (CART-Q): Development and initial validation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 14*(4), 245–257.

Karasar, N. (2020). *Bilimsel araştırma yöntemi: Kavramlar, ilkeler, teknikler* (35. baskı). Nobel Akademik Yayıncılık.

Kavussanu, M. (2006). Motivational predictors of prosocial and antisocial behaviour in football. *Journal of Sports Sciences, 24*(6), 575–588.

Kavussanu, M., & Boardley, I. D. (2009). The Prosocial and Antisocial Behavior in Sport Scale. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 31*(1), 97–117.

Kavussanu, M., Stamp, R., Slade, G., & Ring, C. (2009). Observed prosocial and antisocial behaviors in male soccer players. *Journal of Applied Sport Psychology, 21*(S1), S62–S76.

Shields, D. L., & Bredemeier, B. J. (2007). Advances in sport morality research. In G. Tenenbaum & R. C. Eklund (Eds.), Handbook of sport psychology (3rd ed., pp. 662–684). Wiley.

Smith, R. E., Smoll, F. L., & Cumming, S. P. (2007). Effects of a motivational climate intervention for coaches on young athletes' sport performance anxiety. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 29*(1), 39–59.

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). Using multivariate statistics (6th ed.). Pearson.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

TÜRKİYE'DE DOĞURGANLIĞIN 25 YILLIK DÖNÜŞÜMÜ: AZALAN DOĞUMLAR, ARTAN ANNE YAŞI VE BİRİNCİ BASAMAK SAĞLIK HİZMETLERİNE OLASI YANSIMALARI

Safiye Kübra ÇETİNDAĞ KARATLI
Department of Family Medicine, Ankara Yıldırım Beyazıt University
Department of Family Medicine, Ankara Bilkent City Hospital
ORCID: 0000-0001-7439-9622

ÖZET

Amaç: Bu çalışmada Türkiye'de doğurganlık göstergelerinin 2001–2025 dönemindeki değişiminin değerlendirilmesi ve gözlenen demografik dönüşümün aile hekimliği ile birinci basamak maternal-çocuk sağlığı hizmetlerine olası yansımalarının tartışılması amaçlandı. Gereç ve Yöntem: Bu tanımlayıcı ikincil veri analizinde Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından kamuya açık olarak yayımlanan 2001–2025 Doğum İstatistikleri kullanıldı. Canlı doğum sayısı, kaba doğum hızı, toplam doğurganlık hızı, adölesan doğurganlık hızı ve doğum yapan kadınların ortalama yaşı ulusal düzeyde değerlendirildi. Başlangıç ve bitiş yılları arasındaki göreceli değişimler hesaplandı. Kaba doğum hızı, toplam doğurganlık hızı ve adölesan doğurganlık hızının yıllara göre monoton eğilimi Spearman sıra korelasyon analizi ile incelendi. TÜİK'in 2025 yılı il düzeyi doğurganlık dağılımı ayrıca tanımlayıcı olarak değerlendirildi. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edildi. Bulgular: 2001–2025 döneminde canlı doğum sayısı 1.323.341'den 895.374'e (%32,3), kaba doğum hızı ‰20,3'ten ‰10,4'e (%48,8), toplam doğurganlık hızı 2,38'den 1,42'ye (%40,3) ve adölesan doğurganlık hızı ‰49'dan ‰9'a (%81,6) geriledi. Kaba doğum hızı ($\rho=-0,962$), toplam doğurganlık hızı ($\rho=-0,784$) ve adölesan doğurganlık hızında ($\rho=-0,994$) anlamlı negatif eğilim saptandı (tümü $p<0,001$). Doğum yapan kadınların ortalama yaşı 26,7'den 29,4'e yükseldi; en yüksek yaşa özel doğurganlık 20–24 yaş grubundan 25–29 yaş grubuna kaydı. 2025 yılında toplam doğurganlık hızı 76 ilde 2,10'un, 59 ilde 1,50'nin altında kaldı ve il düzeyinde 1,09–3,15 arasında değişti. Sonuç: Türkiye'de doğurganlığın belirgin biçimde azalması ve doğumların daha ileri yaşlara kayması, birinci basamakta maternal ve çocuk sağlığı hizmetlerinin niceliksel gereksinimlerinin yanı sıra gebelik risk profili ve izlem gereksinimlerinde de değişiklikler olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğurganlık, aile hekimliği, birinci basamak, anne yaşı, demografi, TÜİK

THE 25-YEAR TRANSFORMATION OF FERTILITY IN TÜRKİYE: DECLINING BIRTHS, INCREASING MATERNAL AGE, AND POTENTIAL IMPLICATIONS FOR PRIMARY CARE SERVICES

ABSTRACT

Objective: This study aimed to evaluate changes in fertility indicators in Türkiye between 2001 and 2025 and to discuss the potential implications of the observed demographic transformation for family medicine and primary maternal and child healthcare services. Materials and Methods: This descriptive secondary data analysis used publicly available Birth Statistics published by the Turkish Statistical Institute (TurkStat) for 2001–2025. Annual live births, crude birth rate, total fertility rate, adolescent fertility rate, and mean maternal age at childbirth were evaluated at the national level. Relative changes between the first and last years were calculated. Monotonic temporal trends in crude birth rate, total fertility rate, and adolescent fertility rate were assessed using Spearman rank correlation analysis.

The provincial fertility distribution published by TurkStat for 2025 was additionally evaluated descriptively. A two-sided p-value <0.05 was considered statistically significant. Results: Between 2001 and 2025, live births decreased from 1,323,341 to 895,374 (32.3%), the crude birth rate from 20.3‰ to 10.4‰ (48.8%), the total fertility rate from 2.38 to 1.42 (40.3%), and the adolescent fertility rate from 49‰ to 9‰ (81.6%). Significant negative trends were observed for crude birth rate (ρ=−0.962), total fertility rate (ρ=−0.784), and adolescent fertility rate (ρ=−0.994) (all p<0.001). Mean maternal age at childbirth increased from 26.7 to 29.4 years, while the age group with the highest age-specific fertility shifted from 20–24 to 25–29 years. In 2025, the total fertility rate was below 2.10 in 76 provinces and below 1.50 in 59 provinces, ranging from 1.09 to 3.15 across provinces. Conclusion: The marked decline in fertility and the shift of childbirth toward older ages suggest that, in addition to quantitative changes in maternal and child health service needs, pregnancy risk profiles and follow-up requirements in primary care may also change.

Keywords: Fertility, family medicine, primary care, maternal age, demography, TurkStat

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

HYDRAULIC PERFORMANCE IMPROVEMENT OF MORNING GLORY SPILLWAYS USING VORTEX BREAKERS AND SEMI-ELLIPTICAL NOTCHES: A THREE-DIMENSIONAL NUMERICAL INVESTIGATION FRAMEWOR

Javad Rouzegar
Department of Civil Engineering, Islamic Azad University

Abstract
Morning glory spillways are widely used for the safe release of excess reservoir water, particularly at dam sites where topographical and structural constraints limit the application of conventional spillway systems. Despite their structural advantages, vortex formation near the circular crest can adversely affect hydraulic performance by reducing discharge efficiency and producing non-uniform velocity and pressure distributions.
Previous studies have demonstrated that vortex breakers can improve the hydraulic performance of morning glory spillways by disturbing rotational flow near the inlet. Recent experimental research has also shown that semi-elliptical notches introduced into the spillway crest can increase the discharge coefficient and disturb vortex streamlines. However, the potential interaction between these two vortex-control mechanisms has not been systematically investigated.
This study proposes a three-dimensional computational fluid dynamics framework using FLOW-3D to investigate the individual and combined effects of vortex breakers and semi-elliptical crest notches on the hydraulic performance of morning glory spillways. Four principal configurations are proposed: a conventional spillway without modifications (M0), a spillway equipped with vortex breakers (M1), a spillway incorporating semi-elliptical notches (M2), and a combined configuration incorporating both modifications (M3).
The numerical model will first be validated against published experimental data. Following validation, the proposed configurations will be evaluated based on discharge capacity, discharge coefficient, upstream head, Froude number, velocity distribution, pressure distribution, and vortex characteristics. Different notch arrangements, including 2, 4, and 8 semi-elliptical notches, will also be investigated.
The main hypothesis is that the combined configuration may provide greater hydraulic benefits than either modification applied independently by simultaneously modifying the crest flow and disrupting rotational motion. Since the proposed numerical simulations have not yet been completed, this paper does not report new numerical results. Instead, it establishes a systematic numerical framework for future investigation and optimization of combined vortex-control strategies.
Keywords: Morning glory spillway; shaft spillway; vortex breaker; semi-elliptical notch; discharge coefficient; FLOW-3D; computational fluid dynamics; vortex control; hydraulic performance.

1. Introduction
Spillways are essential components of dams and reservoirs because they provide a controlled path for releasing excess water and protecting hydraulic structures during flood events. The selection of an appropriate spillway configuration depends on several factors, including site topography, reservoir geometry, foundation conditions, design discharge, and construction constraints.

Morning glory spillways, also known as shaft spillways, are particularly suitable for sites where conventional overflow spillways are difficult to construct. A typical morning glory spillway consists of a circular crest, a funnel-shaped transition, a vertical or inclined shaft, a bend, and a downstream conduit.

Although this configuration can provide an efficient means of transferring water from a reservoir to a downstream outlet, its circular inlet geometry may promote rotational flow and vortex formation. Strong vortices can alter the flow structure near the crest, reduce the effective flow area, and adversely affect the discharge characteristics.

Numerical modeling provides an efficient approach for investigating such complex three-dimensional flow phenomena. Enjilzadeh and Nohani developed a three-dimensional FLOW-3D model of a morning glory spillway and calibrated it using experimental information from the Alborz Dam spillway. Their study reported relative errors of 6.4% for discharge and 7.6% for flow depth at the crest, demonstrating the potential applicability of FLOW-3D for this type of hydraulic problem [1]. (Civil Engineer Journal)

Several researchers have investigated methods for controlling vortex formation. One approach is the installation of vortex breakers near the spillway inlet. Sayadzadeh et al. experimentally investigated pyramidal vortex breakers and reported that a configuration with six breakers increased the performance index for discharge coefficient by up to 50.97% under crest-control conditions and up to 16.13% under orifice-control conditions compared with a conventional morning glory spillway [2]. (ScienceDirect)

Another recent approach involves modifying the spillway crest using semi-elliptical notches. Mahmoud et al. experimentally investigated configurations with 2, 4, and 8 semi-elliptical notches and reported improvements in discharge coefficient together with disturbance of vortex streamlines. The reported influence was more pronounced at lower approach Froude numbers [3]. (HRPub)

The present study is motivated by the possibility that these two mechanisms may complement each other. Vortex breakers primarily interfere with rotational motion, whereas semi-elliptical notches alter the geometry through which water enters the shaft. Their combined application may therefore produce hydraulic behavior different from either modification used independently.

The objective of this study is consequently to establish a three-dimensional numerical framework for evaluating the combined effects of vortex breakers and semi-elliptical crest notches.

2. Literature Review

2.1 Numerical Modeling

Numerical simulation has become an important tool in hydraulic engineering because it enables researchers to investigate three-dimensional flow structures, free-surface behavior, pressure distributions, and velocity fields without constructing a separate physical model for every configuration.

Enjilzadeh and Nohani used FLOW-3D to simulate the flow field of a morning glory spillway and determine its rating curve at different flow rates. Their numerical model was calibrated and validated using experimental data associated with the Alborz Dam spillway [1]. (Civil Engineer Journal)

The reported relative error for discharge was 6.4%, while the relative error for flow depth at the crest was 7.6%. These results indicate that a carefully calibrated FLOW-3D model can provide useful information for analyzing morning glory spillway hydraulics.

2.2 Vortex Formation

Vortex formation is one of the major hydraulic concerns associated with circular morning glory spillway inlets. The rotational flow can produce a depressed free surface and non-uniform velocity distribution.

Potential consequences include:

- Reduction of effective flow area;
- Reduction in discharge coefficient;
- Non-uniform velocity distribution;
- Additional energy losses;
- Free-surface instability; and
- Unfavorable local pressure conditions.

The intensity of vortex formation is influenced by hydraulic conditions, spillway geometry, approach-flow characteristics, and the presence or absence of anti-vortex devices.

2.3 Vortex Breakers

Vortex breakers are installed near the spillway inlet to interrupt the rotational movement of water.

Sayadzadeh et al. conducted physical-model experiments to investigate pyramidal vortex breakers. Their study examined the influence of breaker number and geometry on discharge coefficient and developed empirical relationships for the investigated configurations [2]. (ScienceDirect)

The reported improvement for six vortex breakers reached 50.97% in crest-control conditions and 16.13% in orifice-control conditions. These findings indicate that the number and geometry of vortex breakers can significantly influence spillway discharge performance.

However, vortex breakers also introduce additional solid structures into the inlet region. Their dimensions and arrangement must therefore be selected carefully to avoid excessive obstruction of the flow.

2.4 Semi-Elliptical Notches

Semi-elliptical crest notches represent a different approach to modifying morning glory spillway hydraulics.

Mahmoud et al. investigated semi-elliptical notch configurations experimentally using 2, 4, and 8 notches. Their results indicated that the modified crest could increase the discharge coefficient and disturb vortex streamlines compared with a conventional morning glory spillway [3]. (HRPub)

The reported range of the experimental investigation included:

$0.01 \leq Fo \leq 0.056$

$2 \leq N \leq 8$

$h/b = 0.86$

$b/Dc = 0.29$

$h/Dc = 0.25$

where Fo is the approach Froude number and N is the number of semi-elliptical notches.

The authors also reported that the effect of the notches was more pronounced at lower approach Froude numbers [3]. (HRPub)

3. Research Gap

Previous investigations have demonstrated the potential benefits of vortex breakers and semi-elliptical notches. However, these two approaches have primarily been investigated independently.

The vortex breaker modifies the rotational flow field, whereas the semi-elliptical notch modifies the inlet geometry and flow entrance.
The interaction between these two mechanisms has not been sufficiently investigated using a systematic three-dimensional numerical approach.
Therefore, the principal research gap addressed by this study is:
The lack of a systematic three-dimensional numerical investigation of the combined effect of vortex breakers and semi-elliptical crest notches on the hydraulic performance of morning glory spillways.

4. Objectives

The main objective is to evaluate the potential of combining vortex breakers and semi-elliptical notches to improve the hydraulic performance of morning glory spillways.
The specific objectives are:

1. To develop a three-dimensional FLOW-3D model of a morning glory spillway.
2. To validate the numerical model against published experimental data.
3. To investigate the effect of vortex breakers on discharge performance.
4. To investigate the effect of semi-elliptical notches on discharge performance.
5. To investigate the combined effect of both modifications.
6. To compare discharge coefficients among the investigated configurations.
7. To analyze velocity distributions.
8. To analyze pressure distributions.
9. To evaluate changes in vortex intensity.
10. To identify the most promising geometric configuration.

5. Proposed Numerical Methodology

5.1 Computational Model

FLOW-3D is proposed as the numerical platform because it is capable of simulating three-dimensional free-surface flows and has previously been applied to morning glory spillway investigations [1].
The computational domain should reproduce the principal components of the physical system:

1. Upstream reservoir;
2. Circular spillway crest;
3. Funnel-shaped transition;
4. Vertical or inclined shaft;
5. Bend; and
6. Downstream conduit.

The initial computational geometry should reproduce a previously studied physical model to allow validation before introducing the proposed modifications.

5.2 Free-Surface Modeling

Because the investigated system involves water and air, a multiphase free-surface formulation should be employed.
The numerical setup should provide adequate representation of the water–air interface and the free-surface depression associated with vortex formation.

5.3 Governing Equations

The numerical model is based on conservation of mass and momentum.
The continuity equation is:
$\partial\rho/\partial t + \nabla\cdot(\rho u) = 0$

where ρ is fluid density and u is the velocity vector.
The momentum equation can be expressed in general form as:
$\partial(\rho u)/\partial t + \nabla\cdot(\rho uu) = -\nabla p + \nabla\cdot\tau + \rho g$
where p is pressure, τ is the stress tensor, and g is gravitational acceleration.
The turbulence model should be selected based on the characteristics of the flow and supported by appropriate validation and sensitivity analysis.

6. Model Configurations

Four principal configurations are proposed:

Model	Vortex Breaker	Semi-Elliptical Notches
M0	No	No
M1	Yes	No
M2	No	Yes
M3	Yes	Yes

For M2 and M3, three notch arrangements are proposed:

- N = 2;
- N = 4; and
- N = 8.

The vortex-breaker geometry should initially be selected based on a previously investigated configuration and subsequently evaluated through numerical sensitivity analysis.

7. Boundary Conditions

7.1 Upstream Boundary

A specified water level, pressure condition, or flow-rate condition should be applied at the upstream reservoir depending on the selected validation configuration.

7.2 Downstream Boundary

An outflow or pressure boundary condition should be selected according to the physical model and downstream flow regime.

7.3 Top Boundary

The upper boundary should permit appropriate air movement and should be sufficiently distant from the free surface to minimize artificial boundary effects.

7.4 Solid Boundaries

No-slip conditions should generally be applied to solid spillway surfaces unless an alternative wall treatment is justified.

7.5 Gravity

Gravitational acceleration should be included in the vertical direction.

8. Mesh Sensitivity Analysis

A mesh-sensitivity analysis should be performed before the final simulations.
At least three mesh resolutions should be considered:

- Coarse;
- Medium; and
- Fine.

The predicted discharge, free-surface characteristics, and other primary hydraulic parameters should be compared.
The final mesh should provide an appropriate balance between computational accuracy and computational cost.
A mesh can be considered sufficiently independent when further refinement results in only a small change in the principal output parameters.

9. Model Validation

The numerical model should first be validated against published experimental information.
The Alborz Dam investigation provides an appropriate basis for validation because a FLOW-3D model was calibrated and compared with experimental information [1]. The published study reported relative errors of 6.4% for discharge and 7.6% for flow depth at the spillway crest [1]. (Civil Engineer Journal)
The percentage relative error is calculated as:
$\text{Error}(\%) = |X_{num} - X_{exp}| / X_{exp} \times 100$
where:
X_{num} = numerical result
X_{exp} = experimental result
Only after acceptable agreement has been established should the modified spillway configurations be investigated.

10. Hydraulic Performance Parameters

10.1 Discharge

The discharge Q should be obtained from the calculated flow rate through an appropriate downstream monitoring section.

10.2 Discharge Coefficient

The discharge coefficient can be evaluated using:
$C_d = Q / [A\sqrt{(2gH)}]$
where Q is discharge, A is the effective flow area, g is gravitational acceleration, and H is the effective head above the crest.
The exact definition of effective head and area should remain consistent between all numerical cases.

10.3 Froude Number

The approach Froude number can be expressed as:
$Fr = V / \sqrt{(gD)}$
where V is the characteristic approach velocity and D is the characteristic flow depth.
The modified configurations should be evaluated over an appropriate range of hydraulic conditions.

11. Vortex Analysis

Vortex intensity should be evaluated for each configuration.
Potential indicators include:

- Tangential velocity;
- Circulation;
- Rotational kinetic energy;
- Vortex-core dimensions;
- Free-surface depression; and
- Appropriate vortex-identification criteria.

Three-dimensional velocity and free-surface contours should be used to compare the vortex structures.
The principal objective is to determine whether the proposed modifications reduce the strength and coherence of the vortex before water enters the shaft.

12. Proposed Simulation Matrix

Case	Breaker	Notches	Number of Notches
M0	No	No	0
M1	Yes	No	0
M2-2	No	Yes	2
M2-4	No	Yes	4
M2-8	No	Yes	8
M3-2	Yes	Yes	2
M3-4	Yes	Yes	4
M3-8	Yes	Yes	8

Each configuration should be simulated under several upstream-head conditions.
The principal output parameters should include:
Q, H, Cd, Fr, V, P
where Q is discharge, H is upstream head, Cd is discharge coefficient, Fr is Froude number, V is velocity, and P is pressure.

13. Results and Discussion Framework

Because the proposed numerical simulations have not yet been completed, this paper does not report new numerical results.
The future results should include the following analyses.

13.1 Discharge–Head Relationship

The relationship between discharge and upstream head should be established for each configuration:

$Q = f(H)$

The configuration providing greater discharge at the same head can then be evaluated as hydraulically more efficient, provided that pressure and velocity conditions remain acceptable.

13.2 Discharge Coefficient

The variation of Cd with Froude number should be plotted for M0, M1, M2, and M3.

The relative improvement can be calculated as:

$$\text{Improvement (\%)} = [(C_{d,new} - C_{d,0}) / C_{d,0}] \times 100$$

where $C_{d,0}$ is the discharge coefficient of the conventional configuration.

13.3 Velocity Distribution

Velocity contours should be extracted at representative sections, including:

- Upstream reservoir;
- Spillway crest;
- Funnel section;
- Shaft; and
- Downstream conduit.

The analysis should determine whether the modifications improve flow uniformity or create localized high-velocity regions.

13.4 Pressure Distribution

Pressure distributions should be examined along the crest, funnel, shaft, and bend.

Particular attention should be paid to localized low-pressure regions and strong pressure gradients.

13.5 Vortex Structure

The vortex structure of M0 should be compared with M1, M2, and M3.

The conceptual mechanisms are:

Vortex Breaker → Vortex Disruption

Semi-Elliptical Notch → Modified Crest Flow → Vortex Disturbance

The combined configuration may therefore provide an additional vortex-control mechanism. This remains a research hypothesis and must be verified through numerical simulation.

14. Expected Contribution

The proposed study is expected to contribute to hydraulic engineering in several ways.

First, it provides a systematic three-dimensional numerical framework for evaluating the interaction between two different vortex-control mechanisms.

Second, it may determine whether the combination of vortex breakers and semi-elliptical notches produces a beneficial synergistic effect.

Third, the numerical model can provide detailed information regarding velocity, pressure, and free-surface behavior that may be difficult to obtain using conventional one-dimensional calculations.

Finally, the study may provide a basis for optimizing existing morning glory spillways where improved discharge capacity and vortex control are required without major structural reconstruction.

15. Limitations

Several limitations should be considered.

First, CFD predictions depend on mesh resolution, turbulence modeling, numerical schemes, boundary conditions, and other computational parameters.

Second, the numerical model requires validation against reliable experimental information before conclusions regarding modified configurations can be considered reliable.

Third, a configuration with a higher discharge coefficient is not necessarily the optimum design if it produces unfavorable velocity or pressure conditions.

Finally, the combined effect of vortex breakers and semi-elliptical notches cannot be established solely from previous studies. It must be evaluated using validated numerical simulations and, preferably, subsequent physical-model experiments.

16. Conclusions

Morning glory spillways provide an effective means of safely releasing excess reservoir water, but vortex formation near their circular crests can adversely affect hydraulic performance.

Previous research has demonstrated the applicability of FLOW-3D to the numerical investigation of morning glory spillways. Experimental research has also demonstrated that vortex breakers can improve discharge characteristics and that semi-elliptical crest notches can increase discharge coefficient and disturb vortex streamlines [1–3]. (Civil Engineer Journal)

Based on these findings, the present study proposes a three-dimensional numerical framework for investigating the combined application of vortex breakers and semi-elliptical crest notches.

Four principal configurations are proposed: a conventional spillway, a spillway with vortex breakers, a spillway with semi-elliptical notches, and a combined configuration.

The proposed FLOW-3D framework will evaluate discharge, discharge coefficient, upstream head, Froude number, velocity distribution, pressure distribution, and vortex characteristics.

The central hypothesis is that the combined configuration may provide improved hydraulic performance compared with either modification used independently. However, this hypothesis should not be considered a confirmed finding until validated numerical simulations and, preferably, physical experiments have been completed.

Future research should focus on optimizing the number, dimensions, and arrangement of vortex breakers and semi-elliptical notches and on validating the optimized configuration experimentally.

References

[1] M. R. Enjilzadeh and E. Nohani, “Numerical Modeling of Flow Field in Morning Glory Spillways and Determining Rating Curve at Different Flow Rates,” *Civil Engineering Journal*, vol. 2, no. 9, 2016, doi: 10.28991/cej-2016-00000048. (Civil Engineer Journal)

[2] F. Sayadzadeh, S. H. Musavi-Jahromi, H. Sedghi, and A. Khosrojerdi, “Pyramidal Vortex Breakers Influences on the Flow Discharge of Morning Glory Spillway,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 455–463, 2020, doi: 10.1016/j.asej.2019.08.013. (ScienceDirect)

[3] A. H. Mahmoud, M. Dardeer, A. E. Anani, and M. Zayed, “Hydraulic Evaluation of Morning Glory Spillways with Semi-Elliptical Notches,” *Civil Engineering and Architecture*, vol. 13, no. 3, pp. 1875–1884, 2025, doi: 10.13189/cea.2025.130331. (HRPub)

Proposed Figures

Figure 1. Schematic geometry of a conventional morning glory spillway.
Figure 2. Schematic arrangement of vortex breakers.
Figure 3. Geometry of semi-elliptical crest notches.
Figure 4. Computational domain used in FLOW-3D.
Figure 5. Boundary conditions of the numerical model.
Figure 6. Mesh-sensitivity analysis.
Figure 7. Free-surface profiles for the investigated configurations.
Figure 8. Velocity contours around the spillway crest.
Figure 9. Pressure contours along the spillway.
Figure 10. Three-dimensional vortex structure around the spillway crest.
Figure 11. Discharge–head relationships.
Figure 12. Discharge coefficient versus Froude number.
Figure 13. Comparison of vortex intensity.
Figure 14. Overall comparison of hydraulic performance.

Proposed Graphical Abstract

Conventional Morning Glory Spillway
↓
Vortex Formation
↓
Reduced Hydraulic Efficiency
↓
Semi-Elliptical Crest Notches + Vortex Breakers
↓
Modified Flow Pattern
↓
Vortex Disruption
↓
Potential Improvement in Hydraulic Performance

Note: Numerical values cited in this paper are taken from previously published studies and are not results of the proposed combined configuration. The M3 configuration is a research hypothesis and requires validated FLOW-3D simulations and, preferably, experimental validation.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

HYDRAULIC PERFORMANCE IMPROVEMENT OF MORNING GLORY SPILLWAYS WITH PYRAMIDAL VORTEX BREAKERS: AN INTEGRATED FRAMEWORK FOR DISCHARGE EFFICIENCY AND HYDRAULIC SAFETY

Javad Rouzegar
Department of Civil Engineering, Islamic Azad University

ABSTRACT
Morning Glory spillways are compact hydraulic structures used for flood release in reservoirs. Their circular inlet geometry, however, can generate vortical flow, non-uniform velocity distributions, and unfavorable pressure conditions that may reduce hydraulic efficiency. Pyramidal vortex breakers have been demonstrated experimentally to improve the discharge performance of Morning Glory spillways, but the hydraulic mechanisms responsible for these improvements and their implications for hydraulic safety require further investigation.
This study proposes an integrated framework for evaluating pyramidal vortex breakers by combining experimental evidence, three-dimensional computational fluid dynamics, vortex analysis, pressure assessment, and multi-objective optimization. The experimental results reported in the literature are adopted as a benchmark for the proposed investigation. The reference physical model has a crest diameter of 240 mm and includes triangular and square pyramidal vortex breakers arranged in groups of three, four, and six. A total of 309 experiments were conducted in the reference study.
The proposed numerical framework employs a Volume of Fluid approach for the air-water interface and a three-dimensional turbulence model for the flow field. After mesh-independence analysis and validation against the experimental discharge data, the effects of breaker number, height, width, geometry, and upstream head will be investigated. The principal hydraulic responses are discharge coefficient, maximum velocity, minimum pressure, vorticity, and minimum cavitation index. A surrogate model and the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II are proposed to identify Pareto-optimal configurations.
The principal contribution of this study is the transition from discharge-centered evaluation of vortex breakers toward an integrated assessment of hydraulic efficiency and safety. The framework is intended to identify alternative designs that provide different compromises between discharge capacity, vortex suppression, velocity control, and cavitation susceptibility.
Keywords: Morning Glory spillway; pyramidal vortex breaker; vortex suppression; computational fluid dynamics; VOF; discharge coefficient; cavitation index; hydraulic safety; multi-objective optimization.

1. INTRODUCTION
Morning Glory spillways are widely used where a compact flood-release structure is required. A typical configuration consists of a circular crest, conical transition, vertical shaft, downstream bend, and outlet conduit.
The hydraulic behavior of such structures is strongly influenced by the flow approaching the circular crest. Rotational motion can develop around the inlet and may produce a vortex and an associated free-surface depression. The resulting flow structure can reduce the effective discharge capacity.
For crest-control conditions, the discharge can be expressed as:
$Q = C_d (2\pi R) H^{(3/2)} \sqrt{(2g)}$
where Q is discharge, C_d is discharge coefficient, R is crest radius, H is head over the crest, and g is gravitational acceleration.

Consequently, increasing the discharge coefficient is an important objective in Morning Glory spillway design.

Various vortex-control devices have been investigated to improve hydraulic performance. These include piers, inclined plates, blades, piano-key inlet configurations, and pyramidal vortex breakers.

Sayadzadeh et al. experimentally investigated triangular and square pyramidal vortex breakers using a 240-mm-diameter physical model. Their study included 309 experiments and examined three-, four-, and six-breaker configurations. The authors reported substantial improvements in discharge performance, particularly for six-breaker configurations. (ScienceDirect)

For crest-control conditions, the reported six-breaker triangular configuration produced an increase in the performance index for discharge coefficient of up to 50.97%. Under orifice-control conditions, selected six-breaker square configurations produced increases of up to 16.13%. (ScienceDirect)

These results establish the effectiveness of pyramidal vortex breakers. Nevertheless, discharge coefficient alone cannot fully characterize the hydraulic behavior of a high-velocity spillway.

A vortex breaker modifies the rotational structure of the flow and consequently may alter velocity and pressure distributions. Therefore, a configuration providing maximum discharge may not necessarily provide the most favorable hydraulic-safety conditions.

The central research question of this study is therefore:

Can pyramidal vortex breakers be evaluated and optimized simultaneously in terms of discharge efficiency and hydraulic safety?

2. LITERATURE REVIEW

2.1. VORTEX FORMATION

Vortex formation is a fundamental hydraulic phenomenon in circular vertical-shaft spillways. Rotational flow can produce a free-surface depression and, under certain conditions, an air core.

The vortex modifies the approach flow and can reduce hydraulic efficiency.

Consequently, vortex suppression has become an important design consideration for Morning Glory spillways.

2.2. VORTEX BREAKERS

Vortex breakers interrupt the rotational flow approaching the inlet.

Their hydraulic effectiveness depends on several geometric variables:

N, h, b, t, α

where N is the number of breakers, h is breaker height, b is breaker width, t is thickness, and α is inclination angle.

The relationship between these parameters and discharge performance is nonlinear. Therefore, simply increasing breaker size or number does not necessarily produce a proportional improvement.

2.3. PYRAMIDAL VORTEX BREAKERS

The experimental investigation by Sayadzadeh et al. provides an important benchmark for pyramidal vortex breakers.

The study considered triangular and square pyramidal geometries with three, four, and six breakers. The experiments covered discharges from approximately 1.7 to 7.6 L/s and water levels from approximately 1.2 to 15 cm above the crest. (ScienceDirect)

The results indicated that six-breaker configurations generally provided the strongest improvement.
For crest control, the reported triangular configuration (A63) had:
b/D = 0.167
h/D = 0.136
α = 70.4°
and produced a reported performance-index increase of 50.97%. (ScienceDirect)

3. RESEARCH GAP

Three major gaps are identified.

3.1. LIMITED THREE-DIMENSIONAL FLOW INFORMATION

Experimental rating curves provide discharge information but do not fully reveal the three-dimensional vortex structure.

3.2. LIMITED HYDRAULIC-SAFETY ASSESSMENT

Most studies emphasize discharge coefficient, while local velocity and pressure conditions receive less attention.

3.3. LACK OF MULTI-OBJECTIVE DESIGN

The design problem can be regarded as a competition between efficiency and hydraulic safety.
The proposed research therefore introduces:
CFD + Vortex Analysis + Pressure + Cavitation + Optimization

4. OBJECTIVES

The objectives are:
1. To reconstruct a published physical Morning Glory spillway model numerically.
2. To validate the CFD model against experimental discharge data.
3. To investigate the effects of pyramidal vortex-breaker geometry.
4. To quantify changes in vortex structure.
5. To evaluate velocity and pressure distributions.
6. To assess cavitation susceptibility.
7. To develop a multi-objective optimization framework.
8. To identify Pareto-optimal vortex-breaker configurations.
9. REFERENCE EXPERIMENTAL MODEL

The reference model has a crest diameter of:
D = 240 mm
The model consists of:
• Circular crest
• Conical transition
• Vertical shaft
• Downstream bend
• Outlet

The experimental study investigated triangular and square pyramidal breakers arranged in groups of three, four, and six. A total of 309 experiments were performed. (ScienceDirect)
The published experimental database provides a suitable benchmark for numerical model validation.

6. NUMERICAL METHODOLOGY

6.1. GOVERNING EQUATIONS

For incompressible flow:

$\nabla \cdot u = 0$

The momentum equation is:

$\partial u/\partial t + (u \cdot \nabla)u - (1/\rho)\nabla P + \nu\nabla^2 u + g + F_{turb} = 0$

where u is velocity, P is pressure, ρ is density, ν is kinematic viscosity, and g is gravitational acceleration.

6.2. FREE-SURFACE MODELING

The Volume of Fluid method will be employed to model the air-water interface:

$\partial F/\partial t + \nabla \cdot (F\, u) = 0$

where F is the water volume fraction.

The free surface is approximately represented by:

$F = 0.5$

6.3. TURBULENCE MODEL

A three-dimensional Reynolds-Averaged Navier-Stokes formulation will be employed.

Candidate turbulence models will be evaluated during validation. The final model will be selected according to its ability to reproduce the experimental hydraulic response while maintaining reasonable computational cost.

7. MESH INDEPENDENCE

Three mesh resolutions will be examined.

The sensitivity of:

Q, C_d, V_{max}, P_{min}

will be evaluated.

The relative difference between mesh levels will be calculated as:

$E_{mesh} = |Q_f - Q_m| / Q_f \times 100$

where Q_f and Q_m are the fine- and medium-mesh results.

The mesh selected for the final simulations will provide an acceptable balance between numerical accuracy and computational cost.

8. MODEL VALIDATION

The numerical model will be validated against published experimental discharge measurements.

The relative discharge error is:

$E_Q = |Q_{CFD} - Q_{EXP}| / Q_{EXP} \times 100$

Additional statistical indicators are:

$MAE = (1/n)\, \Sigma\, |y_i - \hat{y}_i|$

$RMSE = \sqrt{[(1/n)\, \Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2]}$

$R^2 = 1 - [\Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2 / \Sigma(y_i - \bar{y})^2]$

The validated CFD model will then be used for the parametric study.

9. DESIGN VARIABLES

The principal dimensionless variables are:

$X_1 = H/D$

$X_2 = h/D$

$X_3 = b/D$

$X_4 = N$
The breaker number will initially include:
N = 3, 4, 6
Both triangular and square pyramidal configurations will be considered.

10. HYDRAULIC PERFORMANCE INDICATORS

10.1. DISCHARGE COEFFICIENT

$C_d = Q / [(2\pi R)H^{(3/2)}\sqrt{(2g)}]$

10.2. MAXIMUM VELOCITY

$V_{max} = \max|u|$

10.3. MINIMUM PRESSURE

$P_{min} = \min(P)$

10.4. VORTICITY

$\omega = \nabla \times u$

10.5. CAVITATION INDEX

The cavitation index is defined as:
$\sigma = (P_{abs} - P_v) / (1/2\ \rho V^2)$
where P_{abs} is absolute pressure and P_v is vapor pressure.
The minimum cavitation index is:
$\sigma_{min} = \min(\sigma)$
and will be used as a comparative indicator of cavitation susceptibility.

11. VORTEX ANALYSIS

The vortex field will be investigated using:
• Velocity vectors
• Vorticity contours
• Free-surface profiles
• Vortex-core location
• Air-core development
The baseline spillway will be compared with configurations containing pyramidal vortex breakers.
The purpose is to determine whether improvement in discharge coefficient can be physically related to suppression or redistribution of rotational flow.

12. PARAMETRIC INVESTIGATION

The numerical study will investigate:
H/D, h/D, b/D, N
for both triangular and square pyramidal configurations.
The numerical design space will be sampled systematically.
Where computational resources permit, Latin Hypercube Sampling will be used to distribute simulations efficiently.

13. SURROGATE MODELING

A surrogate model will be developed from the validated CFD database.
The input vector is:
$X = [H/D, h/D, b/D, N]$
The output vector is:
$Y = [C_d, V_{max}, P_{min}, \sigma_{min}]$
Possible algorithms include:
• Gaussian Process Regressio
• Support Vector Regression
• Random Forest
• Artificial Neural Network
The final model will be selected using:
R^2, RMSE, MAE

14. MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION

The optimization objectives are:
max C_d
max σ_{min}
min V_{max}
The optimization problem can therefore be expressed as:
$\min F(X) = [-C_d, -\sigma_{min}, V_{max}]$
subject to the geometric and hydraulic constraints.
NSGA-II will be used to generate the Pareto-optimal solutions.

15. BENCHMARK EXPERIMENTAL RESULTS

The published experimental results demonstrate that pyramidal vortex breakers can substantially increase discharge performance.
For crest control, the six-breaker triangular configuration (A63) produced a reported performance-index increase of up to:
50.97%
relative to the conventional Morning Glory spillway.
For orifice control, selected six-breaker square configurations produced increases of up to:
16.13%.
The experimental study also found that increasing breaker dimensions beyond an appropriate range did not necessarily produce continued proportional improvement. (ScienceDirect)
This observation strongly supports the need for an optimization-based investigation rather than a simple maximum-size design.

16. PROPOSED NUMERICAL RESULTS

The following results will be generated after completion of the CFD simulations:
Figure 1. Three-dimensional computational geometry.
Figure 2. Computational mesh and local refinement.
Figure 3. Mesh-independence analysis.
Figure 4. Experimental versus numerical discharge coefficient.
Figure 5. Free-surface comparison.
Figure 6. Velocity distribution.
Figure 7. Vorticity distribution.
Figure 8. Pressure distribution.
Figure 9. Cavitation-index distribution.

Figure 10. Effect of breaker number on discharge coefficient.
Figure 11. Surrogate-model accuracy.
Figure 12. Pareto-optimal solutions.
These figures should be generated from the actual CFD calculations and should not be replaced with hypothetical numerical values.

17. DISCUSSION

The main hypothesis of this research is that vortex-breaker optimization should not be based exclusively on discharge coefficient.
The installation of a breaker modifies the rotational flow:
Breaker → Vortex Modification → Velocity Redistribution → Pressure Redistribution
The resulting changes can influence both discharge efficiency and hydraulic safety.
Therefore, a configuration with:
$C_d = max$
may not necessarily satisfy:
$V_{max} = min$
or:
$\sigma_{min} = max$
This conflict is the fundamental reason for applying multi-objective optimization.

18. ENGINEERING SIGNIFICANCE

The proposed methodology provides three practical categories of design:
Maximum-Efficiency Configuration
A configuration selected primarily to maximize discharge capacity.
Balanced Configuration
A configuration providing a compromise between discharge efficiency and hydraulic safety.
Safety-Oriented Configuration
A configuration emphasizing favorable velocity and pressure conditions while maintaining acceptable discharge.
This approach gives engineers a range of design alternatives instead of a single predetermined solution.

19. LIMITATIONS

The main limitation is the dependence of CFD results on mesh resolution, turbulence modeling, free-surface treatment, and boundary conditions.
The cavitation index should also be interpreted as an indicator of susceptibility and not, by itself, as direct evidence of cavitation erosion.
Consequently, final design recommendations should be based on validated CFD results and, where possible, independent experimental verification.

20. CONCLUSIONS

This study proposes an integrated framework for the assessment and multi-objective optimization of Morning Glory spillways equipped with pyramidal vortex breakers.
The methodology combines:
3D CFD + VOF + Vortex Analysis + Pressure Analysis + Cavitation Assessment + Surrogate Modeling + NSGA-II

Published experimental evidence demonstrates that pyramidal vortex breakers can substantially improve discharge performance. In particular, six-breaker configurations produced significant improvements, with a reported maximum performance-index increase of 50.97% under crest-control conditions. (ScienceDirect)

The proposed research extends this discharge-centered approach by considering the interaction between vortex suppression, velocity redistribution, pressure conditions, and cavitation susceptibility.

The expected result is a Pareto front containing alternative vortex-breaker configurations with different balances between efficiency and hydraulic safety.

The framework can potentially be extended to other vortex-control devices and complex free-surface hydraulic structures.

21. DATA AVAILABILITY

The experimental benchmark data are derived from previously published research. The CFD data generated during the numerical phase will be made available upon reasonable request after completion of the computational investigation.

22. CONFLICT OF INTEREST

The author declares no conflict of interest.

The author declares no conflict of interest.

23. FUNDING

No external funding has been received for this study.

REFERENCES

1. Sayadzadeh, F., Musavi-Jahromi, S.H., Sedghi, H., & Khosrojerdi, A. (2020). Pyramidal vortex breakers influences on the flow discharge of morning glory spillway. Ain Shams Engineering Journal, 11(2), 455–463. https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.013.

2. Shemshi, R., & Kabiri-Samani, A. (2017). Swirling flow at vertical shaft spillways with circular piano-key inlets. Journal of Hydraulic Research, 55(2), 248–258.

3. Haghbin, M., Sharafati, A., Aghamajidi, R., et al. (2022). Determination of discharge coefficient of stepped Morning Glory spillway using a hybrid data-driven method. Flow Measurement and Instrumentation, 85, 102161.

4. Christodoulou, G., Mavrommatis, A., & Papathanassiadis, T. (2010). Experimental study on the effect of piers and boundary proximity on the discharge capacity of a Morning Glory spillway. 1st IAHR European Congress, Edinburgh.

5. Nouroozi, S., & Ahadiyan, J. (2017). Effect of vortex breaker blades 45 degree on discharge coefficient of Morning Glory spillway using FLOW-3D. Irrigation Sciences and Engineering.

6. U.S. Bureau of Reclamation. (1987). Design of Small Dams. 3rd ed. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation.

7. Rouzegar, J., Kamanbedast, A.A., Masjedi, M., Heidarnejad, M., & Bordbar, A. (2019). The influence of inlet section geometry in Labyrinth-MGSs with and without vortex blade on discharge coefficient.

8. Tashan, K., & Yildirim, N. (2010). Effects of dimensionless parameters on air-entraining vortices. Journal of Hydraulic Research, 48(1), 57–64

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EXPLAINABLE MACHINE LEARNING FOR PREDICTING SCOUR DEPTH DOWNSTREAM OF SPILLWAYS USING PUBLISHED EXPERIMENTAL DATA

Javad Rouzegar
Department of Civil Engineering, Islamic Azad University

Abstract
Scour downstream of spillways is an important hydraulic engineering problem because excessive erosion of the downstream bed can threaten the stability and serviceability of hydraulic structures. Conventional empirical equations have been widely used for estimating scour depth; however, the nonlinear interactions among flow characteristics, spillway geometry, tailwater conditions, and sediment properties can limit their general applicability. This study proposes a comparative and interpretable machine-learning framework for predicting equilibrium scour depth using previously published laboratory observations, thereby avoiding new laboratory experiments. A database of 104 observations reported in the literature is considered. Four algorithms—Random Forest, XGBoost, Support Vector Regression, and Artificial Neural Network—are proposed for comparative evaluation. Model performance is to be assessed using R^2, RMSE, MAE, and NSE, together with residual and explainability analyses. The framework emphasizes reproducible validation and engineering interpretation. Numerical performance values are intentionally not reported until the original observations are processed, preventing fabricated results.
Keywords: Scour depth; Spillway; Machine learning; Random Forest; XGBoost; Support Vector Regression; Artificial Neural Network; Hydraulic engineering.

1. Introduction

Spillways are essential components of hydraulic structures because they safely convey excess water from reservoirs and upstream channels. High velocity and energy in spillway flows can generate intense turbulence and erosive forces downstream. When the downstream bed is erodible, the resulting scour hole may affect the stability and serviceability of hydraulic structures.

Accurate estimation of scour depth is therefore an important hydraulic-design problem. Traditional empirical and semi-empirical relationships are useful, but scour is governed by several interacting variables and exhibits nonlinear behavior. Machine-learning methods provide an alternative way to approximate these nonlinear relationships.

Azmathullah et al. demonstrated the application of neural networks to scour estimation below spillways. Samadi et al. later studied free-overfall spillways using a database of 104 laboratory observations and compared MARS and ANN with decision-tree approaches. The latter database provides a practical basis for a new comparative study using modern ensemble and kernel-based algorithms. The present work focuses on Random Forest, XGBoost, Support Vector Regression, and ANN, while emphasizing cross-validation and model explainability.

The objectives are to develop a reproducible data-driven framework, compare different machine-learning families, quantify prediction error using multiple metrics, and investigate the contribution of hydraulic and sediment-related predictors.

2. Literature Review

Previous research has shown that scour prediction is well suited to nonlinear soft-computing methods. Azmathullah et al. applied neural networks to scour downstream of a ski-jump bucket spillway.

Samadi et al. evaluated MARS and ANN using experimental data from free-overfall spillways and reported competitive performance of MARS relative to ANN and earlier decision-tree methods.

These studies establish the feasibility of data-driven scour prediction. The present study extends this line of work by applying a common validation framework to four modern model families and by adding an explicit explainability component. Because the dataset is relatively small, careful validation is particularly important.

3. Experimental Database and Dimensional Formulation

The database contains 104 laboratory observations reported by Samadi et al. The authors state that 24 observations originated from Mahboobi's experiments and 80 from Azar's experiments. Mahboobi varied unit discharge, drop height and sediment size, while Azar varied discharge, drop height, tailwater depth and sediment size.

A general functional relationship can be written as

d_s = f(q, H_t, y_t, d_50, rho_s, rho, g, ...)

where d_s is scour depth, q is unit discharge, H_t is total head or drop height, y_t is tailwater depth, d_50 is median sediment size, rho_s and rho are sediment and water densities, and g is gravitational acceleration.

Dimensionless variables are preferable for model development because they reduce dependence on units and can improve transferability within the experimental domain. The exact predictor matrix used in the final computation must be reconstructed from the original 104 observations.

4. Machine-Learning Methodology

Four algorithms are proposed.

Random Forest is an ensemble of decision trees and is capable of representing nonlinear interactions without a prescribed functional form.

XGBoost is a gradient-boosting method that sequentially constructs trees while controlling model complexity through regularization.

Support Vector Regression maps predictors into a feature space through a kernel. The radial-basis-function kernel is particularly suitable for nonlinear regression with small datasets.

Artificial Neural Network models nonlinear relationships through interconnected neurons. A feed-forward multilayer perceptron is proposed for consistency with earlier scour studies.

The models should be tuned using only the training folds. Standardization should likewise be fitted only to the training data when required, especially for SVR and ANN.

5. Validation and Performance Metrics

Because only 104 observations are available, reliance on a single random train/test split may produce unstable estimates of generalization error. Repeated K-fold cross-validation is therefore recommended. Each fold is used once for validation while the remaining folds are used for training, and the process is repeated with multiple random partitions.

The principal metrics are R^2, RMSE, MAE, and NSE.

R^2 = 1 - [sum(y_i - yhat_i)^2] / [sum(y_i - ybar)^2]

RMSE = sqrt{ [1/n] sum(y_i - yhat_i)^2 }

MAE = [1/n] sum |y_i - yhat_i|

NSE = 1 - [sum(y_i - yhat_i)^2] / [sum(y_i - ybar)^2]

Final values should be reported as means and dispersion measures over validation folds. No numerical values should be inserted before the original dataset is actually processed.

6. Results and Discussion

The final numerical results require the original 104 observations. The following table is therefore intentionally left as a calculation-ready template.

Model | R^2 | RMSE | MAE | NSE
Random Forest | To be calculated | To be calculated | To be calculated | To be calculated
XGBoost | To be calculated | To be calculated | To be calculated | To be calculated
SVR | To be calculated | To be calculated | To be calculated | To be calculated
ANN | To be calculated | To be calculated | To be calculated | To be calculated

Observed-versus-predicted plots should be generated for every model, together with a 1:1 reference line. Residual plots should then be examined for systematic bias, heteroscedasticity, and influential observations.

The discussion should distinguish between average predictive performance and variability across folds. This is especially important for a small experimental dataset, where an apparently strong result from one split may not represent robust generalization.

7. Explainability and Engineering Interpretation

For tree-based models, permutation importance and SHAP values can be used to quantify predictor contributions. SHAP analysis can provide both global importance and the direction of a variable's contribution to individual predictions.

Feature importance should not be interpreted as proof of causality. Correlations among experimental variables, the design of the original experiments, and the limited sample size must be considered.

From an engineering perspective, flow-intensity variables are expected to be associated with erosive capacity, while sediment characteristics and tailwater conditions can modify scour development. The machine-learning results should therefore be checked against hydraulic reasoning rather than interpreted solely from statistical rankings.

8. Limitations

The principal limitation is the relatively small size of the database. The observations are laboratory measurements and therefore may contain scale effects when transferred to prototype conditions. The models are also valid only within, or sufficiently close to, the range represented by the training observations. Extrapolation beyond that domain should be treated cautiously.

Another limitation is that the final performance depends on the exact reconstruction of the original observations, preprocessing, hyperparameter optimization, and validation protocol. For reproducibility, the final paper should report these settings explicitly.

9. Conclusions

This paper proposes an explainable machine-learning framework for predicting scour depth downstream of spillways using published experimental observations rather than new laboratory tests. The 104-observation database reported by Samadi et al. provides a documented foundation for model development.

Random Forest, XGBoost, Support Vector Regression, and Artificial Neural Network are proposed as complementary nonlinear predictors. Repeated cross-validation and multiple error metrics are recommended to reduce dependence on a single data split. Explainability methods can provide additional insight into the relative contribution of hydraulic and sediment-related predictors.

The final numerical comparison must be generated from the original 104 observations. This restriction is essential for scientific integrity and prevents unsupported performance claims. Once the data are processed, the completed model results, plots, and discussion can be inserted directly into the conference manuscript.

References

Azmathullah, H. M. D., Deo, M. C., & Deolalikar, P. B. (2006). Estimation of scour below spillways using neural networks. Journal of Hydraulic Research, 44(1), 61–69. https://doi.org/10.1080/00221686.2006.9521661

Samadi, M., Jabbari, E., Azamathulla, H. M., & Mojallal, M. (2015). Estimation of scour depth below free overfall spillways using multivariate adaptive regression splines and artificial neural networks. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 9(1), 291–300. https://doi.org/10.1080/19942060.2015.1011826

Samadi, M., Jabbari, E., & Azamathulla, H. M. (2014). Assessment of M5′ model tree and classification and regression trees for prediction of scour depth below free overfall spillways. Neural Computing and Applications, 24(2), 357–366. https://doi.org/10.1007/s00521-012-1230-9

Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45, 5–32.

Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 785–794.

Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. Machine Learning, 20, 273–297.

Lundberg, S. M., & Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. Advances in Neural Information Processing Systems, 30.

Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10(3), 282–290.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

NUMERICAL EVALUATION OF SEISMIC PERFORMANCE OF REPLACEABLE CLAMPED CONNECTION WITH DAMAGE CONCENTRATION IN PSEUDO-GUTTER FUSE

Masroor Malikyar
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Ahlul Bayt International University

Assistant Professor Payam Tarighi
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Ahlul Bayt International University

Assistant Professor Mehdi Shalchi Toosi
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Ahlul Bayt International University

Abstract
Beam-to-column connections are considered sensitive areas of steel flexural frames against seismic loads, and their performance plays a decisive role in the ductility, load-bearing capacity, and vulnerability of the structure. One of the new approaches in this field is the use of replaceable connections, which, by directing inelastic deformations to a sacrificial component, allow for limiting damage to a specific area and replacing it after an earthquake. In the present study, the cyclic behavior of a replaceable clamped connection equipped with a pseudo-gutter fuse has been investigated using nonlinear finite element analysis. First, in order to evaluate the numerical modeling capability, a replaceable connection with a sheet fuse was reconstructed in Abaqus software and its results were compared with laboratory data. The validation results also showed an acceptable agreement between the numerical and laboratory responses. Next, the proposed connection equipped with a pseudo-gutter fuse was subjected to cyclic loading. And its behavior was evaluated using the equivalent plastic strain distribution, moment-rotation curve and bending capacity. The results of the P20 model showed that the plastic hinge is formed in a concentrated manner in the pseudo-gutter fuse and the beam and column maintain their elastic behavior. The ultimate moment of the connection was 189.35 kNm and the plastic moment of the beam was 194.15 kNm; therefore, the connection was able to achieve about 98% of the plastic capacity of the beam and only about 2% of the capacity loss. In addition, the moment value of 169.1 kNm, equivalent to about 89% of the ultimate strength of the connection, was obtained; which indicates the concentration of inelastic deformations in the fuse and the maintenance of the elastic behavior of the main members, indicating the favorable performance of the interchangeability concept in the connection under study. The results show that the pseudo-gutter fuse, as a sacrificial component, can control the location of damage and pave the way for faster and less costly restoration of connection performance after an earthquake.
Keywords: clamped connection, pseudo-gutter fuse , replaceable connection, cyclic loading, bending capacity.

1. Introduction
Steel flexural frames are one of the common lateral load-bearing systems in structures located in seismic zones. In these systems, the beam-column connection is considered one of the most important structural areas because its performance can directly affect the lateral stiffness, load-bearing capacity, and ductile behavior of the frame.

In the event of improper connection performance, stress concentration and deformation can lead to localized damage and reduce the ability of the structure to absorb and dissipate energy[1].

The 1994 Northridge earthquake further highlighted the importance of this issue. The observation of brittle failure in some steel-clad joints highlighted the need for greater attention to damage distribution and control of the location of plastic hinges. Following this experience, new approaches to seismic design have been directed toward damage control and directing inelastic deformations to predetermined areas [2, 3].

One of the solutions proposed in this regard is the use of replaceable joints. In these systems, a specific component of the joint is considered as a sacrificial fuse so that the majority of inelastic deformations are concentrated in it. In this way, damage to the main structural members is limited and after an earthquake, by replacing the damaged component, it is possible to restore the joint's performance. In addition to controlling the location of the damage, this approach can also reduce the time and cost of repair operations [4, 5].

In previous studies, various types of replaceable components have been proposed to achieve such behavior. In 2020, Ozklik introduced a replaceable reduced-section beam connection, whose experimental and numerical results showed that the damage was concentrated in the replaceable part and that it could be replaced without welding operations [6].

Also, Li et al. (2024) showed that the use of replaceable T-stub connections can reduce seismic response and structural and non-structural damage and improve the resilience of steel frames. In another study, Dongde and Yang investigated the use of replaceable corners and reported improved seismic performance and the possibility of replacing damaged components [7, 8].

More recent research has also emphasized the use of structural fuses and replaceable components. The results of various studies have shown that concentrating inelastic deformations in a replaceable component can increase energy dissipation capacity, enable faster repair and return of the structure to service [9, 10].

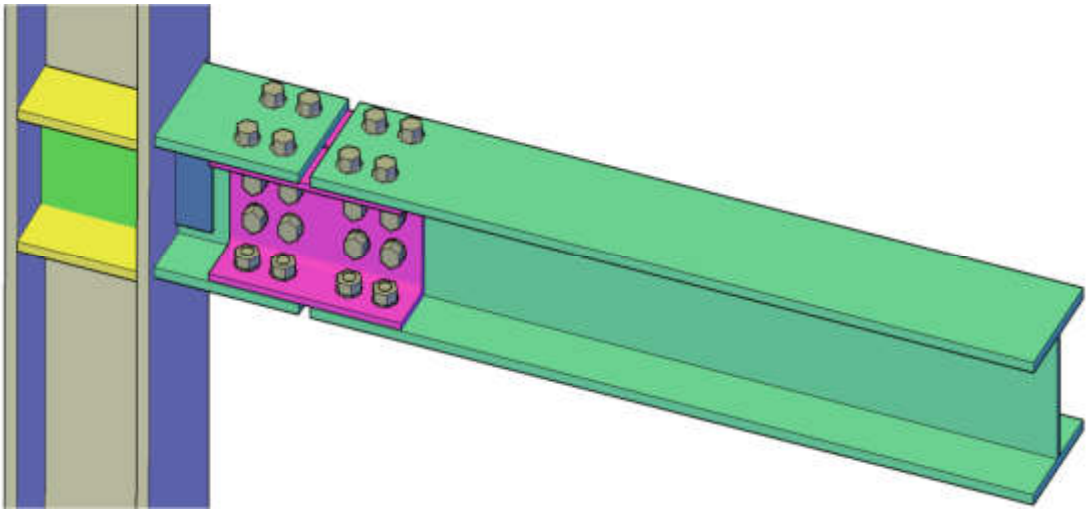
Despite these studies, investigating the behavior of a quasi-gutter fuse in replaceable clamped connections and how inelastic deformations are concentrated in it is a subject that requires accurate numerical evaluation. Therefore, in the present study, the cyclic behavior of a replaceable clamped connection equipped with a quasi-gutter fuse has been investigated using finite element modeling in Abaqus software.

2. Research Method

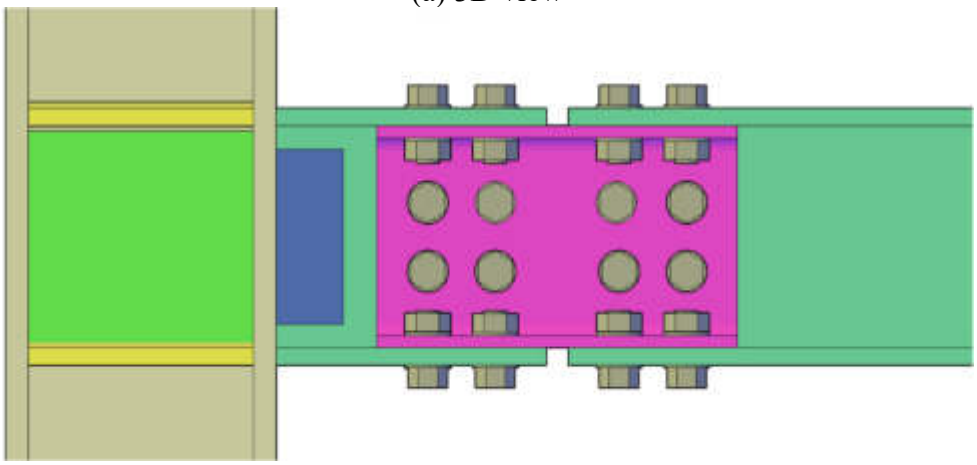
The research methodology in this study is based on nonlinear numerical analysis and finite element modeling. The research process was carried out in two main stages. In the first stage, the modeling method was evaluated using a validated laboratory specimen. In the second stage, a connection model equipped with a pseudo-gutter fuse was created and its behavior under cyclic loading was investigated.

In the validation phase, a replaceable clamped joint, in which the sheet was used as a fuse, was modeled in Abaqus. This joint had previously been investigated experimentally and numerically by Tariqi et al. [11] and therefore provided a suitable basis for evaluating the performance of the numerical model.

After ensuring the numerical model capability, the proposed connection equipped with a pseudo-gutter fuse was modeled. The response of the connection under reciprocating loading was investigated and the equivalent plastic strain index was used to evaluate the location of inelastic deformations. A schematic representation of this proposed connection is presented in Figure (1).



(a) 3D view



(b) Front view

Figure 1: General view of the proposed connection

3. Numerical model validation

To validate the numerical model, specimens P12-02 and P15-02, which had been previously investigated experimentally and numerically, were simulated in Abaqus software. In the model used, the beam length was 1445 mm and the column height was 2000 mm. Which is presented in Figure (2). Also, the specifications of the beam and column dimensions are presented in Table (1).

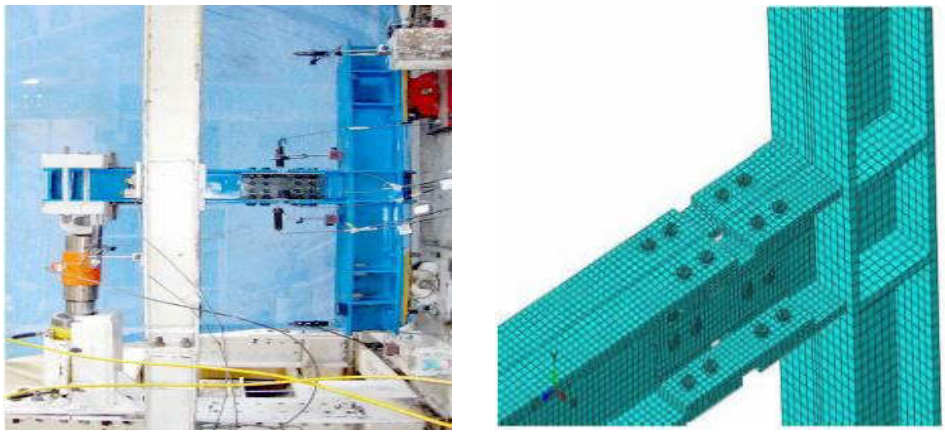
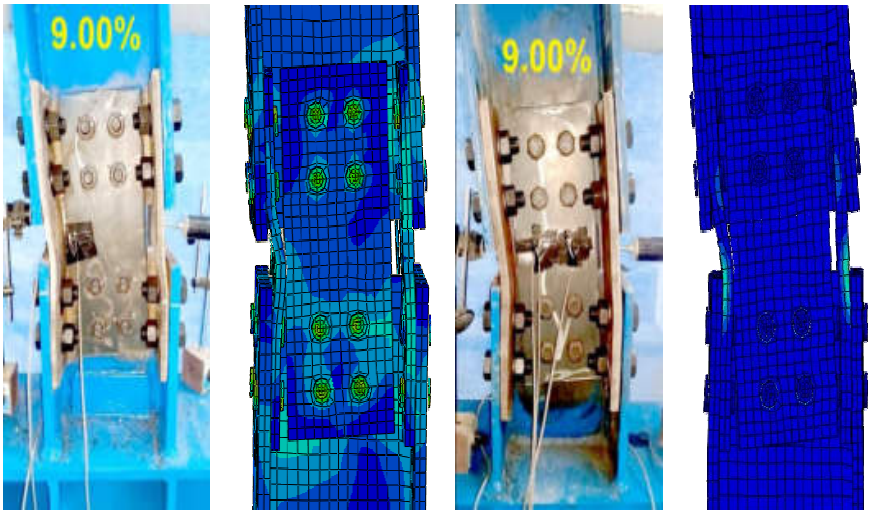


Figure 2: Meshing and loading

Table 1: Dimensions of beam and column sections

Member	John (mm)	Wing (mm)
Beam	190×8	200×15
Column	200×10	240×20

Loading was applied as a concentrated force at the end of the beam. The initial specimens P12-01 and P15-01 were loaded until a relative displacement of 7% radian, and after replacing the fuse member, specimens P12-02 and P15-02 were again subjected to cyclic loading and continued until a relative displacement of 9% radian. This is shown in Figure (3).



P15 (b) P12 (a)

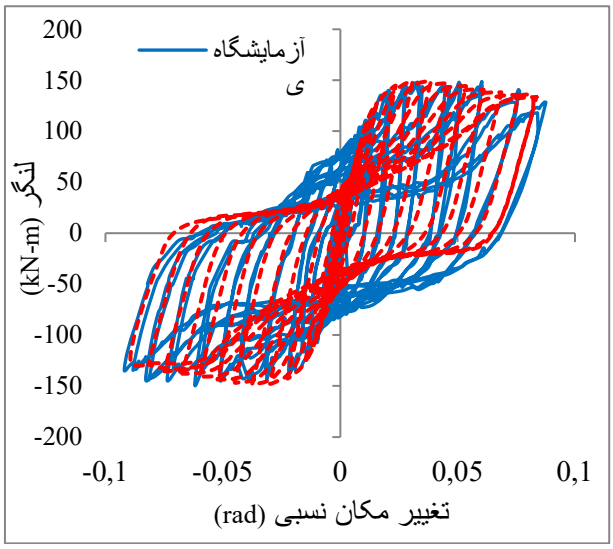
Figure 3: Comparison of results of laboratory and numerical examples

In the case of P12-02, the numerical and experimental results were compared in terms of behavioral parameters. The results showed that the difference in the reported values for different parameters was within an acceptable range. For the case of P15-02, a good agreement was also observed between the numerical and experimental results. This is shown in Table (2).

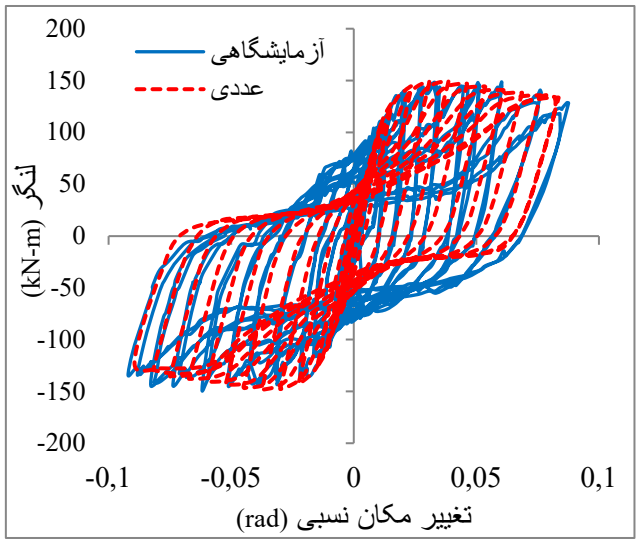
Table 2: Comparison of results of numerical and laboratory samples

P12-02	K_e (kN/mm)	M_u (kN-m)	θ_u(rad%)	Energy absorption (kJ)
Laboratory	7/83	142/35	2/67	10/24
Numerical	7/92	144/56	2/33	9/99
Difference%	1/13	1/52	0/12	2/44
P15-02				
Laboratory	9/52	148/61	3/14	11/56
Numerical	9/83	149/08	3/85	10/73
Difference%	3/15	0/315	0/11	7/18

Comparison of the hysteresis curves, as shown in Figure (4), also showed that the numerical model is able to reproduce the general trend of the cyclic behavior of the connection. Accordingly, the numerical modeling method was found to be suitable for analyzing the connection equipped with a pseudo-gutter fuse.



P15-02



P12-02

Figure 4: Comparison of numerical and laboratory hysteresis results

4. Numerical modeling of the proposed connection

After validation, a connection model equipped with a quasi-gutter fuse was created in Abaqus. In this system, the fuse was placed as a sacrificial component in the force transmission path and the main goal was to direct inelastic deformations to this component.
Eight-node solid elements were used to model the connection components. The areas with full penetration groove welds were modeled as continuous bodies. Hard contact with a friction coefficient of 0.30 was also defined on the contact surfaces. Bolt preload was also applied in the model using the Bolt Load feature.
The fuse used in the proposed model consists of a quasi-gutter section and its connection is made using high-strength bolts of grade (10.9).

5. Material specifications

The mechanical parameters of the materials used in the numerical model were extracted from a previous study by Tariqi and Kafi [12] and used without modification in the present model. This approach was adopted with the aim of maintaining consistency between the validated model and the proposed connection model, which is shown in Table (3).

Table 3: Material specifications

	Elasticity model (GPa)	The tension of surrender (MPa)	Ultimate tension (MPa)	Failure strain
ST-37	7/391	240/1	372/1	29/8
Connectors (10.9)	211/1	821/6	1046/6	13/0

6. Cyclic loading

To evaluate the connection behavior under cyclic loads, the cyclic loading protocol presented in [13] FEMA 350 was used. In this protocol, loading starts with small drifts and continues with a gradual increase in the displacement amplitude, as shown in Figure (5).

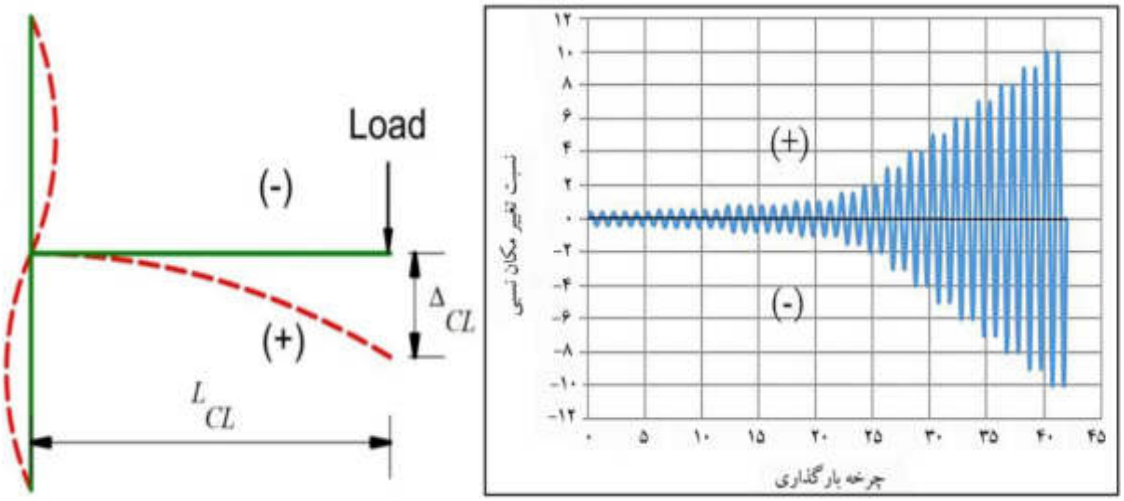


Figure 5: Loading protocol and load application method

In the initial stages, six cycles were applied at drifts of 0.00375, 0.005, and 0.0075 radians. After that, 2, 4, and 2 cycles were applied at drifts of 0.01, 0.015, and 0.02 radians, respectively. Subsequently, the drift amplitude was increased by 0.01 radians at each stage, and two cycles were applied at the fourth stage. In the present numerical model, loading was applied at the end of the beam and the loading process continued until the drift of 0.08 radians. The ends of the columns were also idealized as joint supports.

7. Plastic joint identification criteria

One of the most important objectives of the analysis was to determine the location of inelastic deformations and to investigate the success of the fuse in concentrating the damage. For this purpose, the parameter PEEQ or cumulative equivalent plastic strain was used.

This parameter indicates the amount of accumulated inelastic deformation in the model components and, therefore, can be used to identify areas entering the plastic limit. In the present analysis, the distribution of PEEQ in the fuse, beam and column was investigated with the aim of determining the location of plastic hinge formation.

8. Results and Discussion

Plastic strain distribution in the P20 model

The P20 model was analyzed as the main model of the connection equipped with a pseudo-gutter fuse under cyclic loading. The investigation of the equivalent plastic strain distribution showed that the inelastic deformations were concentrated in the fuse area, which is presented in Figure (6).

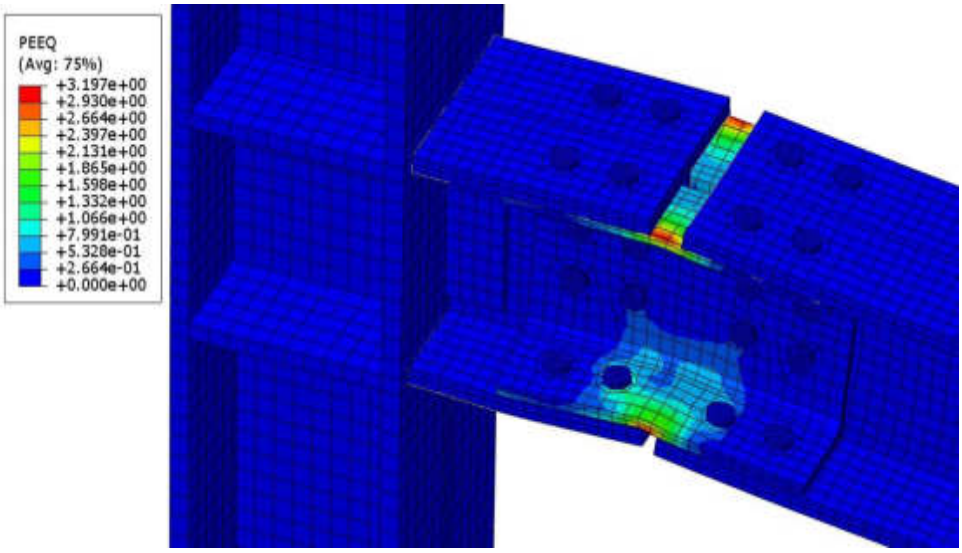


Figure 6: Plastic strain distribution in the proposed connection P20

According to the results, the plastic hinge was formed exclusively in the pseudo-gutter fuse. While the beam and column maintained their elastic behavior. The highest concentration of plastic strain was also observed in the central area of the fuse wing. This behavior pattern is of particular importance from the point of view of seismic performance, because it shows that the fuse has been able to play the role of a sacrificial component and keep inelastic deformations away from the main members. Therefore, in the event of damage to the fuse due to an earthquake, it will be possible to replace it without the need to replace the main members.

9. Cyclic connection behavior

The moment-torque curve of the P20 model, shown in Figure (7), represents the cyclic behavior of the joint under reciprocating loading. The results showed that the joint maintained a suitable resistance capacity during the loading process and its behavior was accompanied by a concentration of deformation in the fuse.

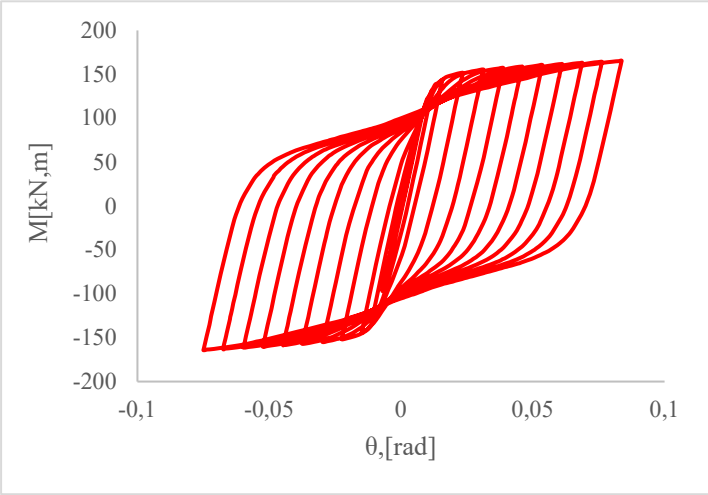


Figure 7: Cyclic diagram of the proposed connection P20

In this model, the ultimate moment of the connection was 189.35 kNm. This value is compared to the plastic moment of the beam, which was reported to be 194.15 kNm. It indicates that the connection was able to provide about 98% of the plastic capacity of the beam. Such a level of bending capacity, along with the concentration of plastic strain at the fuse, indicates that the reduction in the capacity of the connection relative to the plastic capacity of the beam was limited and that the system was able to strike a good balance between resistance capacity and interchangeability.

10. Connection resistance capacity

Based on the numerical results, the value of M was obtained as 169.1 kNm, which constitutes about 89% of the ultimate strength of the connection. This result shows that the connection has maintained a significant part of its resistance capacity even in the final stages of loading. Another value obtained in the numerical results is 152.70 kNm, which constitutes about 81% of the ultimate moment of the connection. The numerical values of the P20 model are presented in Table (4).

Table 4: model results P20

Parameter	Model	Fuse thickness	Final connection anchor	Plastic beam anchor	Ratio of connection capacity to plastic capacity of beam	Anchor M	Ratio of M to ultimate strength	Another reported anchor	The ratio of the aforementioned value to the final anchor
Amount	P20	10 mm	189.35 (kN.m)	194.15 (kN.m)	98%	169.1 (kN.m)	89%	152.70 (kN.m)	81%

11. Interchangeability and damage control

One of the most important features of the system under study is the possibility of transferring damage to a specific and replaceable member. The results of the plastic strain distribution showed that in the P20 model, inelastic deformations are concentrated in the pseudo-gutter fuse and the beam and column are protected from extensive entry into the plastic range. The concentration of damage in the fuse allows for the repair operation to be limited to the replacement of this component after an earthquake. As a result, unlike the case where damage occurs in the main members, the need for extensive repairs is reduced and the connection can be returned to service conditions more quickly.

12. General discussion of the results

Overall, the results of the validation and analysis of the proposed connection show that the finite element model used has a good ability to represent the cyclic behavior of interchangeable steel connections. The good agreement of the numerical and experimental results of the validation samples provided the necessary background for examining the model equipped with a pseudo-gutter fuse. In the P20 model, a favorable behavior was also observed in terms of the location of inelastic deformations. The concentration of plastic strain in the fuse and the remaining of the beam and column in the elastic range indicate that the desired mechanism for damage control has been realized in this model. On the other hand, the high flexural capacity of the connection compared to the plastic capacity of the beam confirms its appropriate resistance performance. The achievement of 189.35 kNm and ultimate moment against 194.15 kNm of the plastic capacity of the beam indicates that the connection has a significant flexural capacity in addition to its interchangeability. Therefore, the most important achievement of the studied model can be said to be the simultaneous provision of adequate resistance capacity and damage concentration in the replaceable component. This feature makes the proposed connection significant in terms of reducing damage to the main members and facilitating post-earthquake repair.

13. Conclusion

In this study, the cyclic behavior of the replaceable fixed connection equipped with a P20 model pseudo-gutter fuse was evaluated using nonlinear finite element analysis. The results showed that this model exhibits a desirable behavior in terms of bending capacity, the formation of plastic joint, and the preservation of the performance of the main members. Based on the results obtained, the most important findings of this study can be stated as follows:

In the P20 model, the plastic joint was formed exclusively in the quasi-gutter fuse, and the beam and column remained within the elastic behavior range. The highest concentration of plastic strain was also observed in the central area of the fuse wing. This distribution of deformations indicates the achievement of the main goal of the replaceable connection, namely, directing and concentrating damage in a predetermined component.

The concentration of inelastic strains in the quasi-gutter fuse protected the main members of the connection from significant plastic damage. Therefore, after an earthquake, the damaged fuse can be replaced to restore the connection performance; a feature that enhances the repairability and faster return of the structure to operating conditions.

The results of the numerical analysis showed that the P20 model, with a fuse thickness of 10 mm, has a desirable bending capacity. The ultimate moment of the connection was 189.35 kNm and the plastic moment of the beam was 194.15 kNm. Comparing these two values shows that the connection was able to provide about 98% of the plastic capacity of the beam and its capacity loss was only abot 2%.

The value of the moment M in the P20 model was obtained as 169.1 kNm for the parameter reported in the P20 model results, which is equivalent to about 89% of the ultimate strength of the connection. This value indicates that the connection was able to maintain most of its resistance capacity even in the final stages of loading, and no severe decrease in resistance was observed during the loading process.

Also, a value of 153.70 kNm was obtained for the parameter reported in the P20 model results, which constitutes about 81% of the ultimate moment of the connection. This result, along with the concentration of deformations in the fuse, indicates the appropriate ductility and stability of the nonlinear behavior of the connection before reaching the ultimate strength.

Overall, the behavior of the P20 model showed that the quasi-gutter fuse was able to simultaneously meet two basic goals: maintaining an appropriate bending capacity of the connection and concentrating the damage in a replaceable component. Such behavior is of particular importance from the perspective of seismic design and structural repairability; instead of the damage spreading in the main and costly members of the structure, it is concentrated in the fuse and after a seismic event, the connection can be restored by replacing it.

The results of the P20 model show that the proposed connection, with its appropriate bending capacity, low strength loss, favorable concentration of inelastic deformations, and preservation of elastic behavior of beams and columns, has a suitable capacity for use as a replaceable connection in steel flexural frames. From this perspective, the quasi-gutter fuse can play an effective role as a sacrificial component in controlling the damage location and facilitating the repair and reconstruction process of the structure after an earthquake.

14. Suggestions for future studies

According to the results obtained, full-scale laboratory studies to more accurately evaluate the behavior of the proposed connection, study its behavior in different cyclic loading ranges, and investigate the performance of the fuse after replacement can be considered in the continuation of this research. Also, evaluating the performance of the connection under more complex loading conditions can provide a more comprehensive understanding of its capacity and repairability.

Acknowledgements

I would like to express my sincere gratitude to Dr. Payam Tariqi for his valuable and unwavering guidance throughout the course of this research.

15. Resources

[1] Rasaie, B. Mosaddegh, I. (2025). “Hysteretic Behavior of Replaceable Connectors in Steel Frames with Reduced Section Methods”. February, 28.

Doi.org/10.36227/techrxiv.174123328.86086201/ v1

[2] Gharaili, A., R., Saroghad Moghadam, A., R., Darwishan, A., and Kowsarieh, H. (1401). Laboratory and numerical study of steel flexural frames with fuse pins and frictional screw-type damping connections, Scientific and Research Journal of Structures and Steel, 28, No. 35. (in Persian)

[3] Zarfam, P. Javadi, P. and Safarizadeh, B. (1401). Laboratory study of RBS connection using interchangeable can-shaped joints at the joint formation site. Scientific Research Journal of Structural and Manufacturing Engineering, Volume 9, Issue 1, pp. 95-113. (in Persian)

[4] Menghini, A. Kanyilmaz, A. Castiglioni, C, A. and Calado, L. (2025). “A dissipative replaceable bracing component for steel-composite building frames”. Structures, 76, 108941.

[5] Bao, Y. Yang, F. Li, X. Ma, T. (2025). " Numerical study on seismic performance of concrete-filled steel tube column- steel beam joints with replaceable T-type connectors". Structures, 79, 109606.

[6] Ozkilic, Y. O. (2020), "A new replaceable fuse for miment resisting frames: Replaceable bolted rebuced beam section connection", steel and composite Structure, 35(3), p, 353-370.

[7] Li, T. Men, J. Zhang, Q. Li, J. and Huang, C-H. (2024). "Seismic fragility and resilience assessment of steel frame with replaceable T-stub connection components", Engineering Structures, 314, 118396.

[8] Dongde, SUN. and Yong. YANG. (2021). "Experimental study on seismic performance of prefabricated replaceable beam-column connectors using double-sided angle steel", The 17 th Woeld Conference on Earthquake Engineering, Sendai, Japan-September 27 th to October 2.

[9] Peng, X. Li, Z. Rong, B. Wang, R. Liu, J. Sun, Y. Zhang, W. and Wu, H. (2025), "Seismic Performance of post-earthquake repaired end –plate connestions",

[10] Park, S. Gilroy, J. Clayton, P. Dundore, A. Acevedo, S. (2026). "Effects of column design variations on seismic performance of steel moment-resisting frames with fuse connections". Thin-Walled Structures, 222, 114565.

[11] Tarighi, P. Kafi, M., A. and Vahdani, R. (1402). Laboratory evaluation of the performance of the connector with replaceability, Imran Sharif Engineering Journal, Volume 39, Number 4, pp. 17-3. (in Persian).

[12] Tariqi, P. and Kafi, M. A. Numerical evaluation of the behavior of fixed connections using fusible splice plates in steel flexural frames under cyclic loading, Scientific Research Journal of Structural Engineering and Construction. (in Persian).

[13] FEMA-350 (2000). "Recommended Seismic Design Crieria For New Steel Moment – Frame Buildngs", Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EFFECT OF INDUSTRIAL WASTE COMPOSITION ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SUSTAINABLE GEOPOLYMER MATRICES

Dr. Fatima Zahra FALAH
Laboratory of analytical and molecular chemistry, Faculty of Sciences Ben M'sik, Avenue Cdt Driss El Harti, Hassan II University of Casablanca

Dr. Hasna HAMDANE
National Center of Science, Technology and Nuclear Energy (CNESTEN), Morocco; Center for Nuclear Maamoura (CENM)

Dr. Bilal EL. BAKKARI
National Center of Science, Technology and Nuclear Energy (CNESTEN), Morocco; Center for Nuclear Maamoura (CENM)

Dr. Touria EL. GHAILASSI
National Center of Science, Technology and Nuclear Energy (CNESTEN), Morocco; Center for Nuclear Maamoura (CENM)

Abstract
The development of sustainable construction materials from industrial waste has gained increasing attention due to the need to reduce environmental impacts and promote resource recovery. Geopolymer materials represent a promising alternative to conventional cement-based materials, owing to their potential to valorize industrial by-products and reduce the consumption of traditional raw materials. This study investigates the effect of industrial waste composition on the physical and mechanical properties of sustainable geopolymer matrices. The formulations were developed using industrial waste-based precursors with variations in their relative proportions. An alkaline activating solution composed of sodium hydroxide and sodium silicate was used to promote geopolymerization. The prepared specimens were subjected to controlled curing conditions before characterization. Their performance was evaluated through compressive strength, density, water absorption, and porosity measurements. In addition, complementary physicochemical characterization techniques, including Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and X-ray diffraction (XRD), may be used to investigate the structural features and reaction products of the developed matrices. The relationship between precursor composition and the resulting material properties is examined to identify formulations with suitable physical and mechanical performance. This research contributes to the development of more sustainable geopolymer materials through the valorization of industrial resources and supports further investigation into their potential applications in environmental and radiation-protection-related materials.
Keywords: Geopolymer matrices; Industrial waste valorization; Sustainable materials; Mechanical properties

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

CAPTIVE DOMINATION-DEPENDENT RESOURCE ALLOCATION TO COMPUTER NETWORKS WITH GRID STRUCTURE

Yegnanarayanan Venkataraman
School of Engineering and Technology, CMR University
ORCID: 0000-0001-9798-8825

T. Kalaiselvi
School of Engineering and Technology, CMR University

Abstract
Efficient deployment of computational resources and monitoring them is a pertinent challenge in grid-based computer and IoT networks. This work is concerned with a graph-theoretic resource-allocation skeleton dependent on captive domination. A network is represented by the strong product $P_n \boxtimes P_m$ of two path graphs, where vertices represent network devices and adjacency represents direct communication. A captive dominating set is a total dominating set D such that every vertex of D has at least one neighbor in V−D. Thus, each chosen resource node has both a resource peer and a neighboring network node. Three application parameters are introduced: captive resource overhead, captive resource density and captive resource efficiency. Using established exact domination and total-domination results for strong products of paths, corresponding resource-allocation results are obtained for selected grid families. In particular, for $P_{\{4r\}} \boxtimes P_{\{3r\}}$, the minimum captive resource requirement is $2r^2$, the resource density is 1/6, and the resource efficiency is six network devices per selected resource. The captive resource overhead is zero for this family. A constructive block-based allocation algorithm and an integer-linear-programming formulation are also presented. The skeleton provides a mathematical foundation for future weighted, fault-tolerant and learning-based network resource allocation.
Keywords: captive domination; total domination; resource allocation; strong product; grid network; IoT; network monitoring.

1. Introduction

Modern computer networks, IoT systems and distributed computing infrastructures contain large numbers of interacting devices. Monitoring, control and computational resources cannot always be installed at every device because of cost, energy, maintenance and hardware limitations. A fundamental network-design problem is therefore to determine a small set of strategically positioned devices that can provide network-wide coverage while maintaining local connectivity.

Graph theory provides a natural skeleton for this challenge. A network can be represented by a graph G=(V,E), where vertices represent computers, sensors, routers, servers or IoT devices and edges represent communication links. The classical domination number $\gamma(G)$ gives the minimum number of vertices required to dominate a graph. Total domination strengthens this condition by requiring every vertex to have a neighboring selected vertex.

Captive domination provides an additional structural restriction. A set $D \subset V(G)$ is a captive dominating set if D is a total dominating set and every vertex $v \in D$ has at least one neighbor in V−D [1,2]. Consequently, a selected resource node must have both a selected resource peer and an ordinary neighboring network node. This has a direct interpretation in resource placement: a monitoring or control resource must cooperate with another resource while also remaining connected to an ordinary device.

Recent studies have established bounds and structural properties of captive domination and have shown that $\gamma_{ca}(G)$ can be strictly larger than $\gamma_t(G)$ for some graphs [2,3]. Hence the captive constraint is not redundant in general. Grid-like network structures are useful mathematical models for spatially regular sensor, communication and computing systems. The strong product $P_n \boxtimes P_m$ incorporates horizontal, vertical and diagonal adjacency and therefore provides a convenient strong-grid model. In earlier work, domination, total domination and captive domination were investigated for strong products of two paths, with exact values obtained for several families [6].

The present paper reinterprets these graph-theoretic results as a resource-allocation framework. Three application measures are introduced: captive resource overhead, captive resource density and captive resource efficiency. The aim is to provide a short, mathematically precise proceedings paper that can later be expanded into a larger journal study.

2. Related Work and Research Gap

Domination and total domination are classical graph-theoretic models for coverage and monitoring. Their network interpretation is well established. Captive domination was introduced by Al-Harere, Omran and Breesam [1], who required a total dominating set in which each selected vertex also has an external neighbor. Vaidya and Vadhel [2] developed further properties and constructions, including examples in which captive and total domination differ. Shaveisi and Moshtagh [3] obtained additional bounds for the captive domination number. Vadhel and Jadeja [7] continued the study of captive domination and graph operations, while restrained captive domination has been considered as a related variant [8].

Strong products are useful for grid-structured graphs because adjacency can represent horizontal, vertical and diagonal communication. Recent work continues to study domination and packing parameters in strong products [4,5]. The authors' earlier study of $P_n \boxtimes P_m$ provides the mathematical foundation used here [6].

A parallel research direction concerns computational resource allocation. Recent studies employ graph neural networks (GNNs), deep reinforcement learning and hybrid optimization for V2X, vehicular and IoT resource allocation [9–12]. These works generally optimize communication, power, bandwidth, latency, task offloading or computation. The present paper addresses a complementary structural question: how many monitoring/control resources are required, and where can they be placed, so that every node is covered while every selected resource has both a resource peer and an ordinary neighbor?

The main research gaps are therefore: (i) limited application of captive domination to computer-network resource placement; (ii) lack of resource-density and resource-efficiency measures for captive domination; (iii) limited scalability interpretation of exact captive-domination results on grid structures; and (iv) limited integration of exact graph-theoretic solutions with optimization formulations that can later support heuristic or learning-based methods.

3. Proposed Resource-Allocation Methodology

Let $G=(V,E)=P_n \boxtimes P_m$ represent a grid-structured computer network. Each vertex represents a network device and each edge represents a direct communication relationship. Let $D \subset V$ be the selected resource nodes. $N(v) \cap D \neq \emptyset$, for every $v \in V$. (1) $N(v) \cap (V - D) \neq \emptyset$, for every $v \in D$. (2) Condition (1) guarantees complete one-hop monitoring and also ensures that each selected vertex has another selected neighbor. Condition (2) is the captive condition and ensures that each selected resource has at least one neighboring ordinary device.

The minimum cardinality of such a set is the captive domination number $\gamma_{ca}(G)$. Three application metrics are defined. The captive resource overhead is $CO(G) = \gamma_{ca}(G) - \gamma_t(G)$. (3) The captive resource density is $\rho_{ca}(G) = \gamma_{ca}(G) / |V(G)|$.
(4) The captive resource efficiency is $\eta_{ca}(G) = |V(G)| / \gamma_{ca}(G)$. (5). The first quantity measures the additional resource cost caused by the captive condition. The second measures the proportion of devices selected as resources. The third measures the number of network devices corresponding to one chosen resource in the graph-theoretic allocation model.

4. New Mathematical Results

Theorem 1. For every graph for which the parameters are defined, $\gamma(G) \le \gamma_t(G) \le \gamma_{ca}(G)$. (6)
Proof. Every total dominating set is a dominating set, so $\gamma(G) \le \gamma_t(G)$. Every captive dominating set is, by definition, a total dominating set, so $\gamma_t(G) \le \gamma_{ca}(G)$. Therefore $\gamma(G) \le \gamma_t(G) \le \gamma_{ca}(G)$. □
Theorem 1 gives Captive Resource Hierarchy.
Theorem 2. For every graph, $CO(G) \ge 0$. Moreover, $CO(G)=0$ if and only if a minimum total dominating set is also a captive dominating set.
Proof. By Theorem 1, $\gamma_t(G) \le \gamma_{ca}(G)$. Hence $CO(G) = \gamma_{ca}(G) - \gamma_t(G) \ge 0$. If $CO(G)=0$, the two parameters are equal and a minimum captive dominating set is also a minimum total dominating set. Conversely, if a minimum total dominating set is captive, then $\gamma_{ca}(G) \le \gamma_t(G)$; together with $\gamma_t(G) \le \gamma_{ca}(G)$, equality follows. □
Theorem 2 gives Nonnegative Captive Resource Overhead.
Theorem 3. Let $G_r = P_{\{4r\}} \boxtimes P_{\{3r\}}$. For the family covered by the authors' earlier strong-product result, $\gamma_{ca}(G_r) = 2r^2$. (7)
Proof. The earlier result gives $\gamma_t(P_{\{4r\}} \boxtimes P_{\{3r\}}) = 2r^2$ and establishes that the corresponding construction also has the captive property. Therefore $\gamma_{ca}(P_{\{4r\}} \boxtimes P_{\{3r\}}) = 2r^2$. □
Theorem 3 gives Exact Captive Allocation for a Strong-Grid Family.
Theorem 4. For $G_r = P_{\{4r\}} \boxtimes P_{\{3r\}}$, $\rho_{ca}(G_r) = 1/6$. (8)
Proof. Since $|V(G_r)| = (4r)(3r) = 12r^2$ and $\gamma_{ca}(G_r) = 2r^2$, $\rho_{ca}(G_r) = 2r^2/(12r^2) = 1/6$. □
Theorem 4 gives Constant Resource Density.
Theorem 5. For $G_r = P_{\{4r\}} \boxtimes P_{\{3r\}}$, $\eta_{ca}(G_r) = 6$. (9)
Proof. $\eta_{ca}(G_r) = |V(G_r)| / \gamma_{ca}(G_r) = 12r^2/(2r^2) = 6$. □
Theorem 5 gives Constant Resource Efficiency.
Theorem 6. For $G_r = P_{\{4r\}} \boxtimes P_{\{3r\}}$, $CO(G_r) = 0$. (10)
Proof. The established values satisfy $\gamma_{ca}(G_r) = \gamma_t(G_r) = 2r^2$. Hence $CO(G_r) = 2r^2 - 2r^2 = 0$. □
Theorem 6 gives Zero Captive Resource Overhead.

5. Resource Allocation Algorithms

Algorithm 1. Input: r; Network: $P_{\{4r\}} \boxtimes P_{\{3r\}}$; Output: minimum captive resource set D.
Construct $G = P_{\{4r\}} \boxtimes P_{\{3r\}}$. Partition G into r^2 constant-size 4×3 blocks. In each block, select the two vertices belonging to the optimal captive configuration. Let D be the union of all selected vertices. Verify conditions (1) and (2). Return D. The construction contains $2r^2$ selected vertices. Since this equals $\gamma_{ca}(G_r)$, it is optimal for the specified family. The graph has $12r^2$ vertices and r^2 constant-size blocks; therefore, the construction requires $O(r^2) = O(|V|)$ operations.
Algorithm 1gives a Captive Allocation.

Algorithm 2. For a general graph, candidate subsets may be examined in increasing cardinality. For each candidate D, first test whether every vertex has a neighbor in D and then test whether every vertex of D has a neighbor in V−D. The first feasible set is a minimum captive dominating set. The exhaustive search has worst-case exponential complexity and is therefore intended for small instances and validation.
Algorithm 2 gives an Exact Captive Allocation for Small Networks.

ILPP Formulation
Let $x_v \in \{0,1\}$ indicate whether v is selected. The objective is minimize $\Sigma_{\{v\in V\}}\ x_v$. (11) Total domination is imposed by $\Sigma_{\{u\in N(v)\}}\ x_u \geq 1$, for every $v\in V$. (12) To ensure that every selected vertex has a selected neighbor, use $\Sigma_{\{u\in N(v)\}}\ x_u \geq x_v + 1$, for every $v\in V$. (13) For the external-neighbor condition, introduce $y_{\{vu\}}\in\{0,1\}$, where $y_{\{vu\}}=1$ indicates an unselected neighbor u of a selected vertex v. Use $y_{\{vu\}} \leq x_v$, $y_{\{vu\}} \leq 1-x_u$, (14) $\Sigma_{\{u\in N(v)\}}\ y_{\{vu\}} \geq x_v$, for every $v\in V$. (15) The optimum of this ILP is $\gamma_{ca}(G)$. It provides an independent computational method for validating the constructive results.

6. Numerical Interpretation and Discussion
For $G_r=P_{\{4r\}}\boxtimes P_{\{3r\}}$, the theoretical results are summarized below.

r	Network	|V|	γ_{ca}	CO	ρ_{ca}	η_{ca}
1	$P_4 \boxtimes P_3$	12	2	0	0.1667	6
2	$P_8 \boxtimes P_6$	48	8	0	0.1667	6
3	$P_{12} \boxtimes P_9$	108	18	0	0.1667	6
4	$P_{16} \boxtimes P_{12}$	192	32	0	0.1667	6
5	$P_{20} \boxtimes P_{15}$	300	50	0	0.1667	6

The table shows that both the network order and the minimum number of captive resources grow quadratically with r. Nevertheless, their ratio remains constant. Exactly one-sixth of the network vertices are selected as resources in this family, corresponding to a density of approximately 16.67%. The efficiency is six network devices per selected resource in the mathematical model.
The zero value of CO is particularly relevant. It means that, for this family, imposing the additional captive requirement does not increase the minimum number of resources beyond total domination. Thus the selected resources can simultaneously satisfy complete monitoring, resource-peer connectivity and external-node connectivity without additional resource expenditure.
The result should be interpreted as a mathematical network model rather than as a direct claim about a particular physical deployment. Real networks may have heterogeneous device capacities, weighted costs, link failures and dynamic topology. Nevertheless, the exact solutions provide useful benchmark configurations for later optimization and learning-based approaches.

7. Conclusion and Future Research
A compact graph-theoretic framework for resource allocation in grid-structured computer networks has been presented using captive domination. The strong product $P_n\boxtimes P_m$ is used as a mathematical network model, with selected vertices interpreted as monitoring or control resources. Three application parameters—captive resource overhead, captive resource density and captive resource efficiency—provide direct network interpretations of captive domination.

For the family $P_{\{4r\}}\boxtimes P_{\{3r\}}$, the established mathematical results yield $\gamma_{ca}=2r^2$, $|V|=12r^2$, $\rho_{ca}=1/6$, $\eta_{ca}=6$ and $CO=0$. Thus the family has constant resource density and efficiency, while the additional captive requirement produces no resource overhead. A structured constructive algorithm and an ILP formulation were also given. Future research will investigate weighted captive domination, fault-tolerant and k-captive variants, dynamic resource reallocation, energy-aware placement and the complete set of pairs (n,m) for which $\gamma_{ca}(P_n\boxtimes P_m)=\gamma_t(P_n\boxtimes P_m)$. A further direction is to use exact captive-dominating solutions as benchmark or training data for graph neural networks and reinforcement-learning models for large and dynamic network resource allocation.

References

[1] Al-Harere, M. N., Omran, A. A., and Breesam, A. T., "Captive domination in graphs," Discrete Mathematics, Algorithms and Applications, 12(6), 2050076, 2020. doi:10.1142/S1793830920500767.

[2] Vaidya, S. K., and Vadhel, H. D., "Some new results on captive dominating sets in graphs," Discrete Mathematics, Algorithms and Applications, 2024. doi:10.1142/S1793830923500489.

[3] Shaveisi, F., and Moshtagh, H., "Some bounds for the captive domination number of graphs," Discrete Mathematics, Algorithms and Applications, 16(8), 2350108, 2024. doi:10.1142/S1793830923501082.

[4] Bujtás, C., Iršič Chenoweth, V., Klavžar, S., and Zhang, G., "On d-distance p-packing domination number in strong products," Annals of Combinatorics, 2026. doi:10.1007/s00026-026-00814-0.

[5] Cao, Y., Mou, G., and Wang, J., "On well (edge) dominated and equimatchable strong product graphs," Discrete Mathematics, 349(1), 114718, 2026. doi:10.1016/j.disc.2025.114718.

[6] Thangam, T. K., Venkataraman, Y., and Thinakaran, R., "On domination and total domination numbers on strong product of two path graphs," Preprints, 2025. doi:10.20944/preprints202505.1725.v2.

[7] Vadhel, H. D., and Jadeja, M. R., "A study on captive domination in graphs," Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing, 125, 453–460, 2025. doi:10.61091/JCMCC125-31.

[8] Alrikabi, Z. Y., Omran, A. A., and Hwaeer, H. J. A., "Restrained captive domination number," Open Engineering, 14(1), 2024. doi:10.1515/eng-2022-0510.

[9] Shao, R., Zhang, R., and Yang, L., "Graph neural network-based task offloading and resource allocation for scalable vehicular networks," IET Communications, 2025. doi:10.1049/cmu2.70064.

[10] Huan, Z., et al., "Resource allocation in V2X networks: A double deep Q-network approach with graph neural networks," Computers, Materials & Continua, 84(3), 5427–5443, 2025. doi:10.32604/cmc.2025.065860.

[11] Asiri, F., Almusharraf, A., and Jeet, R., "AI-driven dynamic resource allocation for IoT networks using graph-convolutional transformer and hybrid optimization," IET Software, 2025. doi:10.1049/sfw2/8820546.

[12] Yu, W., Yang, X., and Yu, S., "A V2X communication resource allocation method based on graph neural networks and deep reinforcement learning," Scientific Reports, 16, 23131, 2026.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BRIDGING INDIA'S ECONOMIC DEVELOPMENT DIVIDE: INTER-STATE DISPARITIES, HUMAN DEVELOPMENT AND INCLUSIVE GROWTH

Dr. Khursheed Alam
Department of Mathematics & Data Science, Sharda School of Engineering & Science (SSES), Sharda University

Abstract
Economic development in India has undergone substantial transformation over the past several decades, accompanied by structural changes in agriculture, industry, services, urbanization, infrastructure, education, health and employment. However, economic growth measured through indicators such as Gross Domestic Product (GDP), Gross State Domestic Product (GSDP) and per capita income does not necessarily translate into equivalent improvements in the social conditions of all sections of society. India continues to experience significant inter-state and intra-state disparities in income, poverty, employment, education, health, consumption and access to basic amenities. This paper examines the relationship between economic development and social progress in India, with particular emphasis on regional disparities and the multidimensional nature of development. The study is based on secondary information and considers economic and social indicators including per capita Net State Domestic Product (NSDP), poverty, unemployment, per capita consumption expenditure, Human Development Index (HDI), Social Progress Index (SPI), inequality and governance. The analysis indicates that economically stronger states generally demonstrate higher levels of social progress, but the relationship is neither linear nor uniform. Kerala provides an important example of a state that has achieved comparatively high human and social development despite not always occupying the highest position in conventional economic indicators. The study further highlights the importance of education, healthcare, social infrastructure, employment generation and effective governance in converting economic resources into human well-being. The paper argues that India's development strategy should move beyond GDP-centred assessment and integrate economic growth with social justice, human capability, regional balance and inclusive development.
Keywords: Economic Development; Social Research; India; Inter-State Disparities; Human Development; Social Progress; Poverty; Inequality; Inclusive Growth; Governance.

1. Introduction
Economic development is a multidimensional process involving improvements in income, employment, productivity, infrastructure, education, healthcare, social security and the overall quality of human life. Economic growth constitutes an important component of this process; however, an increase in national income alone cannot adequately represent the well-being of citizens.

India represents a particularly important case for studying the relationship between economic development and social progress because of its enormous geographical, demographic and socio-economic diversity. Although the Indian economy has expanded significantly, considerable differences continue to exist among states and regions with respect to income, poverty, employment, education, healthcare, infrastructure and human development.

The conventional measurement of economic development through GDP, GSDP and per capita income provides valuable information about economic performance but does not adequately capture the distribution of economic resources or the quality of social services. The distinction between economic growth and broader human development has therefore become an important area of development research.

The development perspective associated with Amartya Sen emphasizes the expansion of human capabilities and freedoms. From this perspective, income is an important means of achieving development but is not its ultimate objective. Education, health, social security, participation, equality and access to opportunities are equally important dimensions of human development.

The central question addressed in this paper is whether economic growth automatically results in social development or whether the transformation of economic resources into human well-being depends upon public policy, social infrastructure, institutional capacity and governance.

2. Objectives of the Study

The major objectives of the present study are:

1. To examine the relationship between economic development and social development in India.
2. To study inter-state and intra-state disparities in socio-economic development.
3. To examine the limitations of GDP and per capita income as measures of overall development.
4. To analyze the role of poverty, employment, consumption, education and healthcare in social development.
5. To examine the relationship between economic resources and social progress.
6. To study the role of governance and public investment in inclusive development.
7. To suggest policy measures for reducing regional and socio-economic disparities in India.

3. Review of Literature

The relationship between economic development and social welfare has been extensively examined in the Indian context. Dreze and Sen emphasized that economic development should be evaluated in terms of human well-being, social opportunity and public action rather than economic growth alone. Their work highlighted the importance of education, healthcare and social security in reducing deprivation.

Studies on inequality in India have identified substantial differences across states and between rural and urban populations. The literature indicates that regional inequalities increased during the post-liberalization period, while employment generation did not always increase in proportion to economic growth.

Das examined socio-economic development among Indian states using a composite index and demonstrated substantial variation among states. The study emphasized the need to extend development measurement beyond conventional economic indicators toward human capabilities.

Ohlan examined regional disparities at the district level and identified considerable differences in agricultural, industrial and infrastructural development across Indian regions.

The Social Progress Index provides a broader framework for assessing development through basic human needs, foundations of well-being and opportunities for advancement. Such an approach is particularly relevant to India because economic prosperity can coexist with deficiencies in education, healthcare, sanitation, employment and social inclusion.

The reference study by Nandy similarly demonstrates that states with higher economic resources generally exhibit greater social progress, while also identifying important exceptions, particularly Kerala, which performs strongly on social-development indicators relative to its economic position.

4. Research Methodology

4.1 Research Design

The study adopts a descriptive and analytical research design to examine the relationship between economic development and social development in India.

4.2 Data Sources

The study is based on secondary data and the indicators reported in the reference study. The principal sources include the Census of India, Planning Commission/NITI Aayog, National Sample Survey Office (NSSO), Central Statistical Organisation, Ministry of Labour and Employment and the Institute for Competitiveness.

4.3 Variables Considered

The major variables considered are: Gross Domestic Product (GDP); Gross State Domestic Product (GSDP); Per capita NSDP; economic growth rate; poverty; unemployment; per capita consumption expenditure; Human Development Index (HDI); Social Progress Index (SPI); Gini coefficient; and governance indicators.

4.4 Measurement of Inequality

The Gini coefficient is used as a measure of inequality. It ranges between 0 and 1, where 0 represents perfect equality and 1 represents maximum inequality. The Lorenz curve provides a graphical representation of the distribution of income or consumption.

$0 \leq G \leq 1$

5. Economic Development in India

India has experienced significant structural transformation over the past several decades. One of the most important changes has been the declining relative contribution of agriculture and the increasing contribution of the service sector.

The reference data indicate that the share of agriculture and allied activities in GDP declined from approximately 19% in 2004–05 to 14% in 2013–14, whereas the service sector increased its contribution from approximately 53% to 60% during the same period.

This transformation has important social implications. Agriculture continues to provide livelihood to a large proportion of India's population despite its comparatively smaller contribution to GDP. Consequently, rural populations continue to face challenges associated with low agricultural productivity, landlessness, inadequate infrastructure and limited non-farm employment.

The expansion of the service sector has generated new opportunities, particularly in urban areas. However, the benefits of structural transformation have not been equally distributed across states and social groups.

6. Inter-State Disparities in India

India's states differ considerably in terms of economic resources, population, infrastructure and human development. Per capita income is therefore a more meaningful indicator for inter-state comparison than absolute GSDP alone.

The reference study identifies substantial differences in per capita NSDP among Indian states. States such as Goa, Kerala, Tamil Nadu, Maharashtra, Uttarakhand, Punjab, Sikkim, Himachal Pradesh, Haryana, Karnataka and Gujarat occupied comparatively stronger positions in the period considered.

In contrast, states such as Bihar, Odisha, Madhya Pradesh, Jharkhand and Assam exhibited comparatively lower levels of per capita economic development.

These differences demonstrate that development policies cannot be completely uniform across India. States with different structural characteristics require different policy interventions.

7. Poverty and Employment

Poverty remains a major dimension of India's social-development challenge. The reference study demonstrates considerable differences in poverty levels between states and between rural and urban populations.

Rural areas continue to face challenges related to low income, limited employment opportunities, inadequate healthcare, poor infrastructure and dependence on agriculture. Several states with high rural populations have historically recorded relatively high poverty levels.

Employment generation is particularly important because economic growth that does not create adequate livelihood opportunities may increase aggregate output without sufficiently improving household incomes.

Therefore, India's development strategy should emphasize employment-intensive growth, entrepreneurship, skill development and diversification of rural livelihoods.

8. Human Development and Social Progress

The Human Development Index provides a broader measure of development by incorporating dimensions such as income, education and life expectancy.

However, even HDI does not capture every dimension of social progress. The Social Progress Index provides an additional framework consisting of three broad dimensions: Basic Human Needs, Foundations of Well-being and Opportunity.

Basic Human Needs include nutrition and medical care, water and sanitation, shelter and personal safety. Foundations of Well-being include access to information and communication, health and wellness and environmental quality. Opportunity includes personal rights, freedom, tolerance and inclusion and access to advanced education.

This multidimensional approach provides a more comprehensive assessment of development than GDP alone.

9. Kerala: An Important Development Experience

Kerala represents an important example in the Indian development context. The reference study identifies Kerala as a state with exceptionally strong social progress relative to its economic position.

The state's experience demonstrates the significance of sustained investment in education, healthcare, social welfare, human capital, public services and social infrastructure.

The Kerala experience indicates that development depends not only on the quantity of economic resources but also on the manner in which those resources are converted into human capabilities.

Thus, economic development may be represented conceptually as:

Economic Resources → Public Investment → Human Capabilities → Social Development

10. Inequality and Economic Growth

Economic growth does not necessarily result in greater equality. A state may experience increasing income while the distribution of that income remains highly unequal.

The reference study indicates that some economically advanced states also exhibit substantial disparities in consumption expenditure. Similarly, some relatively lower-income states demonstrate significant intra-state inequalities.

Therefore, economic growth and equality should be treated as related but distinct development objectives.
An important conceptual relationship is: Economic Growth ≠ Equitable Development. The objective of inclusive growth should therefore be to increase economic opportunities while ensuring that the benefits of development reach disadvantaged populations and regions.

11. Role of Governance

Governance represents a critical link between economic resources and development outcomes.
Effective governance contributes to efficient allocation of public resources, better implementation of development programmes, improved healthcare and education, infrastructure development, social protection, transparency and accountability, and reduction of regional disparities.
The evidence reviewed in the reference study indicates an association between governance performance and economic development. This suggests that the quality of institutions plays an important role in determining how effectively states convert economic resources into social outcomes.

12. Major Findings

1. Economic development and social progress are positively associated, but the relationship is not perfectly linear.
2. Higher-income states generally perform better on several social indicators.
3. Economic growth alone cannot guarantee equitable social development.
4. Significant inter-state and intra-state disparities continue to exist.
5. Poverty remains strongly associated with rural economic conditions and limited employment opportunities.
6. Investment in education and healthcare contributes significantly to human development.
7. Kerala demonstrates that strong social development can be achieved through sustained investment in human capabilities.
8. Economic prosperity can coexist with substantial inequality.
9. Governance plays a significant role in converting economic resources into social development.
10. GDP should therefore be complemented by multidimensional indicators such as HDI, SPI, poverty, employment and inequality.

13. Policy Implications

13.1 Promotion of Inclusive Growth

India should pursue growth strategies that generate productive employment and livelihood opportunities for a broad section of society.

13.2 Strengthening Rural Development

Greater investment is required in rural infrastructure, irrigation, healthcare, education, digital connectivity, agricultural technology and non-farm employment.

13.3 Human Capital Development

Education and healthcare should be treated as strategic investments in India's long-term economic development.

13.4 Reduction of Regional Disparities

Special development programmes should be designed for backward states and districts based on their specific socio-economic conditions.

13.5 Employment Generation
Skill development, entrepreneurship, manufacturing, services and rural industries should be strengthened to create sustainable employment.

13.6 Social Protection
Social-security programmes should provide effective support to vulnerable populations, particularly those facing poverty, unemployment and social exclusion.

13.7 Good Governance
Transparency, accountability and institutional capacity should be strengthened to improve the effectiveness of public expenditure.

13.8 Multidimensional Development Measurement
Development policy should move beyond GDP and incorporate economic, social, human, institutional and environmental dimensions.

14. Limitations of the Study
The present study is primarily based on secondary information. Differences in data definitions, reference years and measurement methodologies may affect direct comparisons across states.

State-level averages can also conceal substantial district-level disparities. Consequently, future studies should examine development at district and sub-district levels.

Furthermore, correlation between economic growth and social progress does not necessarily establish causality. Longitudinal and econometric studies would be required to determine the direction and strength of causal relationships.

15. Scope for Future Research
Future research may employ panel-data models, spatial statistical techniques and econometric methods to investigate the relationship between economic growth and social development across Indian states.

Potential relationships for further investigation include:

GDP → HDI

GDP → SPI

Public Expenditure → Human Development

Governance → Economic Development

Inequality → Social Progress

District-level GIS-based analysis may also be undertaken to identify geographical clusters of development and deprivation.

16. Conclusion
Economic development in India cannot be adequately evaluated through GDP, GSDP or per capita income alone. Economic growth provides an important foundation for development, but its ultimate significance depends upon the extent to which economic resources are translated into improvements in human capabilities and quality of life.

The analysis indicates that economically stronger states generally demonstrate higher social progress, but the relationship is neither uniform nor automatic. Kerala provides an important example of how investment in education, healthcare, social welfare and human capabilities can produce strong social outcomes.

The evidence also demonstrates that economic prosperity can coexist with regional and intra-state inequalities. Consequently, India's development strategy should integrate economic growth with employment generation, human capital development, poverty reduction, social justice, regional balance, environmental sustainability and good governance.

The ultimate objective of economic development should therefore not be merely to increase national income but to ensure that economic progress results in greater human capability, social opportunity, equality and quality of life for all sections of Indian society.

Acknowledgement

The author gratefully acknowledges the scholarly literature and secondary data sources used in developing the conceptual and analytical framework of this study. Particular reference has been made to the study A Quantitative Analysis of Social and Economic Development among Indian States by S. N. Nandy, published in the International Research Journal of Social Sciences, which provides an important empirical framework for understanding the relationship between economic and social development among Indian states.

References

1. Nandy, S. N. (2021). A quantitative analysis of social and economic development among Indian states. International Research Journal of Social Sciences, 10(2), 16–26.

2. Dreze, J., & Sen, A. (1999). India: Economic Development and Social Opportunity. Oxford University Press.

3. Pal, P., & Ghosh, J. (2007). Inequality in India: A Survey of Recent Trends. DESA Working Paper No. 45, United Nations Department of Economic and Social Affairs.

4. Das, A. (1999). Socio-economic development in India: A regional analysis. Development and Society, 28(2), 313–345.

5. Ohlan, R. (2013). Pattern of regional disparities in socio-economic development in India: District level analysis. Social Indicators Research, 114(3), 841–873.

6. Kapoor, R. (2013). Inequality matters. Economic and Political Weekly, 48(2), 58–65.

7. Mundle, S., Chowdhury, S., & Sikdar, S. (2016). Government Performance of Indian States 2001–02 and 2011–12. NIPFP Working Paper No. 164.

8. Chatterjee, A., Chakrabarty, A. S., Ghosh, A., Chakraborty, A., & Nandi, T. K. (2016). Invariant features of spatial inequality in consumption: The case of India. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 442, 169–181.

9. Shobha, K., & Ambiga, D. P. (2014). Inter-state disparities in India: Linkages between human development and economic indicators. Journal of Global Economics, 2(3), 1–3.

10. Porter, M. E., Stern, S., & Green, M. (2014). Social Progress Index 2014. Social Progress Imperative, Washington, DC.

11. Kapoor, A., Kapoor, M., & Lrylova, P. (2017). Social Progress Index: States of India 2005–2016. Institute for Competitiveness, Gurugram.

12. Ministry of Finance, Government of India. (2013). Report of the Committee for Evolving Composite Development Index of States. Government of India

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BINARY DIVISION IN THE AFFINE CONJECTURE PROBLEM OF NATURAL NUMBERS

Petro Kosobutskyy
Institute of Computer Science and Information Technologies, Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0000-0003-4319-7395

Vladyslav Herus
Institute of Computer Science and Information Technologies, Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0009-0003-6526-4816

Abstract
In this paper, a method for forming second-order recurrence relations is developed through binary structuring, which is based on the well-known Mersenne and Fermat numbers. The relevance of the method is confirmed by the fact that the proposed approach generates both recurrent sequences of numbers already known in the On-Line Encyclopedia of Integer Sequences (OEIS) and those that are still unknown there.
Keywords: affine transformation, recurrence sequence, natural numbers

The Collatz conjecture, also known as the 3n+1 problem, remains one of the most famous unsolved problems in modern mathematics. Despite its extremely simple formulation, it has resisted a complete analytical proof for many decades, attracting the attention of both theoreticians and specialists in computational mathematics.
Mathematically, this problem is formulated through the basic Collatz transformation [1]:

$$f(n) = \quad if \quad n \equiv 0 \mod 2 \quad then \quad \frac{n}{2}(a) \quad else \quad 3n+1\,(b) \tag{1}$$

which, over an arbitrary finite natural number, generates a sequence that, according to the Collatz conjecture [2], always ends in a cycle

$$\ldots \to 4 \to 2 \to 1. \tag{2}$$

In 1976, R. Terras [2] proved that the result a of multiple integrations of the function $f(n)$ is always less than the initial value of the number n, and in 2018, T. Tao [3] significantly strengthened this result by proving that $a \langle \frac{n}{2}, \langle \sqrt{n}, \langle \ln n$. However, the validity of the Collatz conjecture has been established for a finite number of natural numbers, so it is not proven, and hereafter remains only a statement. Usually, Collatz transformations (1) are performed on a given number, and computational resource limits set the upper bound for the value of the number [4]. It is exactly this kind of limitation in the number brute-force method that has not yet allowed making a confident conclusion regarding a calculation stopping cycle other than (2).
In this work, we investigate the regularities of forming Collatz sequences of the set of natural numbers $n \in \infty$ binary-structured by the doubling principle, on the basis of which a new recurrence relation is substantiated. This relation links Collatz sequences (CS) with the number of iterations or calculations according to algorithm (1), from the start to the stop upon reaching cycle (2).

Let us formulate the lemmas and the theorem:

Lemma 1. On the set of natural numbers $n \in \infty$, the numbers are distributed uniformly and are equivalent to each other.

Lemma 2. Doubled $2n \in \infty$ and single $n \in \infty$ even and odd numbers are similar to each other and do not intersect.

Statement. On the set of natural numbers $n \in \infty$, there are no pairs of numbers n and $2n$ with a stopping cycle of Collatz transformations other than $\ldots \to 4 \to 2 \to 1$ by the algorithm

$$f(n) = \quad if \quad n \equiv 0 \mod 2 \quad then \quad \frac{n}{2} \quad else \quad 3n+1 \ .$$

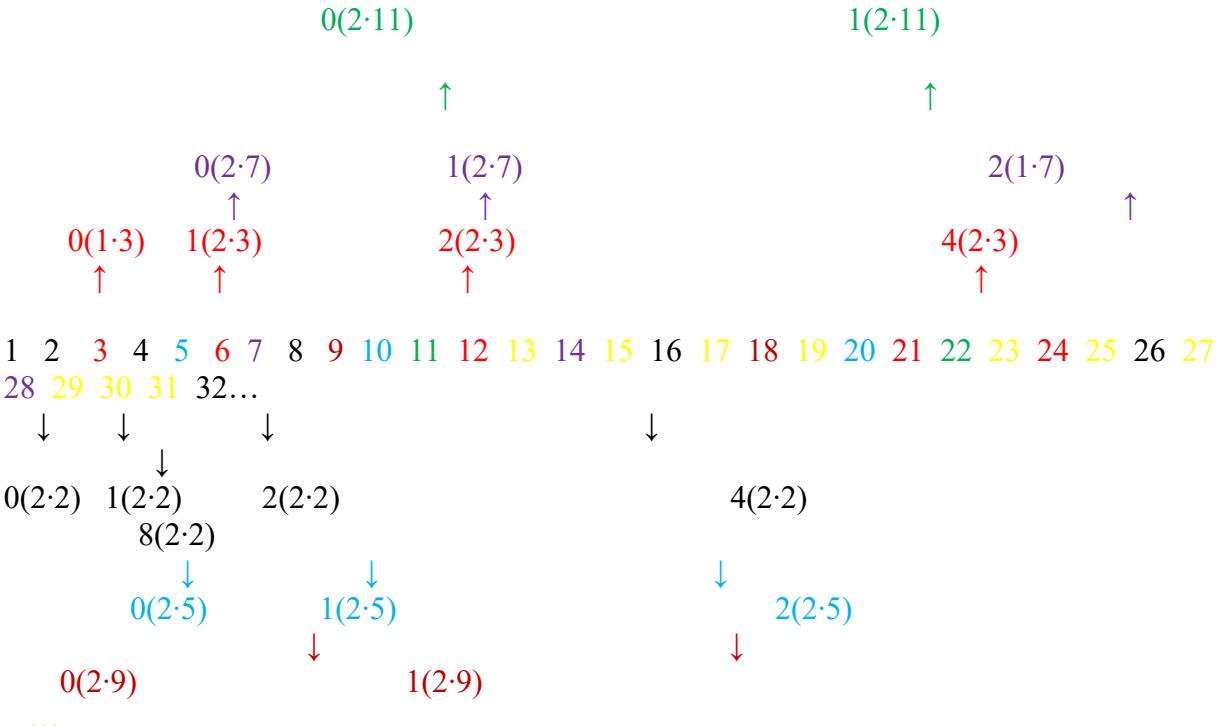


Fig. 1. Structuring of the first 32 natural numbers by the doubling method

The basis for the formation of Collatz sequences (CS) is the principle of doubling the number field (Fig. 1). First, a CS (dark color) with a binary base is formed:

$$\{K_n\}: \quad 1 = 2^0, 2 = 2^1, \quad 4 = 2^2, 8 = 2^3, 16 = 2^4, 32 = 2^5, 64 = 2^6, 128 = 2^8, \ldots \quad (3)$$

in accordance with the regularity of the binomial expansion

$$(1+1)^k, \ k = 0,1,2,3,\ldots \quad (4)$$

CS (3) forms the so-called trunk (first column on the left in Fig. 2) of the Collatz "tree" with branch points

$$\begin{cases} 3N+1 = a \\ N = 1 \end{cases} \Rightarrow \frac{a-1}{3} = \text{int}\, eger \ , \quad (5)$$

in which other branches of two types are multiplied: with branches (red in Fig. 2) and without branches (dark in Fig. 2). The principle of justifying the recurrence relations to verify (5) is described in [5]. The numbers of the branch points on the trunk (1) form the sequence

$$\text{A}: \quad 0, 1, 5, 21, 85, 341, \quad \Rightarrow \quad \text{A}(k) = \frac{4^k - 1}{3} \quad (7)$$

which is known as sequence A002450 [6].

In the design of the Collatz "tree" in Fig. 2, a similar trunk (3) can be distinguished in the branch with a branching at the coordinate $\frac{16-1}{3}=5=4+1$, for which the CS has the form:

$$\{A_n\}_{4+1}: \quad 1=5\cdot\left(2^1,2^2,2^3,12^4,2^5,2^6,2^8,...\right) \tag{8}$$

in accordance with the regularity of the binomial expansion

$$(1+1)^k,\ k=0,1,2,3,... \tag{9}$$

The coordinates of the branch points on the trunk (8) form the sequences A072197 [6]:

$$\mathrm{A}: \quad 3,13,53,213,, \quad \Rightarrow \quad \mathrm{A}(k)=\frac{10\cdot 4^k-1}{3}, \tag{10}$$

from which others multiply, for example (unknown according to the classification [6])

$$\mathrm{A}: \quad 35,141,565,2261,, \quad \Rightarrow \quad \mathrm{A}(k)=\frac{53\cdot 2^k-1}{3}, \quad k=1,3,5,... \tag{11}$$

and

$$\mathrm{A}: \quad 17,277,1109,4437,, \quad \Rightarrow \quad \mathrm{A}(k)=\frac{52\cdot 2^k-1}{3}, \quad k=1,4,8,... \tag{12}$$

Processes (8) - (12) have an avalanche-like character of multiplication to infinity for both types of branches - with and without branch points. In foreign literature [5], the codification (3) – (12) is widely spread in terms of periodic orbits [7].

…			↓							
512			320							
↓			↓							
256	←85		160	←53	←106	←212	←424	←848	←1696	
↓			↓		↑		↑		↑	
128			80		35		141		565	
↓			↓							
64	←21		40	←13	←26	←52	←104	←208	←416	←832
↓			↓			↑				↑
32			20			17				277
↓			↓							
16	←5	←	10	←3	←6	←12	←24	←48	←96	
↓										
4	←1									
↓										

Fig. 2. A fragment of the Collatz graph with an illustration of multiplication at branch points $\frac{2^{2k}-1}{3}=\mathrm{int}\,eger, k=1,2,3,...$ with numerical values $\frac{16-1}{3}=5=4+1$, $\frac{64-1}{3}=21=16+5$, $\frac{256-1}{3}=85=64+21$, etc.

Thus, as follows from Fig. 1 and Fig. 2, the basic principle in forming the Collatz graph is the doubling principle, according to which the numerical field $n\in\infty$ is structured in the form:

$$0(2\cdot n),\ 2^0(2\cdot n),\ 2^1(2\cdot n),\ 2^2(2\cdot n),\ 2^3(2\cdot n),\ 2^4(2\cdot n),\ 2^5(2\cdot n),\ 2^6(2\cdot n),\ 2^7(2\cdot n),\ .2^8(2\cdot n)... \tag{13}$$

Sequence $\{K_n = 2^n\}$ (10) is recurrent and is a solution to the recurrence equation

$$K_{n+2} = m \cdot K_{n+1} - 2(m-2) \cdot K_n \qquad (14)$$

with an arbitrary positive value and initial conditions $K_0 = 1$, $K_1 = 2$, as the first two fixed numbers on the trunk (3). According to (14), the modulation period of CS (3) is: $2^{n+2} = m \cdot 2^{n+1} - 2(m-2) \cdot 2^n \Rightarrow 4 = m \cdot 2 - 2(m-2) = 2m - 2m + 4 = 4$.

An illustration of the algorithm (13) is shown in Fig. 3. Here, the CSs are calculated for the first 33 numbers by the Collatz conjecture (or Hailstone or $3n+1$) calculator [8].

421
5168421
6…
7221134175226134020105168421
8421
928147221134175226134020105168421
105168421
1134175226134020105168421
12 …
134020105168421
14722113417522613402010516842 1
1546237035106531608040201051684 21
168421
17522613402010516842 1
189281472211341752261340201051684 21
19582988442211341752261340201051684 21
20105168421
a
3105168421
63105168421
1263105168421
241263105168421
48241263105168421
9648241263105168421
192964824126310516842 1
..
b
….

Fig. 3. Illustration of CS for the first 20 numbers (a) and the set $2n$ of the number $n = 3$ (b)

A quantitative characteristic of the process is the number of iterations N_n, which can be estimated by the height of the column for each number n. In fact, the parameter N_n reflects the time until the completion of iterations and the complete stop of the computational process. The diagram in Fig. 3b shows that the parameters N_n and N_{2n} are connected by the recurrence relation

$$N_{2n} = N_n + n\,(a) \quad \Rightarrow \quad N_{2n} - N_n = n\,(b)\,. \tag{15}$$

The binary structuring of the set $n \in \infty$ does not change the similarity between the subsets n and $2n$ (Lemma 2). Lemma 2 does not require proof, so the CSs N_n and N_n of similar numbers n and $2n$ are also similar to each other over the entire set $n \in \infty$. Thus, the recurrence formulas (15) hold true for the entire set $n \in \infty$.

According to Lemma 1, all normal numbers n are equivalent to each other, therefore, according to (15b), the CSs N_n and N_{2n} are equivalent to each other $N_{2n} - N_n$, and their increment is proportional to the number itself n. Over the entire set $n \in \infty$, the numbers n are uniform and equivalent to each other, therefore, according to (15), over the entire set $n \in \infty$, the CSs are also similar to each other and have a single cycle (2) for stopping Collatz calculations.

The theorem is proved.

Let us demonstrate the practical significance of formula (15). Suppose the CS for $n = 3763$ is known:

3763 11290 5645 16936 8468 4234 2117 6352 3176 1588 794 397 1192 596 298 149 448 224 112 56 28 14 7 22 11 34 17 52 26 13 40 20 10 5 16 8 4 2 1 $= N_{3763}$

Using formula (15a), we will calculate the trajectory of the Collatz transformation for the doubled number $2n = 7526$: $N_{2n=7526} = 3763 \rightarrow N_{3763}$ and use the calculator [6] to verify the obtained result (highlighted in red):

7526 3763 11290 5645 16936 8468 4234 2117 6352 3176 1588 794 397 1192 596 298 149 448 224 112 56 28 14 7 22 11 34 17 52 26 13 40 20 10 5 16 8 4 2.

Now, by successive application of formula (15), let us model the trajectory for a given number multiplied by 16: $n = 3763 \times 16 = 60208$: $d_{16n=60208} = 30104(16n) \rightarrow 15052(8n) \rightarrow 7526(4n) \rightarrow 3763(2n) \rightarrow d_{3763}$

We confirm the obtained result with the calculator [5] (the row of numbers is highlighted in red):

60208 30104 15052 7526 3763 11290 5645 16936 8468 4234 2117 6352 3176 1588 794 397 1192 596 298 149 448 224 112 56 28 14 7 22 11 34 17 52 26 13 40 20 10 5 16 8 4 2 1.

Thus, formula (15a) plays the role of a kind of analytical Collatz calculator, with the help of which it is possible to recurrently reproduce CSs, including beyond the limit capabilities of the Collatz calculator itself [8].

The successive application of the recurrence formula (15a) for doubled numbers makes it possible to generalize the recurrence formula (15a) in the form:

$$N_{k \cdot n} = (n + 2n + 4n + ... + kn) + N_n, k = 2,4,8,12,... \tag{16}$$

or in the general case

$$N_{k \cdot n} - N_n = (2^k - 1) \cdot n\,, \tag{17}$$

where $(2^k - 1)$ are the known Mersenne numbers, which in this case act as the proportionality coefficient of the CS length parameter. A similar formula (17) was obtained earlier in [9] (in the notation of [10]):

$$t(i, j) = 2^{i+1} j + 2^i - 1, i \geq 1, j \geq 0\,. \tag{18}$$

However, the idea of similarity between even and odd numbers in terms of the degree of merging of their CSs, which was the basis for the justification of (18) [9], unlike (13), was not proven [10].

General conclusion of the work. This work substantiates a simple recurrence relation that plays the role of an analytical analog of the Collatz calculator for promising computations in the direction of $n \to \infty$.

References

1.L. Collatz On the motivation and origin of the (3n + 1) – Problem, J. Qufu Normal University, Natural Science Edition,1986, 12(3), 9–11.

2. R. Terras. A stopping time problem on the positive integers. Acta Arith. 1976, 30, 241–52.

3. T.Tao. Almost all orbits of the Collatz map attain almost bounded values. arXiv:1909.03562v3 7 Jun 2020/ C:/Users/User/Desktop/1909.03562%20Tao.pdf

4. Collatz conjucture. Collatz best results.https://www.dcode.fr/collatz-conjecture

5. Ahmed Maya M, Two different scenarios when the Collatz Conjecture fails. arXiv:2001.04976v1 [math.GM] for this version

6. L. Green. LOGbook. http://lesliegreen.byethost3.com/publications.html

6.The On-line encyclopedia of integer sequences. The OEIS Foundation is supported by donations from users of the OEIS and by a grant from the Simons Foundation. https://oeis.org/A002450

7. J. Machado, A. Galhano, D. Labora. A Clustering Perspective of the Collatz Conjecture. Mathematics 2021, 9, 314. https://doi.org/10.3390/math9040314, https://www.mdpi.com/journal/mathematics

8.Collatz Conjucture. https://www.dcode.fr/collatz-conjecture. В Україні була створена команда математиків «Українська команда розподілених обчислень» (https://distributed.org.ua), яка працювала над аналогічним проектом.

9. C.Cadogan C. A Solution to the 3x + 1 Problem Charles Cadogan.ю Caribb. J. Math. Comput. Sci. — 2006. — 13, p. 1-11

10. И.Рысцов. Замечание по поводу доказательства гипотезы Коллатца. Украинский математический конгресс – 2009. (UKRAINIAN MATHEMATICAL CONGRESS − 2009 (Dedicated to the Centennial of Nikolai N. Bogoliubov).Kyiv, Institute of Mathematics of NASU, August 27−29, 2009). https://www.imath.kiev.ua/~congress2009/Abstracts/Rystcov.pdf

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

APPLICATION OF HOLT'S LINEAR EXPONENTIAL SMOOTHING AND ARIMA MODEL IN FORECASTING JAMB REGISTRATION AT FEDERAL POLYTECHNIC ADO-EKITI

Alabi Remilekun Enitan
Federal Polytechnic Ado-Ekiti, School of Pure and Applied Sciences, Department of Statistics
ORCID: 0009-0002-8548-7315

Ilugbusi, Ayokunle Oluwatosin
Federal Polytechnic Ado-Ekiti, School of Pure and Applied Sciences, Department of Statistics

ABSTRACT
This study examines the trend and forecasts Joint Admissions and Matriculation Board (JAMB) registration at the ICT Registration Centre, Federal Polytechnic Ado-Ekiti, using annual registration data from 2017 to 2026. Descriptive statistics, year-over-year (YoY) growth analysis, trend analysis, and two time-series forecasting approaches—Holt's Linear Exponential Smoothing and ARIMA (1,1,0)—were employed. Across the study period, 20,324 registrations were recorded, with a mean annual registration of 2,032.40 and a standard deviation of 877.66. Registration was highly variable, reaching a peak of 3,450 candidates in 2022 and a low of 874 in 2025. The overall linear trend indicated a decline of approximately 117 candidates per year. YoY changes included a 52.1% decline in 2018, a 178.6% increase in 2019, and a sustained decline after the 2022 peak, followed by a 12.7% recovery in 2026. Male candidates accounted for 52.42% of registrations and female candidates 47.58%; candidates aged 20–24 years (30.97%) and 16–20 years (29.18%) constituted approximately 60% of registrations. Holt's model, with α=0.80 and β=0.35, generated a steep downward projection and negative values from 2029, indicating limitations when applied to a series exhibiting structural changes. ARIMA (1,1,0), with φ=-0.51, produced relatively stable forecasts for 2027–2031 of 928, 957, 943, 950, and 946 candidates, respectively. The findings indicate that time-series forecasting can support admission planning, staffing, budgeting, and computer-based testing (CBT) facility management at Federal Polytechnic Ado-Ekiti.
Keywords: JAMB registration; forecasting; time series; Holt's linear exponential smoothing; ARIMA; enrolment planning

1. Introduction
In Nigeria, admission into tertiary institutions is coordinated by the Joint Admissions and Matriculation Board (JAMB). Established in 1978, JAMB conducts entrance examinations and coordinates admissions into universities, polytechnics, colleges of education, and other approved tertiary institutions. Candidates register for the Unified Tertiary Matriculation Examination (UTME) and subsequently select institutions and programmes based on interests, academic qualifications, programme availability, institutional reputation, and other considerations.

Institution-specific registration does not remain constant from year to year. Variations may reflect educational policies, economic conditions, programme availability, admission requirements, institutional reputation, technological developments, and changes in students' preferences. Monitoring historical registration patterns is therefore important for anticipating demand and supporting institutional planning. The major components of a time series include trend, seasonal variation, cyclical variation, and irregular variation.

Among these components, the trend represents the long-term movement or direction of the data over time and serves as the basis for forecasting future observations (Brockwell & Davis, 2016). By studying past and present data, forecasting enables decision-makers to prepare for future events, reduce uncertainty, allocate resources efficiently, and formulate appropriate plans and policies (Bowerman *et al.,* 2018). Hyndman & Athanasopoulous (2021) said that, in the educational sector, forecasting is an important tool for effective planning and management.

Federal Polytechnic Ado-Ekiti attracts candidates from different parts of Nigeria through its academic programmes and institutional facilities. However, annual JAMB registration at the institution varies substantially. Examining the historical pattern and forecasting future registration can therefore provide useful information for admission planning and resource allocation.

1.1 Aim of the Study

The study aims to examine and forecast JAMB registration at Federal Polytechnic Ado-Ekiti using annual registration data from 2017 to 2026. The findings are intended to support institutional decisions concerning admission planning and resource allocation.

2. Materials and Methods

The study used annual JAMB registration records for Federal Polytechnic Ado-Ekiti covering 2017–2026. The analysis combined descriptive statistics, YoY growth analysis, trend analysis, and time-series forecasting. Two forecasting approaches were considered: Holt's Linear Exponential Smoothing and the Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) model.

2.1 Descriptive and Trend Analysis

Annual registration totals were summarized using the mean, standard deviation, median, peak and trough values. YoY growth was calculated to describe annual percentage changes. Gender and age-group distributions were also summarized. An overall linear trend was used to characterize the direction of registration over the study period.

2.2 Forecasting Models

Holt's Linear Exponential Smoothing was used to model level and trend components, with smoothing parameters $\alpha=0.80$ and $\beta=0.35$ as reported in the supplied analysis. ARIMA (1,1,0) was also fitted to the annual registration series; the reported autoregressive coefficient was $\varphi=-0.51$. Forecasts were generated for 2027–2031.

3. Results

3.1 Historical Registration Pattern

Year	Registered	YoY (%)	Male (%)	Female (%)	Dominant age group
2017	2,340	—	56.4	43.6	20–24
2018	1,120	−52.1	62.5	37.5	20–24
2019	3,120	+178.6	47.4	52.6	20–24
2020	1,965	−37.0	43.0	57.0	20–24
2021	2,580	+31.3	48.1	51.9	20–24
2022	3,450	+33.7	51.6	48.4	16–20
2023	2,110	−38.8	42.7	57.3	16–20
2024	1,780	−15.6	57.3	42.7	20–24
2025	874	−50.9	58.4	41.6	20–24
2026	985	+12.7	56.9	43.1	20–24

Registration fluctuated markedly over the ten-year period. It declined by 52.1% in 2018, increased by 178.6% in 2019, and reached its maximum of 3,450 candidates in 2022. This was followed by three consecutive annual declines before a 12.7% recovery in 2026.

Trend Analysis

Figure 1.0: JAMB Registration by Gender Trend (2017–2026)

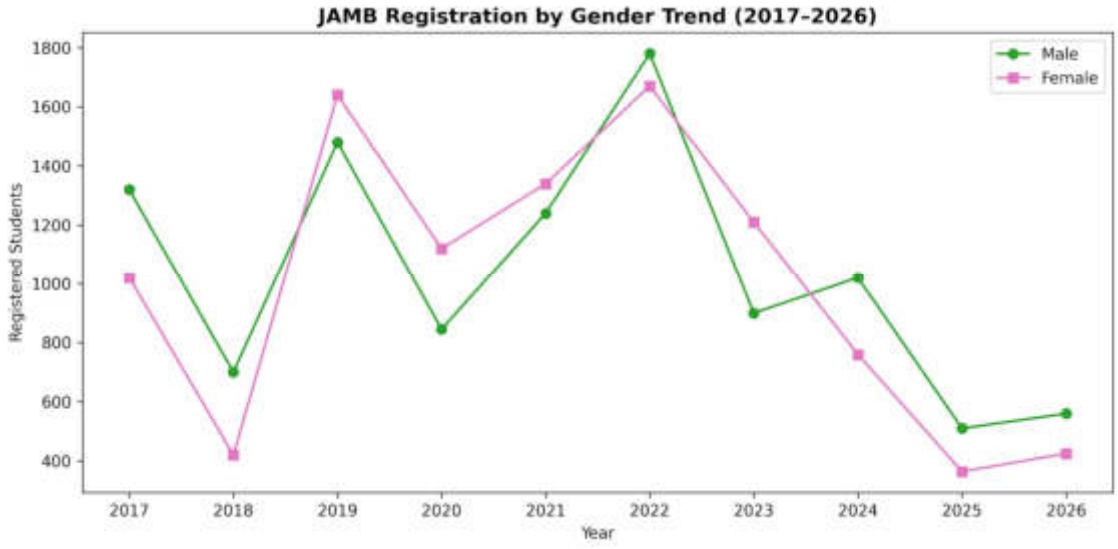


Figure 1.0 shows the trend of JAMB registration by gender at Federal Polytechnic Ado-Ekiti from 2017 to 2026. Registration for both male and female candidates fluctuated throughout the study period. Male candidates recorded higher registrations in 2017, 2018, 2022, 2024, 2025, and 2026, while female candidates outnumbered males in 2019, 2020, 2021, and 2023. Both genders reached their highest registration levels in 2022, followed by a sharp decline until 2025 and a slight recovery in 2026.

JAMB Registration trend and future forecast (2017-2031)

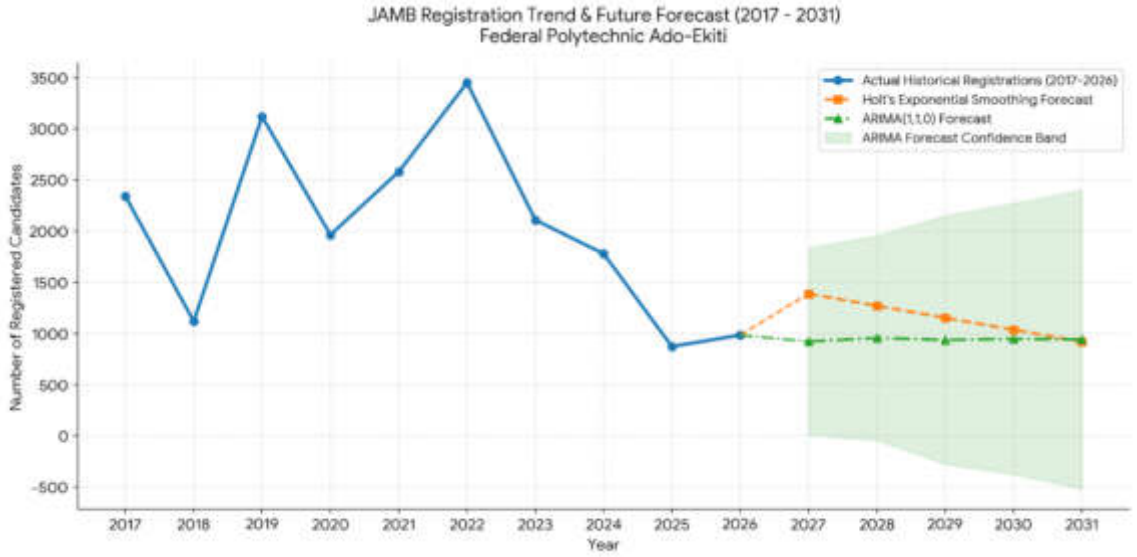


Figure 2.0 shows the historical JAMB registration trend from 2017 to 2026 and forecasts for 2027–2031 using Holt's Linear Exponential Smoothing and the ARIMA (1,1,0) model.

3.2 Descriptive Statistics

A total of 20,324 registrations were recorded during 2017–2026. Mean annual registration was 2,032.40, while the standard deviation was 877.66. The highest registration occurred in 2022 (3,450) and the lowest in 2025 (874). The estimated overall linear trend was −117 students per year, indicating a declining direction despite substantial year-to-year fluctuations.

3.3 Gender Distribution

Male candidates accounted for 10,355 registrations (52.42%), while female candidates accounted for 9,969 (47.58%). Thus, participation was relatively balanced across the study period. Female registrations exceeded male registrations in several years, particularly during 2019–2023, although the direction varied by year.

1.4 Age Distribution

1.5

Age group	Total	Share (%)
Under 16	3,705	18.23
16–20	5,930	29.18
20–24	6,295	30.97
24 and above	4,394	21.62

Candidates aged 20–24 years formed the largest age group (30.97%), followed by those aged 16–20 years (29.18%). Together, these groups accounted for approximately 60% of registrations.

3.5 Forecast Results

Year	ARIMA (1,1,0)
2027	928
2028	957
2029	943
2030	950
2031	946

The ARIMA (1,1,0) model produced comparatively stable forecasts between 928 and 957 candidates over 2027–2031. The source analysis therefore identified ARIMA as the more practically usable forecasting approach for the reported series, while noting that the Holt projections were unstable in the presence of structural changes.

4. Discussion

The registration series is characterized by pronounced fluctuations rather than a smooth growth trajectory. The 2022 peak was followed by substantial reductions in 2023–2025, with a modest recovery in 2026. The magnitude of these changes indicates that simple extrapolation of the historical trend may produce unrealistic future values. In particular, the unstable forecasts produced by Holt's method illustrate the practical limitation of applying an unconstrained linear trend to a registration series with sharp structural changes.

The ARIMA model generated forecasts within a relatively narrow range around 920–960 candidates. These estimates provide a more stable basis for short-term institutional planning within the assumptions of the fitted model. Nevertheless, the available study data do not establish the causal factors behind the observed changes. Future modelling could incorporate explanatory variables such as economic conditions, education policies, programme availability, population changes, and secondary-school graduation rates.

5. Conclusion

JAMB registration at Federal Polytechnic Ado-Ekiti varied considerably between 2017 and 2026, with an overall declining linear trend despite intermittent periods of growth. Candidates aged 16–24 years constituted the principal applicant population, while male and female participation was relatively balanced. Holt's Linear Exponential Smoothing produced an increasingly steep decline and negative values in later forecast years, whereas ARIMA (1,1,0) produced relatively stable forecasts for 2027–2031. Within the models and data reported in this study, the ARIMA forecasts provide a more practicable basis for short-term admission and resource planning.

6. Recommendations

• Federal Polytechnic Ado-Ekiti should incorporate time-series forecasting into annual admission planning to support evidence-based estimates of future applicant numbers.
• The institution should strengthen awareness and recruitment activities, particularly among secondary-school students and recent school leavers, in response to the observed decline in registration.
• Admission capacity, staffing, classroom facilities, CBT resources, and budget allocations should be reviewed periodically using updated registration forecasts.
• Forecasting models should be updated annually as new registration data become available.
• Outreach and career-guidance activities may give particular attention to the 16–24-year age groups, which constitute the largest share of registrations.

• Future research should incorporate explanatory variables such as tuition costs, economic conditions, government education policies, population growth, and secondary-school graduation rates, and should compare competing forecasting models using measures such as MAPE, MAE, and RMSE.

References

Boweman, B. L., O'Connell, R. T., Murphree, E. S., & Koehler, A. B. (2018). Forecasting,
time series, and regression: An applied approach (5th ed.). Cengage Learning.

Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2016). Introduction to time series and forecasting (3rd ed.).
Springer.

Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). Forecasting: Principles and practice (3rd ed.). OTexts.

Joint Admissions and Matriculation Board. (2026). Official website. https://www.jamb.gov.ng

Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). Forecasting: Methods and
applications (3rd ed.) John wiley& Sons.

Makridakis, S. G., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1997). *Forecasting: Methods and applications* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

THERMAL-MOISTURE STRESS AND AGRO-CLIMATIC VULNERABILITY OF CEREAL CROP PRODUCTION AREAS IN THE GUINEA SAVANNAH ECOLOGICAL ZONE OF NIGERIA: A MULTI-TEMPORAL REMOTE-SENSING ASSESSMENT (1993–2023)

Mahmood, M.M.
Department of Geography Technology, Federal University of Technology

Muhammad M.
Department of Geography Technology, Federal University of Technology

Tayo, I.Y.
Department of Geography Technology, Federal University of Technology

Ishaku, I.
Department of Geography Technology, Federal University of Technology

Abstract
The Guinea Savannah is Nigeria's most important cereal-producing belt, yet spatially explicit evidence on how combined changes in land cover, land surface temperature (LST) and surface moisture condition production-area vulnerability remains limited. This study assessed agro-climatic vulnerability of cereal landscapes across parts of the Guinea Savannah covering Kebbi, Niger, Kaduna, the Federal Capital Territory (Abuja) and Nasarawa over three decades (1993, 2003, 2013 and 2023), using Landsat imagery (30m) processed in Google Earth Engine. Land-use/land-cover (LULC) was mapped with a Random Forest classifier (overall accuracy 87–89%; kappa 0.89–0.92), LST was retrieved from thermal infrared bands, and surface moisture was characterised with the Normalized Difference Moisture Index (NDMI). Pearson correlation examined the LST–NDMI relationship, and a Vulnerable Agro-Climatic Risk Area (VACRA) overlay was implemented by intersecting high-LST and low-moisture pixels. Results show that farmland expanded from 23.95% (2003) to 49.61% (2023) at the expense of forest (24.53% to 12.76%) and shrubland (49.09% to 34.47%). Maximum-mean LST in hotspots rose from 39.39 °C (1993–2003) to 39.59 °C (2003–2013) before moderating to 38.96 °C (2013–2023); all peak values exceeded documented 25–33 °C optima for maize, rice, millet and sorghum. The share of minimum-moisture area contracted over time but a net 37.6% of the cereal landscape remained in moisture-deficit conditions over the full period. The LST–NDMI correlation intensified from r = −0.282 (7.95% shared variance) in 1993 to r = −0.403 (16.24%) in 2023, signalling a strengthening land–atmosphere coupling of heat and dryness. VACRA mapping identified persistent clusters of combined thermal-moisture stress, concentrated across Niger State (Lapai, Gurara, Tafa, Munya, Paikoro, Shiroro, Rafi, Mokwa, Kontagora), Kaduna (Chikun, Kudan, Birnin-Gwari), the FCT (Abaji, Gwagwalada, Kwali, Municipal) and Nasarawa (Lafia, Doma, Nasarawa, Awe, Toto, Obi, Kokona, Keana). Validation against independent evaporation and evapotranspiration products and field GPS points supported the reliability of the vulnerability mapping. The findings demonstrate that agricultural suitability in the Guinea Savannah is being reshaped by the co-occurrence of land-cover conversion, thermal intensification and episodic moisture stress, and provide a spatially explicit basis for targeting climate-smart cereal interventions, extension messaging and early-warning systems.
Keywords: agro-climatic vulnerability; cereals; Guinea Savannah; land surface temperature; NDMI; land-use/land-cover change; VACRA; Nigeria.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

NEEM LEAF EXTRACT-MEDIATED MITIGATION OF DROUGHT STRESS IN *ZEA MAYS* L.: STRUCTURAL AND FUNCTIONAL RESPONSES

Laiba Hameed
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education

Syed Mohsan Raza Shah
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education

Sania Abid Fateh
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education

Asia Kainat
Department of Botany, University of Agriculture

Tauseef Nawaz
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education

Aqsa Mahnoor
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education

Muhammad Farooq
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education

ABSTRACT
Climate change-induced drought stress is a major challenge for maize (*Zea mays* L.), which is a significant cereal crop worldwide and an important staple food in Pakistan. The present study aimed to assess the effect of the neem (*Azadirachta indica*) leaf extract on the drought resistance of two hybrids of maize (FH-2108 and FH-1046). A three-factorial experiment was carried out with hybrids (FH-2108 and FH-1046), drought level (100% and 50% field capacity), and neem leaf extract (0%, 5%, and 10%). There were 3 replications for each treatment combination with 36 pots per combination. Drought stress was imposed five weeks after sowing (vegetative stage), and neem leaf extract was applied as a foliar spray simultaneously. Both hybrids had large decreases in photosynthetic pigmentation, photosynthetic performance, growth, yield, and anatomical traits under drought. In contrast, neem leaf extract had a significant effect on drought tolerance, demonstrated by higher accumulation of free proline, free amino acids, antioxidant enzyme activities (superoxide dismutase and peroxidase), and lower levels of oxidative damage (hydrogen peroxide and malondialdehyde), especially at higher extract concentrations. Under water deficit, neem-treated plants showed higher plant height, leaf area, number of leaves, biomass of stem, root, and cob, and grain yield. Anatomically, root expansion, root radius, epidermal thickness, cortical thickness, phloem thickness, vascular bundle thickness, leaf lamina thickness, midrib thickness, leaf sheath thickness, stomatal density, and epidermal integrity under drought stress were maintained by neem application. In general, the adverse effects of drought were significantly alleviated by foliar application of neem leaf extract, as evidenced by the improvement of its morphological, physiological, biochemical, and anatomical attributes in both maize hybrids. The results show the potential of neem leaf extract as a cheap and eco-friendly biostimulant for enhancing maize productivity under water stress.
Keywords: Biostimulant, Drought, Antioxidants, Structural modification

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

SUSTAINABLE POULTRY NUTRITION THROUGH CIRCULAR BIO-ECONOMY TECHNIQUES

Oluwafemi Abel Agbetuyi
Department of Animal Production and Health, Federal University

Olugbenga David Oloruntola
Department of Animal Science, Adekunle Ajasin University

Abstract
The poultry sub-sector of agriculture faces enormous pressure to supply high-quality poultry products such as meat and eggs, while also reducing environmental impact, preserving natural resources, and maintaining economic viability. Poultry farming systems rely mainly on cereals-soybean meal for feed production, which creates considerable competition with food crops for resources such as land, water, and energy. Moreover, poultry farming as in other agricultural systems generates harmful environmental effects, such as biodiversity loss and environmental pollution, in addition to high cost of production. As a result, alternative techniques in sustainable poultry production must be adopted, including the circular bio-economy in poultry nutrition, to boost productivity and profitability with minimal environmental impact. Circular bio-economy principles aim to redefine waste, encourage reuse and recycling, and restore natural resources in order to sustain a closed-loop system. In addition, the circular bio-economy in poultry nutrition seeks to recover and recycle by-products from agricultural waste, the agro-processing industry, food waste, insect protein, algae, microbial biomass, and other unconventional feed sources. Further adaptations include biotechnology, precision nutrition, and digital poultry farming to enhance nutrient efficiency while reducing emissions and waste. This study aims to investigate the principles of the circular bio-economy and how they are applied in sustainable poultry nutrition. More so, circular bio-economy techniques are increasingly being facilitated by recent advances in processing and fermentation technologies, biotechnology, and precision nutrition to improve the utilization of unconventional feed ingredients, improve sustainability, and maximize economic benefits. Hence, it emphasizes the advantages of adopting alternative feed ingredients and new technologies, along with the environmental and economic consequences of applying a circular approach to poultry production.
Keywords: Alternative Feed Ingredient, Circular Bio-Economy, Precision Nutrition, Processing Technology, Sustainable Poultry Nutrition

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

APPLICATION OF ORGANIC PLANT EXTRACTS FOR LETTUCE GROWTH AND YIELD IN ALKALINE SOIL

Associate Prof. Dr. Rabia Ghaffar
University of Education, Division of Science & Technology, Department of Botany
ORCID: 0000-0001-5991-8893

Hira Mehboob
University of Education, Division of Science & Technology, Department of Botany

Abstract
Fruit peel wastes are known to contain nutrients, phenolic compounds, antioxidants, and other biologically active substances that may stimulate plant growth. Therefore, conversion of fruit-peel waste into plant-based biostimulants represents a potentially low-cost and environmentally friendly strategy that can address organic waste management, improve crop productivity under stress conditions, and reduce dependence on synthetic fertilizers, simultaneously. The present study aims to evaluate the agricultural valorization of commonly available fruit waste in promoting lettuce growth under alkaline conditions through foliar application. Banana, lemon and pomegranate peel extracts were selected and applied individually and in combination of 25%, 50% and 75% each. They may contribute to the lettuce growth and accumulation of nutritionally valuable secondary metabolites. A completely randomized pot experiment was conducted with 12 experimental groups in replicates. About 12 g of limestone powder per 6 kg of soil added to each pot with a pH 8. The main objective of this study was to utilize this organic waste as an organic fertilizer for lettuce production in alkaline soil. Selected fruit peel extracts, banana, lemon, pomegranate peel extracts, and their combinations, were utilized as a foliar spray. The growth parameters (plant height, fresh/dry weight, leaf area) and biochemical content (chlorophyll, protein, and flavonoid) were estimated after 60-65 days of transplanting. The results of this study show that 25% pomegranate peel extract significantly enhanced lettuce growth by increasing the plant height (45.527 cm), shoot fresh weight (15.857 g) and dry weight (3.126 g), and leaf area (146.5 cm^2). Also, the same concentration shows enhanced biochemical parameters, including chlorophyll content (1.41 mg/g), flavonoids (0.85 mg/g), and total phenolic acids (9.01 mg/g). When applied in combination the three peel extracts the trend shown was P1>CM2>L3>CM1>L2 represented by the increased growth and biochemical content of lettuce under alkaline conditions. The application of fruit peel extracts acts as a beneficial and environmentally responsible substitute for artificial fertilizers.
Keywords: Lettuce, plant-based biostimulants, alkaline soil, organic waste valorization

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

FROM VIGILANTISM TO INSURGENT GOVERNANCE: THE TRANSFORMATION OF LAKURAWA IN NORTHWESTERN NIGERIA

Jaafaru Hashimu Bawa
Department of History and International Studies, Federal University Birnin Kebbi

Abstract
The emergence and transformation of the Lakurawa armed movement in Northwestern Nigeria represents a significant development in the evolving security landscape of the Nigeria–Niger borderlands. Initially perceived by local communities as a protective force against rural banditry, the group gradually evolved into a coercive armed formation characterized by territorial control, religious enforcement, cattle rustling, extortion, and violent confrontation with state and non-state security actors. Drawing on qualitative field data generated through Key Informant Interviews (KIIs), Focus Group Discussions (FGDs), and community observations conducted across Sokoto, Kebbi, and Zamfara States between 2024 and 2025, this study examines the processes through which Lakurawa transitioned from a community-supported anti-bandit actor into a hybrid insurgent movement. The article adopts a hybrid security governance framework to explain how weak state presence, porous borders, rural insecurity, and local legitimacy enabled the group's consolidation. The findings demonstrate that Lakurawa's transformation occurred in three interconnected stages: anti-bandit interventionism, strategic co-optation of local bandit networks, and the institutionalization of coercive governance structures. The study argues that the Nigerian state's failure to regulate informal security actors and to effectively govern rural border communities contributed significantly to the emergence of alternative sovereignties in the region. The article concludes that unless rural security architecture, border governance, and intelligence coordination are strengthened, similar hybrid armed formations may continue to proliferate across Northwestern Nigeria.
Keywords: Lakurawa; Vigilantism; Hybrid Security Governance; Insurgency; Border Security; Northwestern Nigeria

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

TITLE OF THE SOIL & ECOSYSTEMS ENTOMOLOGY: INSECTS AS EGINEERS OF SOIL HEALTH AND BIOGECHEMICAL CYCLES

Olakunle Deborah Erenola
Department of Biological Sciences, Federal University Lokoja

Abstract
Soil health and ecosystem functioning depend on complex interactions among soil organisms, organic matter, vegetation, and biogeochemical processes. Among these biological components, insects play critical but often underappreciated roles as ecosystem engineers, influencing soil structure, decomposition, nutrient cycling, and microbial activity. This paper examines the contribution olaf soil-associated insects to soil health and the regulation of key biogeochemical cycles. Through their activities, insects such as termites, ants, dung beetles, and soil-dwelling larvae modify soil physical properties by constructing galleries, mixing soil layers, fragmenting organic materials, and improving soil porosity and aeration. These activities facilitate the decomposition of plant residues and animal wastes, thereby influencing the cycling and availability of essential nutrients, including carbon, nitrogen, and phosphorus. Insects also interact with microorganisms, contributing to processes that regulate organic matter transformation and nutrient mineralization. Termite mounds, ant nests, and dung beetle activity can create localized nutrient-rich microsites that enhance soil fertility and support plant productivity. However, land-use change, intensive agriculture, pesticide application, habitat degradation, and climate variability may disrupt insect communities and consequently alter soil ecological processes. Understanding these relationships is therefore important for sustainable soil management, biodiversity conservation, and ecosystem resilience. The paper highlights the ecological significance of insects as biological engineers and emphasizes their potential as indicators and drivers of healthy soils and functional ecosystems. Integrating insect conservation into sustainable agricultural and ecosystem-management strategies can strengthen natural nutrient cycling and long-term soil productivity.
Keywords: Soil entomology; Ecosystem engineers; Soil health; Nutrient cycling; Insects; Soil fertility.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EFFECT OF VARIETY AND ORGANIC FERTILIZER ON AGRONOMIC PERFORMANCE AND CHEMICAL COMPOSITION OF ELEPHANT GRASSES (*PENNISETUM PURPUREUM*)

Shimelis Tedila
Antsokia Geza district Agricultural Development Office

Ahmed Hassen
Department of Animal Science, College of Agriculture and Natural Resource Sciences, Debre Berhan University

Mekete Bekele
Department of Animal Science, College of Agriculture and Natural Resource Sciences, Debre Berhan University

Abstract
Livestock production in tropical smallholder farming systems is severely constrained by seasonal feed shortages and poor forage nutritional quality. This study evaluated the combined effects of variety and organic fertilizer application on the agronomic performance; biomass yield, forage chemical composition, and post-harvest soil fertility of elephant grass. A multi-stage sampling survey of 123 farming households revealed that while elephant grass is widely cultivated (99%), smallholders predominantly rely on low-yielding local cultivars (59.35%) without fertilizer amendment. To address this gap, an on-farm field experiment was conducted using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications. Treatments comprised three elephant grass varieties (Local cultivar, ILRI #16789, and ILRI #15743) evaluated under three fertilizer levels: control (no fertilizer), vermicompost (6 t/ha), and traditional manure compost (12 t/ha). Results demonstrated that highly significant main and interaction effects ($P < 0.01$) on agronomic traits and dry matter yield. The improved genotype ILRI #16789 consistently outperformed other varieties across all parameters, recording the highest plant height, tiller number per plant, leaf-to-stem ratio, and total dry matter yield (DMY) when amended with vermicompost. Harvesting interval significantly affected forage quality; earlier cuts yielded higher Crude protein (CP) and lower fiber, whereas subsequent harvests delivered total cumulative biomass accumulation. Chemical analysis also indicated that vermicompost significantly enhanced CP content (11.84%) while reducing fiber fractions (NDF, ADF, and ADL), thereby enhancing forage digestibility. Post-harvest soil analysis showed that vermicompost application significantly improved soil pH (from 5.41 to 6.31), organic carbon (4.54 g/kg), total nitrogen (0.23 g/kg), and available phosphorus (2.92 ppm) compared to control plots and manure compost ($P<0.001$). Cultivating high-yielding variety ILRI #16789 combined with vermicomposting at 6 t/ha is strongly recommended as an ecologically sound and high-yield strategy to alleviate livestock feed shortages and improve productivity in the tropical agro-ecologies.
Keywords: Natural fertilizer, agronomy, cutting, soil health

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A TECHNIQUE FOR POLYESTER EMBEDDING OF TOPOGRAPHICAL SECTIONS OF EQUINE LIMBS

Nikolay Tsandev
Trakia University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Anatomy, Histology and Embryology

Pamela Sarova
Trakia University, Faculty of Veterinary Medicine

Angel Vodenicharov
Medical University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Preclinical Sciences

ABSTRACT

Introduction

Topographical anatomical sections are a valuable resource for studying the spatial relationships between anatomical structures. The need to create durable anatomical specimens that are convenient to store and suitable for repeated use has prompted the search for accessible methods for their preparation.

The aim of the present study was to develop and apply a practical technique for polyester embedding of topographical sections of equine limbs and to evaluate the suitability of the resulting specimens for anatomical education.

Materials and Methods

Topographical sections obtained from equine limbs were examined and, following specific processing, embedded in polyester resin. The main stages of the technological process, the quality of the resulting specimens, the visualization of anatomical structures, the durability of the embedding, and the potential use of the specimens in the educational process were assessed.

Results

The developed technique enabled the production of compact and durable anatomical specimens with good visualization of the anatomical structures. The polymer provided stable fixation of the sections while preserving the spatial relationships between the individual anatomical structures. The resulting specimens were characterized by good transparency, ease of handling, and the possibility of repeated use without significant mechanical damage. The technique demonstrated potential for the rapid preparation of educational specimens with a relatively low level of technological complexity.

Conclusion

Polyester embedding represents a practical approach for the preparation of durable topographical specimens from equine limbs. The results demonstrate the applicability of the technique as a complementary method in practical anatomical education.

Keywords: veterinary anatomy, educational methodology, anatomical preservation, morphological visualization, cross-sectional anatomy.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

SALINE AGRICULTURE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS: A REGIONAL PERSPECTIVE[1]

Vítor João Pereira Domingues Martinho
School of Agriculture (ESAV), Polytechnic University of Viseu (UPV)
Centre for Environmental and Marine Studies (CESAM), University of Aveiro

Abstract
Soil salinisation is an emerging problem, often ignored by stakeholders because, in some cases, it is not yet visible. From this perspective, there is an urgent need to find solutions and place these issues even higher on the agenda of national, European and international policy makers. Only with appropriate policies and stakeholders who are aware of the real consequences of soil salinisation will it be possible to deal effectively with the situation associated with this context, especially with the challenges inherent in climate change. From this point of view, this study aims to highlight contributions from the literature on the relationship between soil salinisation and the Sustainable Development Goals, with a special emphasis on the regional dimensions of these topics. Taking these objectives into account, metrics from the literature were analysed and a survey of scientific documents was conducted. The results obtained show the asymmetric impacts of soil salinisation, depending on geographical location, the characteristics of economic activities and soil conditions.
Keywords: Bibliometric analysis; Systematic literature review; Scopus database

[1] Acknowledgement: This publication is based upon work from COST Action Sustainable use of salt-affected lands (SUSTAIN), CA22144, supported by COST (European Cooperation in Science and Technology). This work was funded by national funds through FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P., under the project CESAM-Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, references UID/50017/2025 (doi.org/10.54499/UID/50017/2025) and LA/P/0094/2020 (doi.org/10.54499/LA/P/0094/2020).

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

STAKEHOLDER MAPPING AND ANALYSIS: PERCEPTIONS AND ATTITUDES TOWARDS WASTEWATER REUSE[1]

Vítor João Pereira Domingues Martinho
School of Agriculture (ESAV), Polytechnic University of Viseu (UPV)
Centre for Environmental and Marine Studies (CESAM), University of Aveiro

Abstract
In the current context of scarce resources to meet the growing demand for satisfying the diverse needs of populations, it is imperative to promote sustainable practices and the reuse of certain types of waste as resources for economic activities and domestic use. The question that often arises concerns the willingness of stakeholders to use reused resources in their daily tasks. This willingness to reuse is often linked to the attitudes and perceptions of stakeholders in these contexts. From this perspective, the objective of this study is to contribute further to the understanding of stakeholders' willingness to use treated wastewater, with a special focus on attitudes and perceptions. To achieve these objectives, special emphasis was placed on the results highlighted in the scientific literature. The results obtained highlight the main drivers and barriers to the effective reuse of treated wastewater. In addition, gaps in the literature, trends, and suggestions for future research are presented.
Keywords: Literature survey; Gaps and trends; Future research.

[1] Acknowledgement: This publication is based upon work from COST Action Mainstreaming water reuse into the circular economy paradigm (Water4Reuse), CA23104, supported by COST (European Cooperation in Science and Technology). This work was funded by national funds through FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P., under the project CESAM-Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, references UID/50017/2025 (doi.org/10.54499/UID/50017/2025) and LA/P/0094/2020 (doi.org/10.54499/LA/P/0094/2020).

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BARRIERS AND DRIVERS OF AGRICULTURAL INNOVATION IN ALGERIA

Associate Professor Bouchakour R.
Food, Innovation, and Sustainable Approaches in the Agri-food Sector, Faculty of Natural and Life Sciences (SNV), University of Blida

ABSTRACT
This paper aims to discuss the current technical innovation adoption in Algeria and the future of innovation adoption in Algeria. Innovation and technology adoption in agricultural practices in Algeria has a potential to improve the economy, reduce food dependence, and mitigate many of the problems faced by Algerian farmers. Indeed, Algerian farmers need to mitigate the impact of issues such as climate change, pest control, soil fertility, weather uncertainty, poor market organisation and infrastructure, and poor information on farm activities. Technical innovations are general improvements in tools, equipment, and processes that make farming more efficient.
Algeria's full agricultural potential remains underutilised. Persistent barriers include water scarcity, high machinery costs, limited farmer training, and weak rural infrastructure (Bouchenaf, 2025). Moreover, adoption is highly uneven: while large-scale projects benefit from state and foreign investment, smallholder farmers—who constitute the majority of producers—struggle to access modern technologies.
This paper focuses on this dualism by investigating barriers to innovation adoption in Algeria. We collect questionnaire data from Djelfa, Blida Oued Alleug, Mascara . We focus on farmers that fail to adopt any form of innovation, and asked them to reflect on 11 barriers to adoption, and six adoption promoting factors. The most important barriers to adoption is the perceived risk involved with innovative activities. This is followed by the cost of equipment, lack of training, and lack of financing. The most important promoting factor is financing and subsidies , followed by training.
Keyswords: Innovation, Farmers, Algeria, Barriers to Adoption.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

RESPONSE OF CAULIFLOWER (*Brassica oleracea var. botrytis*) TO DIFFERENT VOLUMES OF SOIL AND RATES OF COMPOST

Dr. Adenike Fisayo KOMOLAFE
Federal College of Agriculture, School of Agricultural Technology, Department of Agricultural Technology
ORCID: 0000-0003-1960-734X

Dr. Olufemi Emmanuel AYANFEOLUWA
Federal College of Agriculture, School of Agricultural Technology, Department of Organic Agricultural Technology
ORCID: 0000-0002-7440-5196

Dr. Christianah Olubunmi KAYODE
Federal College of Agriculture, School of Agricultural Technology, Department of Crop Production Technology
ORCID: 0000-0002-0016-8669

Mr. Ezekiel Abiodun SAMUEL
Federal College of Agriculture, School of Agricultural Technology, Department of Organic Agricultural Technology
ORCID:0009-0001-6723-6646

ABSTRACT
This study evaluated the response of cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis) to different volumes of soil and rates of nitrogen derived from compost under the agro-ecological conditions of Ibadan, Nigeria at the Federal College of Agriculture, Moor Plantation Ibadan. The factorial experiment involving two factors (soil volume; 10 and 25 kg and compost levels; 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 and 80 kg N/ha) replicated four times was laid out in a Completely Randomized Design (CRD). Data on plant height, number of leaves, dry matter weight and nutrient uptake were collected and analyzed using ANOVA while significant treatment means were separated with Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at 5% probability level. The results showed that soil volume and compost application significantly influenced all the parameters. The result showed that the 25 kg soil volume consistently gave a higher value of plant height, number of leaves, dry matter weight and nutrient uptake compared to the 10 kg soil volume. Also, the 30 kg N/ha compost consistently produced the highest / optimum value of plant height, number of leaves, dry matter weight and nutrient uptake of the cauliflower plant. However, curd formation was not observed, traceable to prevailing temperatures (28–30°C) exceeding the optimum range (15–25°C) required for curd initiation. The study concludes that soil volume of 25 kg could be better for cauliflower cultivation than 10 kg soil volume while compost can serve as a sustainable nutrient source for cauliflower production, with 30 kg N/ha suggested as the optimal rate for vegetative growth. However, further studies are recommended to assess the response of curd yield of cauliflower to compost application under cooler conditions.
Keywords: Compost, Soil Volume, Cauliflower, Nutrient uptake, Curd initiation

INTRODUCTION

Globally, cruciferous vegetable such as cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) cultivated for its edible white curd, has high nutritional density and health-promoting properties (FAO, 2020). It contains high levels of essential nutrients such as carbohydrates, protein, retinol, thiamin, ascorbic acid, lipids phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), folate, fiber, sulphur, iron and copper (Jeffery and Keck, 2016). It provides substantial amounts of beneficial phytochemicals like carotenoids, beta carotene, glucosinolates and isothiocyanates (Bianco *et al.,* 2015) which exhibit antioxidant and anti-carcinogenic effects (Ahmed ad Ali, 2013). It also helps to maintain cholesterol level if consumed regularly (Keck, 2004). Moreover, it also has medicinal values and therapeutic effects as it contains high concentration of glucosinolates, which is effective in the inhibition of carcinogenesis (Sharma *et al.*, 2014; dos Reis *et al.,* 2015).

Cauliflower is a crop with intensive nutrient uptake which a substantial demand for macronutrients, particularly nitrogen (Abdel-Razzak *et al.,* 2008; Bianco *et al.,* 2015). Previous investigations by Abdel-All and EL-Shabrawy (2013) and Singh *et al. (*2019) found out that curd yield and quality of cauliflower and broccoli are greatly influenced by nitrogen application. Nitrogen (N) plays a significant role in crop production most especially on vegetative growth, curd development, yield and nutritional quality of cruciferous vegetable (Konstantopoulou *et al.,* 2010), through controlling the synthesis of several key products in plant cell, such as nucleic acids, proteins, phospholipids and other secondary metabolites (Amtmann and Armengaud, 2009). The optimum supply of N enhances plant growth and crop productivity (Yokamo *et al.,* 2023); however, the excessive and overuse of N fertilization may increase the accumulation of compounds such as nitrates and non-protein nitrogen in the edible parts, which may be harmful to human health and cause several environmental pollution and economical losses (Mashaela *et al*., 1998; Elia *et al.,* 1998; Rani and Mallareddy, 2007; Elwan and El-Shatoury, 2012).

Cauliflowers are extensively cultivated for human consumption and its nutritional benefits, but little is known about how environmental factors like soil volume affect their growth and flowering potential. Soil volume is defined as the total quantity of soil accessible to a plant's root system for water and nutrient absorption, root expansion, and physiological support (Brady and Weil, 2002). Some factors, like soil compaction, aeration, poor drainage and restricted root growth due to the size of container can directly affects a plant's ability to perform its biological and physiological functions, particularly in potted plants (Singh *et al.,* 2015; Mathers *et al.*, 2007). Studies have shown that limited soil volume can result in root crowding, restricted water availability, increased competition for nutrients, reduced aeration reduced chlorophyll content, lower photosynthetic efficiency, poor biomass accumulation, and suppressed reproductive development in vegetables, including cole crops all of which negatively affect plant growth (Brady and Weil, 2002; Mathers *et al.,* 2007; Singh *et al.*, 2020). Additionally, limited rooting space can induce stress responses that affect hormonal signaling and shoot-root coordination, further impairing the plant's overall performance (Gupta and Sharma, 2007; Palaniappan and Annadurai, 2007).

Conversely, increasing soil volume enhances root zone capacity, enabling better nutrient uptake, water retention, and microbial activity, which in turn promote vigorous growth and higher yields (Schafer and Lerner *et al*., 2022). Larger soil volumes also provide greater buffering effect against environmental fluctuations such as drought, salinity, or sudden nutrient depletion by increasing water storage capacity and reducing rapid changes in soil moisture ad temperature which are common in controlled or containerized systems (Singh *et al.*, 2019; Schafer and Lerner *et al*., 2022).

Urban and container farming systems are increasingly used to address space constraints in food production, but these systems often suffer from reduced productivity due to limited soil volume (Kumar and Raheman 2012). Cauliflower, being moderately shallow-rooted and sensitive to root zone limitations, serves as an ideal model crop for evaluating soil volume effects. Moreover, this study aligns with sustainable agriculture goals, particularly those related to resource-use efficiency and intensified small-space production (FAO, 2020). By understanding how soil volume alone affects plant physiology and yield, researchers and farmers can make informed decisions about container size, plant spacing, and soil management in restricted environments (Kumar and Raheman 2012; Singh *et al.*, 2022). Therefore, this study seeks to bridge the knowledge gap by examining the growth and yield performance of cauliflower as influenced by different soil volumes**,** under controlled containerized conditions. The outcomes are expected to provide valuable recommendations for optimizing container agriculture and contribute to resilient and efficient vegetable production systems (Mathers *et al.,* 2007; Palaniappan and Annadurai, 2007. The challenge lies in understanding how variations in soil volume and nitrogen rates combine to affect cauliflower growth and flowering, as improper management of these factors can lead to suboptimal plant health, poor flower quality, and inefficient resource usage. This study aims to address this knowledge gap by examining how these factors soil volume and nitrogen rate interact to influence cauliflower performance.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted at the Screen House Unit of the Federal College of Agriculture, Moor Plantation, Ibadan, Oyo State, Nigeria. The College is located in the humid region of Southern Nigeria, specifically at latitude 7°22'35.09" N and longitude 3°50'30.38" E. The materials used for the experiment include; Cutlass, digital scale, polythene bags (10 kg and 25 kg soil capacity), seedling trays, Cauliflower seeds, Pen and field book, measuring tape and paper tape. The cauliflower seed was sourced from a reputable supplier in Lagos State, Nigeria. Cauliflower seeds was sown in a seedling tray and nursed for six (6) weeks to raise healthy seedlings for transplanting. The growth medium that was used in the seedling trays consisted of a mixture of topsoil, sawdust, and compost in a ratio of 2:1:1 respectively. After thoroughly mixing the growth medium was used to fill the cells of the seedling trays. The seeds were planted, and watering was done regularly using a perforated water bottle to provide uniform moisture through gentle spraying.

The soil used for potting was packed from the Organic Farm of the College, it was air dried, all stones and debris were removed after which it was thoroughly mixed together for uniformity and then potted in polythene bags of 10 and 25 kg capacity following the experimental design. A total of 72 pots of 25kg size and 72 pots of 10 kg size were used in the experiment. Soil sample was taken to the laboratory for physical and chemical analysis to determine the soil's fertility status and properties before the experiment.

The experiment followed a Completely Randomized Design (CRD**)** involving two soil volume levels (10 Kg and 25 Kg) and nine compost rates: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 and 80 Kg N/ha replicated eight times. Compost applied was analyzed for its nutrient composition as presented in Table 1. Nitrogen content of the compost was used to calibrate the nine treatment rate used in the study. The treatment combinations were randomly assigned to the experimental pots within the screen house and the compost was applied to the pot at transplanting Watering was done regularly while weeding was done manually as at when due to minimize competition and enhance crop performance.

Data collection commenced two (2) weeks after planting, and the morphological parameters assessed were number of leaves which was done by numerical counting, plant height (cm), by measuring from the top of the plant to the ground level using a ruler and Stem girth (cm), by ring thread round the stem and measuring it on a meter rule. Data collected fo dry matter yield and nutrient uptake was taken by uprooting plant from each pot, cleaned, partitioned into various plant part and labelled appropriately. This was weighed and thereafter oven dried at 65^{o}C till constant weight for dry matter yield. The dry matter yield per pot was determined by the ratio of the dry sample weighed per pot to the ratio of the wet sample weighed per pot in percentage using equation below according to AOAC (2010).

$$\text{Dry matter (\%)} = \frac{\text{Weigh of dry sample (g/ pot)}}{\text{Weigh of wet sample (g/pot)}} \times 100$$

Each sample was later milled separately, labelled and analysed for the nutrient (N, P, K) in the laboratory and uptake was calculated. The total Nitrogen was determined using micro kjeldah procedure as described by FAO (2021). The determination of phosphorus was done by Bray method as described by Bremer, (1996) and FAO (2021) while exchangeable K was determined by extraction with 1N ammonium acetate and the amount of K in the filtrate was determined using flame photometer with appropriate filter.

Pre cropping soil sampled was analysed using the following procedure; particle size distribution was determined using the hydrometer method as described in ISO 11277 (2020). Soil pH in water (1:1) was determined potentiometrically using a calibrated pH meter in a soil suspension in accordance with the method outlined in ISO 10309 (2021). Subsequently, organic carbon content was analyzed using the Walkley-Black wet oxidation procedure, with dichromate serving as the oxidizing agent, as described by GLOSOLAN (2019) and FAO (2021). Total nitrogen in the soil was determined by the Kjeldahl digestion and distillation method according to GLOSOLAN (2021). Available phosphorus was extracted using Bray-1 solution and then determined colorimetrically via the molybdenum blue procedure, following standard procedure reported in FAO, (2021). Exchangeable cations (Ca, Mg. Na & K) were determined by extracting the soil samples with 1N ammonia acetate solution buffered at pH 7.0 Exchangeable Ca and Mg were determined using an appropriate instrumental method while Na and K were determined using flame photometry analytical techniques (GLOSOLAN 2023). Exchangeable acidity was determined y extracting the soil sample with potassium chloride (KCl) solution. The extract was subsequently titrated with standardized sodium hydroxide (NaOH) solution to determine exchangeable acidity following the procedure described by Umeobi *et al.,* (2024). Finally, the Effective Cation Exchange Capacity (ECEC) was computed as the sum of the total exchangeable bases and total acidity, based on the method described by Nel *et al.* (2023)

All data collected was subjected Analysis of Variance (ANOVA) to determine treatment effects. Treatment means was separated using Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at a 5% level of probability.

Table 1: Chemical composition of the compost used for the experiment

Parameters	Value
pH	5.9
Na g/kg	0.48
K g/kg	0.64
Ca g/kg	0.38
P g/kg	6.75
OC g/kg	12.40
OM g/kg	21.38
TN g/kg	1.27
Fe mg/kg	0.88
Zn mg/kg	0.75
Mg mg/kg	0.69
Cu mg/kg	0.12
Mn mg/kg	0.10

.

Table 2: Physical and chemical properties of the experimental soil

Parameters	Value
pH (H_2O)	5.8
Organic Carbon (g/kg)	10
Total Nitrogen (g/kg)	2.0
Avail. Phosphorus (mg/kg)	6.3
Exchangeable bases (c mol/kg)	
K^+	0.2
Na^+	0.26
Mg^{2+}	0.2
Ca^{2+}	0.26
Particles size distribution (g/kg)	
Sand	816
Silt	92
Clay	92
Texture class	Loamy Sand

RESULTS AND DISCUSSION

Physical and chemical properties of the experimental soil

The result of the analysis of soil used for the experiment presented in Table 2 showed that the soil is moderately acidic with a pH value of 5.9 and loamy sand in texture. The soil had moderate organic carbon (10.0 g/kg) because it is within the critical level of 10-14 g/kg. The total N value (2.0 g/kg) is moderate because it is within the critical level of 1.6-2.0 g/kg. Also, available P is low (6.30 mg/kg) because it is below the critical level of 7-20 mg/kg (FMARD, 2012). The exchangeable bases were also low. The exchangeable bases, the available phosphorus and organic matter content are very low indicating the low fertility of the experimental soil. This low fertility could be attributed to constant depletion of nutrient through frequent grazing by nomads, leaching of nutrient through water logging and other edaphic factors such as erosion. Supplementary nutrient element is needed to boost the nutrient status of the soil.

Effect of Nitrogen from compost on Morphological parameters of cauliflower

The results of the effect of different rates of nitrogen from compost on plant height of cauliflower presented in Table 3 showed that there were no significant difference between the two volumes of soil at 4 and 6 WAT however cauliflower planted on 25 kg soil had significant taller plant than those that were planted on 10 kg soil at 8, 10 and 12 WAP. The tallest significant height of cauliflower recorded was 29.7 cm for 25 kg soil volume at 12 WAP.

In terms of treatment imposed on cauliflower there was no significant different at 4WAT. However, at 6WAT, plants treated with 20 kg N/ha of compost gave the highest plant height (17.4 cm) which was not significantly different from the other treatments except 10 kg N/ha which gave the lowest plant height ((10.3 cm). At 8WAT, plant treated with 50 kg N/ha gave the highest plant height (23.9 cm) which was not significantly different from the other treatments except 10 kg N/ha which gave the lowest plant height (14.2 cm). At 10WAT, plant treated with 30 kg N/ha gave the highest plant height (27.4 cm) which was not significantly different from the other treatments except 10 kg N/ha which gave the lowest plant height (16.6 cm). At 12WAT, 30 kg N/ha gave the highest plant height (31.4 cm) which was not significantly different from plant treatments 20 kg N/ha (27.6 cm), 50 kg N/ha (30.7 cm), 60 kg N/ha (28.4 cm), 70 kg N/ha (28.8 cm) and 80 kg N/ha (27.6cm) but significantly higher than the control (25.6 cm), 10kg N/ha (21.3 cm) and 40kg N/ha (25.4 cm).

The results of the effect of different rates of nitrogen from compost on leave counts of cauliflower showed that 25 kg soil volume had higher leave count of cauliflower than those planted on 10 kg soil the highest leave number recorded at 12 WAP was 18. In terms of different rate of compost applied on cauliflower, there were no significant differences among the treatments at 4WAT. However, at 6WAT , plants treated with 60 kg N/ha gave the highest number of leaves (12.8) which was not significantly different from the other plant treatments except plant treated with 10 kg N/ha and 20 kg N/ha. However, plants treated with 10 kg N/ha gave the lowest number of leaves (7.0). At 8WAT, plants treated with 30 kg N/ha gave the highest number of leaves (15.8) which was not significantly different from the other treatments except 10 kg N/ha and 80 kg N/ha , plants treated with 10 kg N/ha gave the lowest number of leaves (8.8). Also at 10WAT, the plants treated with 30kg N/ha (18.3) and 60 kg N/ha (18.3) gave the highest number of leaves which was not significantly different from treatments 40 kg N/ha (14.8), 50 kg N/ha (16.8) and 70 kg N/ha (14.3) but significantly higher than the control (13.8) , 10 kg N/ha (8.8) , 20 kg N/ha (13.3) and 80 kg N/ha (13 5) and plants treated with 10 kg N/ha gave the lowest number of leaves (8.8). At 12WAT, plants treated with 60 kg N/ha gave the highest number of leaves (20.5) which was not significantly different from 30 kg N/ha (19.8), 50 kg N/ha (17.8) and 70 kg N/ha (16.8) but significantly higher than the control (15.0), 10 kg N/ha (11.0), 20 kg N/ha (13.8), 40 kg N/ha (16.3) and 80 kg N/ha (13.8).

The absence of significant differences in cauliflower plant height during the initial weeks after transplanting suggests that the plants may have experienced similar early establishment and acclimatization conditions, before the effects of the different soil volumes became more pronounced. From 8 weeks after transplanting (WAT), plants grown in the 25 kg soil-volume treatment attained the greatest height, with the difference becoming more evident as growth progressed. This response may be associated with a more favourable root environment, including greater access to water and nutrients and increased space for root development. However, these mechanisms should be presented as possible explanations unless root growth, soil moisture or nutrient uptake was measured directly.

This conforms is to the research work of Ghimirey *et al.* (2025), who found that organic fertilizer treatments significantly influenced cauliflower plant height and other growth parameters. Similarly, Natsheh *et al*. (2021) reported improved cauliflower growth under compost-based fertilizer treatments.

The lack of significant differences between the 30 kg N treatment and higher nitrogen doses should not be interpreted as proof that 30 kg N is the optimum rate. Rather, it indicates that the additional nitrogen did not significantly increase plant height under the conditions of your experiment. A related study by Setyowati *et al*. (2018) found that cauliflower responded to *Tithonia diversifolia* compost, with the highest fresh curd weight recorded at 25 t ha^{-1}. The authors also reported no significant difference in some growth parameters between the 20 and 25 t ha^{-1} treatments. These findings illustrate that responses to compost may differ according to the growth parameter measured and the rates applied.

Effect of Nitrogen from compost on fresh weight (g) and dry weight (g) of cauliflower

The results of the effect of different rates of nitrogen from compost on the fresh weight and dry weight of cauliflower presented in Table 4 showed that fresh shoot weight was significantly higher (237.4 g) in cauliflower planted on 25 kg soil than that on 10 kg soil (153.5g) the same was the trend of dry shoot weight 41.5 g planted on 25kg soil to than of 28.0 g planted on 10kg soil. Root weight irrespective of the moisture (wet or dry) was not significant different comparing the two volumes of soil used. . Weight of whole cauliflower plant both at fresh and dry level however was significantly higher in plants that received 25 kg soil (314.3g/plant, 71.9 g/plant) than those planted on 10 kg (212.2 g/plant, 50. 7 g /plant) respectively. In terms of treatment rates, there were no significant differences among the fresh shoot weight, fresh root weight and whole plant fresh weight. Likewise, there were no significant differences among the dry shoot weight, dry root weight and whole plant dry weight. However, the plants treated with 60 kg N/ha gave the highest fresh shoot weight (312.3 g/plant) while plants treated with 10 kg N/ha had the lowest fresh shoot weight (112.7 g). Also, plants treated with 70 kg N/ha gave the highest dry shoot weight (53.6 g/plant) while the 10 kg N/ha gave the lowest dry shoot weight (20.3 g/plant). Plants treated with 70 kg N/ha gave the highest fresh root weight ((96.0 g/plant) while 10kg N/ha had the lowest fresh root weight (39.5 g/plant). Also, 30 kg N/ha gave the highest dry root weight (35.3 g/plant) while 10 kg N/ha treatment gave the lowest dry root weight (13.4 g/plant). Likewise, plants treated with 60 kg N/ha had the highest whole plant fresh weight (398.6 g/plant) and 10 kg N/ha had the lowest whole plant fresh weight (152.3 g/plant). Treatment 70 kg N/ha compost had the highest whole plant dry weight (86.6 g/plant) while 10 kg N/ha gave the lowest whole plant dry weight (33.8 g/plant).

The results of this yield parameters showed that cauliflower plant did not respond to the applied treatment. This suggest that the nutrients content of the soil used for this study was sufficient for growth stage of cauliflower. However, this cauliflower plant did not produce curd and this may be due to the environmental temperature at the time when the cauliflower is old enough to produce curd (3-4 months). The environmental temperature of the location as at this time was 28 - 30°C. This temperature is below the temperature of 15 and 25°C required for curd formation in cauliflower as reported by (Fageria, 2009).The finding is in line with the report of (Leah, 2019) where the compost used did not improved the number of leaves, root and shoot of cauliflower . Mulodia *et al.*, 2022 in their research also supported that cauliflower exposed to high temperature stress (28.4-30ºC) for entire growth period has less or no yield as compared to that grown in ambient temperature.

The absence of visible curd initiation throughout the experimental period may be attributed to unfavourable temperature conditions, Booij and Struik (1990) demonstrated that temperature influences the relationship between vegetative development and curd initiation. More recent genetic research by Hassan *et al*. (2016) also identified temperature as a major environmental factor controlling the timing of curd induction, with temperatures above approximately 20–22°C delaying or inhibiting curd development in many cultivars. Therefore, if temperatures during the experiment were consistently high, they may have contributed to the failure of the plants to initiate curds within the experimental period.

Effect of soil volumes and compost rates on nutrient uptake in Cauliflower

The effects of soil volumes on nitrogen, phosphorus, and potassium uptake in cauliflower, as presented in Fig. 1, indicated that cauliflower planted on 25 kg soil had significant higher uptake of the three treatments compare to the on planted on 10 kg cauliflower. Cauliflower grown in 25 soil volumes recorded a significantly higher nitrogen uptake of 76.7g/plant compared to 25.7 g/pant in the 10 soil volume treatment. For phosphorus uptake, although the difference was not statistically significant, the 25 kg soil volume treatment still showed a higher uptake value of 14.1 g/pant, whereas the 10 kg soil volume treatment recorded 11.2 g/plant. Similarly, potassium uptake did not differ significantly between treatments, but plants in 25 kg soil volumes absorbed more potassium (52.0 g/plant) compared to those in 10 kg volumes (44.3 g/plant). This revealed that larger soil volumes may enhance nutrient availability and uptake, particularly for nitrogen in cauliflower.

Effects of compost rates on nitrogen (N) uptake in cauliflower presented in Figure 2 showed that the effects of compost application rates (Kg N/ha) on nitrogen (N) uptake in cauliflower. Nitrogen uptake increases sharply with compost levels, peaking at 30 KgN/ha with over 70 g/plant. After this peak, uptake declines at 40 KgN/ha, then gradually rises again to around 60 g/plant at 70 KgN/ha before slightly dropping. This trend indicates that moderate compost application enhances N absorption, while excessive levels reduce efficiency. Similar findings were reported by Tallarita *et al*. (2024), who observed that appropriate N: K ratios significantly improved yield and head quality in cauliflower, while imbalances reduced nutrient use efficiency. In addition, Bairwa *et al*. (2024) highlighted that excessive application of macronutrients without proper balance can limit nutrient uptake and curd yield. The results indicate that optimal nitrogen uptake and cauliflower performance depend on balancing compost application with adequate soil volume. Nitrogen uptake increased from 25.7 g pot^{-1} at 10 kg soil volume to 76.7 g pot^{-1} at 25 kg soil volume.

Effects of compost rates on Phosphorus (P) Uptake in Cauliflower in figure 3 showed that P uptake generally increased with compost application, peaking at 30 Kg N/ha (around 16 g/plant). There was a slight drop at 40 KgN/ha, followed by another increase, reaching a second peak between 60–70 Kg N/ha. However, P uptake declined again at 80 Kg N/ha. This trend indicates that moderate compost enhances P uptake, while excessive rates reduce efficiency. The decline at higher levels may be due to phosphorus fixation, leaching, or limited soil retention capacity, especially in small soil volumes. Larger soil volumes provide better nutrient buffering, explaining the moderate recovery at mid-rates. However, uptake never exceeded the peak at 30 kg N/ha, suggesting that beyond this level, compost addition is not as beneficial. This agrees with Kumar *et al*. (2005), who reported that cauliflower productivity responded positively to applied phosphorus but showed diminishing returns at high levels.

Figure 4 showed the effects of compost application rates (KgN/ha) on potassium (K) uptake in cauliflower. The chart revealed a general increasing trend in K uptake with rising compost levels, peaking around 20–30 KgN/ha (over 60 g/plant).

Uptake fluctuates slightly beyond this point but remains higher than the initial value at 0 KgN/ha (~25 g/plant). Chander, *et al*. (2010) found that moderate K_2O rates significantly improved cauliflower growth and yield, but very high levels had limited benefits. Likewise, Chaudhary *et al*. (2024) reported that optimum N:K ratios improved curd quality and nutrient concentrations, while imbalances reduced efficiency. Hence adequate soil volume coupled with moderate compost application ensures efficient K uptake and better cauliflower performance

CONCLUSION

The study demonstrated that larger soil volumes (25 soil volumes) significantly enhance nitrogen uptake in cauliflower, with a recorded value of 76.7 g/plant compared to 25.7 g/plant in smaller soil volumes (10 soil volumes). While phosphorus and potassium uptake also increased in larger soil volumes (14.1 g/plant and 52.0 g/plant, respectively, compared to 11.2 g/plant and 44.3 g/plant in smaller volumes), these differences were not statistically significant. Moderate compost application rates, particularly 20 - 30 Kg N/ha, optimize nitrogen, phosphorus, and potassium uptake, with peak values of approximately 70 g/plant, 16 g/plant, and 60 g/plant, respectively. Excessive compost application beyond these levels leads to reduced nutrient uptake efficiency due to factors such as nutrient imbalances, fixation, or limited soil retention capacity. The study concludes that soil volume of 25 kg could be better for cauliflower cultivation than 10 kg soil volume while compost can serve as a sustainable nutrient source for cauliflower production, with 30 kg N/ha suggested as the optimal rate for vegetative growth. However, further studies are recommended to assess the response of curd yield of cauliflower to compost application under cooler conditions.

Table 3. Effect of Nitrogen from compost on morphological parameters of cauliflower

	Plant height (cm)					Leave count				
Treatments	4WAT	6WAT	8WAT	10WAT	12WAT	4WAT	6WAT	8WAT	10WAT	12WAT
Soil volume (kg)										
10	10	14.8	19.4b	22.4b	25.1b	7.7b	9.9b	12.3b	13.7b	13.8b
25	9.5 ns	14.8 ns	22.0a	25.4a	29.7a	7.9a	10.8a	13.9a	16.4a	18.3a
Fertilizer Kg Nha^{-1}										
0	10.1	13.5ab	21.1a	23.6a	25.6bc	7.8	9.8abc	12.5ab	13.8bc	15.0cd
10	6.4	10.3b	14.2b	16.6b	21.3c	6.3	7.0c	8.8c	11.0c	11.0d
20	10.7	17.4a	22.5a	24.7a	27.6ab	7.5	9.5bc	12.5ab	13.3bc	13.8d
30	10.1	14.9a	22.0a	27.4a	31.4a	7.5	11.5ab	15.8a	18.3a	19.8ab
40	8.9	13.9ab	20.4a	23.9a	25.334bc	8.0	10.5ab	13.0ab	14.8ab	16.3bc
50	10.0	15.8a	23.9a	26.0a	30.7ab	7.8	11.3ab	14.5ab	16.8ab	17.8abc
60	10.8	16.4a	21.0a	23.8a	28.4ab	9.5	12.8a	14.8ab	18.3a	20.5a
70	11.1	16.8a	21.3a	23.5a	28.8ab	8.3	10.8ab	14.3ab	16.0ab	16.8abc
80	9.6 ns	14.2a	19.9a	25.7a	27.6ab	7.8 ns	10.3ab	12.0b	13.5bc	13.8cd

Means with same letter (s) in a column are not significantly different at 5 % level of probability by Duncan Multiple Range Test (DMRT

Table 4: Effect of Nitrogen from compost on fresh weight (g) and dry weight (g) of cauliflower

Treatments	Shoot Fresh W	Shoot dry W	Root fresh W	Root dry W	Fresh whole plant W	Dry whole plant W
Soil Volume (kg)						
10	153.5b	28.0b	58.6	22.7	212.2b	50.7b
25	237.4a	41.5a	76.9	30.4	314.3a	71.9a
			ns	Ns		
Fertilizer (KgN/ha)						
0	148.5	23.3	53.2	16	201.7	39.4
10	112.7	20.3	39.5	13.4	152.3	33.8
20	147.7	26.9	57.1	21.9	204.8	48.7
30	279.6	40	84.6	35.3	364.2	75.3
40	130.3	30.4	52.5	23.9	182.8	54.3
50	265	36.6	91.8	33	356.8	69.6
60	312.3	44.8	86.2	34.4	398.6	79.2
70	206.8	53.6	96	33	302.8	86.6
80	155.9	37	49	27.6	205	64.6
	ns	Ns	ns	Ns	Ns	Ns

Means with same letter (s) in a column are not significantly different at 5 % level of probability by Duncan Multiple Range Test (DMRT)

Table 5: Effect of soil volumes and Compost Rates on Nutrient uptake of Cauliflower

Treatments	Plant Dry matter (g/pot)	N uptake	P uptake	K uptake
Soil volume (kg)				
10	50.7b	25.7b	11.2	44.3
25	71.9a	76.7a	14.1	52.0
			ns	Ns
Fertilizer (KgN/ha)				
0	39.4	29.6	8.5	26.4
10	33.8	42.5	6.2	25.2
20	48.7	63.5	10.9	61.2
30	75.3	73.5	16.1	64.8
40	54.3	42.6	10.3	45.6
50	69.6	43.0	14.4	61.4
60	79.2	48.8	16.7	45.1
70	86.6	60.9	16.8	52.1
80	64.6	56.4	14.1	51.6
	ns	ns	ns	ns
Sv*F	ns	ns	ns	ns

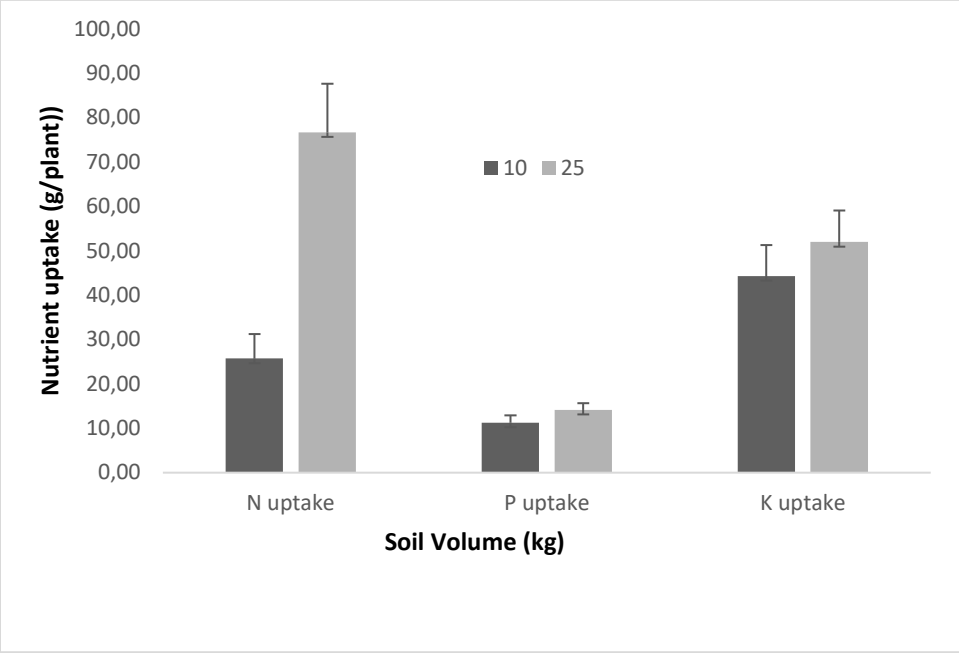


Figure 1: Effects of soil volume on nutrients uptake in cauliflower

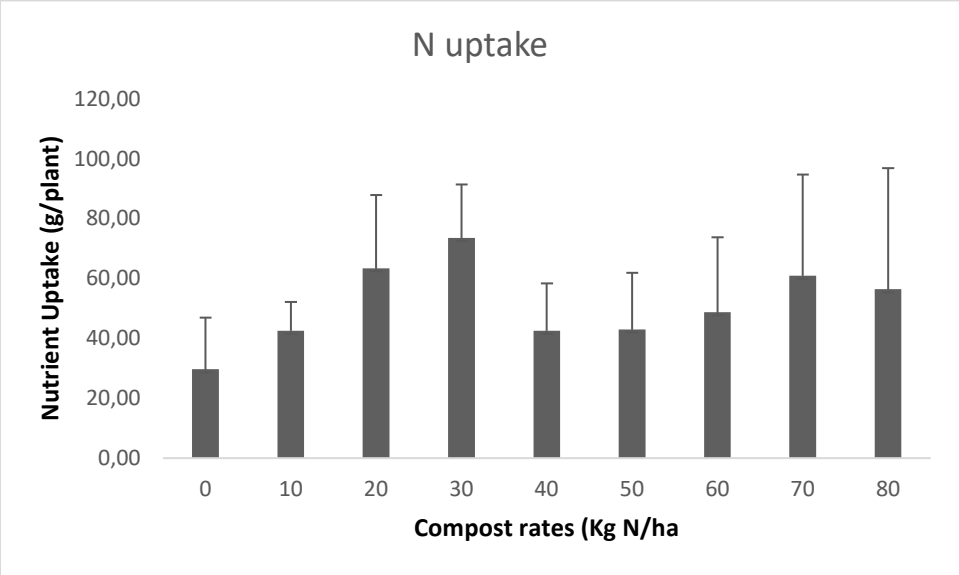


Figure 2: Effects of Compost rates on Nitrogen uptake in cauliflower

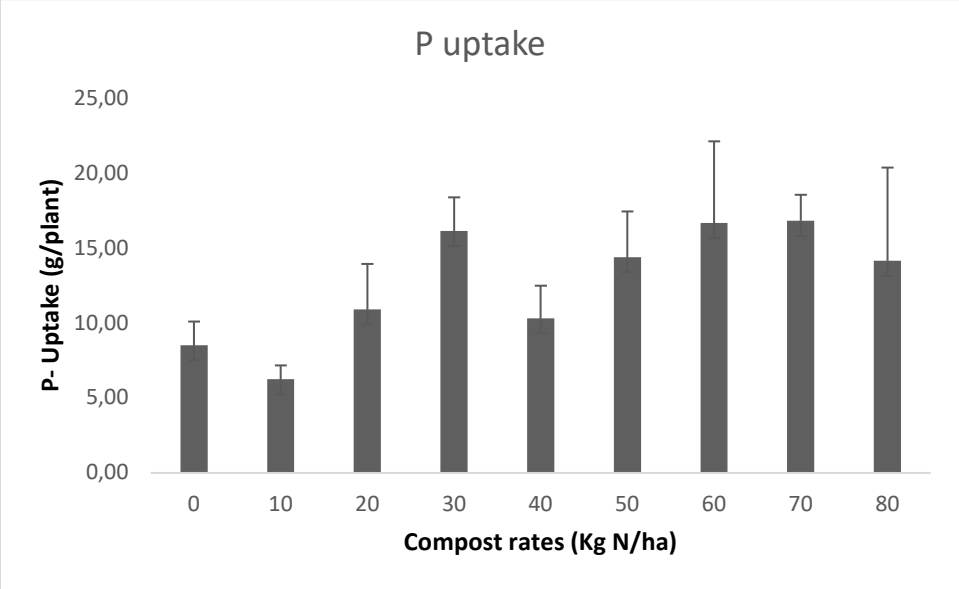


Figure 3: Effects of compost rates on phosphorus (p) uptake in cauliflower

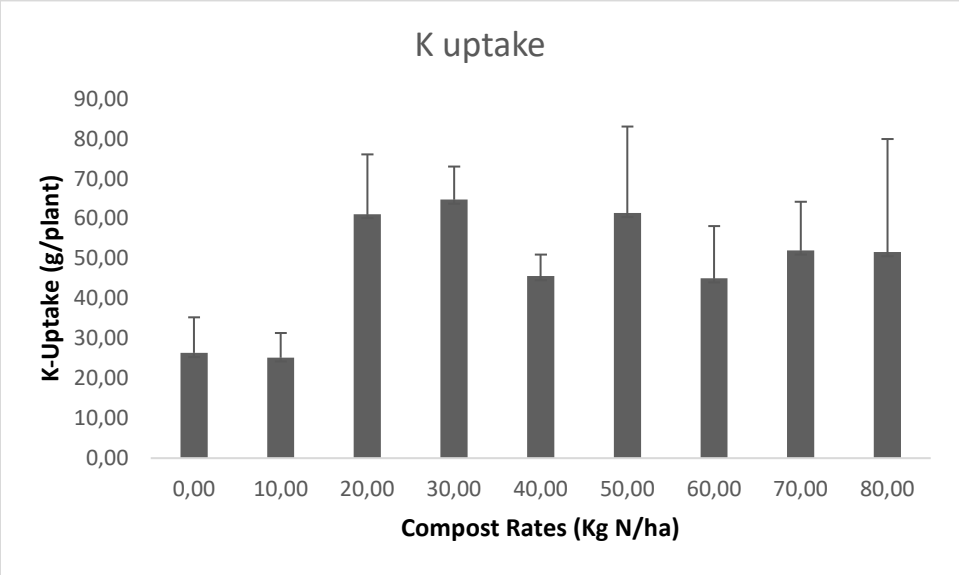


Figure 4: Effects of compost rates on potassium (p) uptake in cauliflower

REFERENCES

Abdel-All, H. M. and El-Shabrawy, R. A. (2013): Effect of some Phosphorus sources, nitrogen ad sulphur levels o yield, quality, sulfuraphae ad vitamin C content in Broccoli. *Research Journal of Agriculture and biological sciences, 9(6) 351-365*

Ahmed ad Ali, 2013Abdel-Razzak, H. S., Gamel, T. H. and A.B. El-Nasharty (2008): Efficiency of inorganic and organic nitrogen fertilization o cauliflower (*Brassica oleracae* var. botriys L.) curds quality. Alexandria *Science Exchange Journal*, 29(4) 283- 297. https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae 2008.3210.

Ahmed, F. A. and R. F. M. Ali, (2013): Bioactive compounds and anti-oxidants activity of fresh and processed white cauliflower. *BioMed Research International*, 2013, Article 367819 https://doi.org/10.1155/2013/367819

Amtmann A. and Armengaud (2009): Effects of N, P, K and S. on metabolism: New knowledge gained from multi-level analysis. Current opinion in *Plant Biology* 12(3), 275-283. https://doi.org/10.1016/j.pbi 2009.04.014.

Ashraf, M. I., Sajad, S., Hussain, B., Sajjad, M.,Saeed, M. S., Sattar, S. and M. A. Iqbal, (2017):. Physiological attributes of cauliflower *(Brassica oleracea)* as influenced by the application of different levels of nitrogen and hand weeding. *International Journal of Pure Applied & Bioscience*, 5(6): 9-13

Bairwa, P. L., Dixit, A., Bala, J. and V. Singh (2024): Effect of different macro and micro nutrient uptake on soil and plant in cauliflower (Brassica oleracea var. botrytis L.) cv. Pusa Sharad. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology,* 27(6), 878–895. https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i6951

Batabyal K., Mandal, B., Sarkar D., Murmu S., Tamang, A., Das, I., Hazra, G. C. and P. S. Chattopadhyay (2016): Comprehensive assessment of nutrient management technologies for cauliflower production under subtropical conditions. *European Journal of Agronomy* Vol: 79, Page: 1-13, ISSN: 1161-0301,

Bianco, M. S., Cecilio Filho, A. B. and L. B. deCarvalho (2015): Nutritional status of the cauliflower cultivar 'Verona' grown with omission of added micronutrients PLOS ONE, 10(4), e0123500. https://doi.org/10.1371/j.pone.0123500.

Booij, R. and P. C.Struik, P. C. (1990): Effects of temperature on leaf and curd initiation in relation to juvenility of cauliflower. *Scientia Horticulturae*, 44(3–4), 201–214. https://doi.org/10.1016/0304-4238(90)90120-4

Brady, N. C. and R. R. Weil (2002): The nature and properties of soils (13th ed.). Prentice Hall.

Bremner, J. M. (1996). Nitrogen—Total. In D. L. Sparks (Ed.), Methods of soil analysis: Part 3—Chemical methods (pp. 1085–1121). Soil Science Society of America.

Chander, G., Verma, T.S. and S. Sharma (2010): Nutrient content of cauliflower (*Brassica oleracea* var. Botrytis L.) as influenced by boron and farm yard manure in north-west Himalayan alfisols. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 58(2): 248-251.

Chaudhary, P., Khanal, P., Raj K., Kishor, P., Dahal, C., Prasad, B., Khanal, T. P. Chaulagain K.and P. Dhakal (2024): Effect of integrated nutrient management on the cauliflower yield and soil properties. *International Journal of Agricultural and Applied Sciences*, 5(1):44-51. https://doi.org/10.52804/ijaas2024.518

Chaudhary, R.P., Kumar, J., Thapa, P., Singh, A., Giri, B. and B. Kishore (2023): Effect of integrated nutrient management on growth and yield parameter of cauliflower (*Brassica oleracea* var. Botrytis) variety Madhuri. *The Pharma Innovation Journal,* 12(7): 310-314

Collins, M. and J. E. McCoy (1997: Chicory productivity, forage quality, and response to nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*, 89(2), 232–238. https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900020013x

Dos Reis, L.C. R., de Olivera, V. R., Hagen, M. E. K., Jablonski, A. Flores, S. H. and A. de Oliveira Rios (2015): Carotenoids, flavonoids, chlorophylls, phenolic compound and anti-oxidant activity in fresh and cooked broccoli (*Brassica olereacea* var. Avenger) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. Alphina F1). LWT –Food Science and Techology, 63(1), 177 – 183 https://doi.org/10.1061/j.lwt. 2015.03.089

Elia, A., Santamaria, P. and F. Serio (1998): Nitrogen nutrition, yield and quality of spinach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(3), 341–346. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199803)76:33.0.CO;2-4

Elwan, M. W. M. and R. S A. El-Shatoury (2012): Salicylic acid positively affected plant growth, photosynthetic leaf pigments and fruit yield of summer squash (Cucurbita pepo L.) grown under different N-levels. *Journal of Plant Production*, 3(7), 2123–2138.

Fageria N. K. (2009): The use of nutrients in crop plants. Taylor &Francis Group, Boca Raton, Florida, USA. 430p

FMARD -Federal Ministry of Agriculture and Rural Development (2012): Fertilizer use and Management Practices for crops in Nigeria. Produced by the Federal Fertilizer Department, Chude, V. O., Olayiwola, S. O., Daodu, C. and Ekeoma, A. Eds, Abuja. Chapter 1: 40-41.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Standard operating procedure for soil nitrogen: Kjeldahl method. Global Soil Laboratory Network (GLOSOLAN)

Food and Agriculture Organization of United Nations (2020): Fruits and vegetables – your dietary essential: The international Year of Fruit and vegetables, 2021, background paper, FAO

Ghimirey, V., Chaurasia, J., Dhungana, R and B. Poudel (2025): Organic fertilizers and their efficacy on soil characteristics, growth and yield of cauliflower (*Brassica oleraceae* var. botrytis) in sandy loam soil of Nepal. *Frontiers in Soil Science*, 5, Article 1556283. https://doi.org/10.3389/fsoil.2025.1556283

Global Soil Laboratory Network. (2019). Standard operating procedure for soil organic carbon: Walkley–Black method—Titration and colorimetric method (GLOSOLAN-SOP-02). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Global Soil Laboratory Network. (2021). Standard operating procedure for soil nitrogen—Kjeldahl method. Food and Agriculture Organization of the United Nations

Global Soil Laboratory Network. (2023). Standard operating procedure for cation exchange capacity and exchangeable bases by 1N ammonium acetate, pH 7.0 method. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Access the GLOSOLAN procedure.

Hasan, Y., Briggs, W., Matschegewski, C., Ordon, F., Stützel, H., Zetzsche, H., Groen, S. and R. Uptmoor (2016): Quantitative trait loci controlling leaf appearance and curd initiation of cauliflower in relation to temperature. *Theoretical and Applied Genetics*, 129, 1273–1288. https://doi.org/10.1007/s00122-016-2702-6

International Organization for Standardization. (2020). Soil quality—Determination of particle size distribution in mineral soil material—Method by sieving and sedimentation (ISO Standard No. 11277:2020).

International Organization for Standardization. (2021). Soil, treated biowaste and sludge—Determination of pH (ISO Standard No. 10390:2021). https://www.iso.org/standard/75243.html

Jeffery, E. H. and A.S. Keck (2016): Translating evidence into the clinical use of cruciferous vegetables. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2016, 1-9.

Kaur, A. and H. Kaur (2022): Effect of different levels of NPK and manures on growth, yield and quality of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) under open field conditions. *The Pharma Innovation Journal,* 11(9): 634-637.

Keck, A.S. (2004). Cruciferous vegetables: cancer protective mechanisms of glucosinolate hydrolysis products and selenium. *Integrative Cancer Therapies*, 3: 5-12.

Konstantopoulou, E., Kapotis, G., Salachas, G., Petropoulos, S. A., Karapanos, I. C. and H. C. Passam (2010): Nutritional quality of greenhouse lettuce at harvest and after storage in relation to Nitrogen application and cultivation season. *Scientia Horticulturae,* 125(2), 93.e1–93.e5. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.003

Kumar, G. V. P. and H. Raheman (2012): Identification of optimum combination of proportion of vermicompost in the soil-based potting mix and pot volume for the production of paper pot seedlings of vegetables. *Journal of Plant Nutrition,* 35(9), 1277–1289. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.684121

Kumar, P. and S. K. Sharma. (2004): Integrated nutrient management for sustainable cabbage-tomato cropping sequence under mid hill conditions of Himachal Pradesh. *Indian Journal of Horticulture,* 61(4): 331-334.

Kumar, S., Rawat, C.R., Dhar, S. and S. Rai (2005): Dry matter accumulation, nutrient uptake and changes in soil fertility status as influenced by different sources of nutrients to forage sorghum (Sorghum bicolor). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 75 (6): 340–342.

Lisiewska, Z. and W. Kmiecik (1996): Effects of level of nitrogen fertilizer, processing conditions and period of storage of frozen broccoli and cauliflower on vitamin C retention. *Food Chemistry*, 57(2), 267–270. https://doi.org/10.1016/0308-8146 (95)00218-9

Mashabela, M. N., Maboko, M. M., Soundy, P. and D. Sivakumar (2018): Variety specific responses of cauliflower varieties (Brassica oleracea var. botrytis) to different N application rates on yield, colour and ascorbic acid content at harvest. *Acta Agriculturae Scandinavica, S*ection B—Soil & Plant Science, 68, 541–545. https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1440002

Mathers, H. M., Lowe, S. B., Scagel, C., Struve, D. K., and L. T. Case (2007): Abiotic factors influencing root growth of woody nursery plants in containers. *HortTechnology*, 17(2), 151–162.

Mulodia, V. Singh, S. K. Harith, R. C. Kumar, Y. and S. N. Kumar (2022): Impact of high temperature stress on growth and yield of cauliflower. *Journal of Agrometeorology* Vol. No. 24 (3): 290 -294. ISSN: 0972-1665 (print), 2583-2980 (online)

Mulodia, V., Singh, S. K., Harith, R. C., Kumar, Y. and S. Kumar (2022): Impact of high temperature stress on growth and yield of cauliflower. *Journal of Agrometeorology,* 24(3), 290–294. https://doi.org/10.54386/jam.v24i3.1728

Natsheh, B., Abu-Khalaf, N. and S. Abubaker (2021): Evaluating cauliflower (Brassica oleracea) production under different fertilizer systems. *Research on Crops*, 22(3), 556–563. https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.103

Nel, T., Bruneel, Y., Smolders, E. and Colleagues (2023): Comparison of five methods to determine the cation exchange capacity of soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science,* 186, 311–320. https://doi.org/10.1002/jpln.202200378

Nelson, D. W. and L. E. Sommers (1982): Total carbon, organic carbon, and organic matter. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), Methods of soil analysis: Part 2—Chemical and microbiological properties (2nd ed., pp. 539–579). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

Oyun, M. B., Adeyemo, A. J., Fasinmirin, J. T., Jayeoba, O. J., Ayeni, M. J. and S. O. Lawal, (2025): Evaluation of selected soil physicochemical properties for integrated soil fertility management in agricultural communities in Southern and Northern Nigeria. *Discover Applied Sciences,* 7, Article 1094. https://doi.org/10.1007/s42452-025-07389-0

Palaniappan, S. P. and K. Annadurai (2007): Organic farming: Theory and practice. Scientific Publishers.

Poorter, H., Bühler, J., van Dusschoten, D., Climent, J and J. A. Postma (2012): Pot size matters: A meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology*, 39(11), 839–850. https://doi.org/10.1071/FP12049

Rani, S. N. and K. Mallareddy (2007).:Effect of different organic manures and inorganic fertilizers on growth, yield and quality of carrot (Daucus carota L.). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences,* 20(3), 686–688.

Schafer, G. and B. L. Lerner (2022): Physical and chemical characteristics and analysis of plant substrate. *Ornamental Horticulture,* 28(2), 181–196. https://doi.org/10.1590/2447-536X.v28i2.2496

Setyowati, N., Sudjatmiko, S., Muktamar, Z., Fahrurrozi, F., Chozin, M and P. Simatupang, (2018): Growth and yield responses of cauliflower on Tithonia (*Tithonia diversifolia*) compost under organic farming practices. *International Journal of Agricultural Technology,* 14(7), 1905–1914. https://li04.tci-thaijo.org/index.php/IJAT/article/view/10259

Sharma, A., Sharma, R. P., Sharma, G. D., Sankhyan, N. K. and M. Sharma (2014): Integrated nutrient supply system for cauliflower–French bean–okra cropping sequence in humid temperate zone of north-western Himalayas. *Indian Journal of Horticulture*, 71(2), 211–216.

Shehu, B. M., Garba, I. I., Jibrin, J. M., Kamara, A. Y., Adam, A. M., Craufurd, P., Aliyu, K. T., Rurinda, J., & Merckx, R. (2023). Compositional nutrient diagnosis and associated yield predictions in maize: A case study in the northern Guinea savanna of Nigeria. Soil Science Society of America Journal, 87(1), 63–81. https://doi.org/10.1002/saj2.20472

Singh, V. P., Surabhi S. K., Singh, Y., Shubham G., and G. Munendra (2022): "Factors Affecting Production of Cauliflower: A Review". *International Journal of Environment and Climate Change* 12 (11): 2425 - 31. https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i1131235.

Tallarita, A. V., Cozzolino, E., Salluzzo, A., Šeķara, A., Pokluda, R., Murariu, O. C., Vecchietti, L., del Piano, L., Lombardi, P., Cuciniello, A. and G. Caruso (2024): Effect of transplanting time and nitrogen–potassium ratio on yield, growth, and quality of cauliflower landrace Gigante di Napoli in Southern Italy. *Horticulturae,* 10(5), 518. https://doi.org/10.3390/horticulturae10050518

Umeobi, E. C., Azuka, C. V., Ofem, K. I., John, K., Němeček, K., Jidere, C. M. and P. I. Ezeaku, (2024): Evaluation of potentially toxic elements in soils developed on limestone and lead-zinc mine sites in parts of southeastern Nigeria. *Heliyon*, 10(7), Article e27503. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27503

United States Department of Agriculture (USDA) Service. (1996). Soil survey laboratory methods manual (Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0). United States Department of Agriculture.

Yokamo, S., Irfan, M., Huan, W., Wang, B., Wang, Y., Ishfaq, M., Lu, D., Chen, X., Cai, Q. and H. Wang (2023): Global evaluation of key factors influencing nitrogen fertilization efficiency in wheat: A recent meta-analysis (2000–2022). *Frontiers in Plant Science*, 14, 1272098. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1272098

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EFFECT OF ADOPTION OF IMPROVED PIG PRODUCTION TECHNOLOGIES ON HOUSEHOLDS' FOOD SECURITY OF FARMERS IN ABIA STATE NIGERIA

Njoku Joachim IkpeohaKakie
Department of Agricultural Extension and Rural Development, Michael Okpara University of Agriculture
ORCID: 0009-0005-1351-8535

ABSTRACT
This study assessed the effect of adoption of improved pig production technologies on households' food security of farmers in Abia State Nigeria. It specifically, described the socio-economic characteristics, identified the pig production systems practiced , identified the types of pig breeds reared, ascertained their levels of adoption of pig production technologies, estimated the income realized from pig farming, determined their food security status and examined constraints to adoption of pig production technologies among farmers in the study area. Multi-stage sampling procedure was used to select one hundred and twenty (120) pig farmers. Data were collected using a structured questionnaire and analyzed with descriptive statistics and inferential statistics (multiple regression and simple regression analysis. Farmers had high adoption ($\bar{x}$=3.6) of pig production technologies, having a mean annual income of ₦1,04,3000.00, while majority (70.8%) were food secure while 29.2% were food insecure. Farmers were constrained by high cost of improved pigs (x̄=2.65), poor access to credit ($\bar{x}$ =2.6), high cost of feed ($\bar{x}$=2.4), and poor veterinary services ($\bar{x}$=2.33), as they had serious ($\bar{x}$=2.1) constraints in adoption of improved pig production technologies. Multiple regression result showed that coefficients for education (0.411**), marital status (0.503**), stock size (0.001**), extension contact (0.880**) which influenced farmers adoption of improved pig production technologies in the study area. Multiple regression result also revealed that coefficients of age (0.011***), household size (0.167***), stock size (0.003***) and credit access influenced food security status of pig farmers in the study area. Simple regression showed that adoption of improved pig production technologies had effect on the household food security of farmers at 1.0% while income of farmers had a positive effect on the household food security of farmers at 5.0% in the study area.The study concluded that pig farmers had high adoption of pig production technologies as the adoption and income had effect on farmers' household food security. The study therefore recommended that extension agencies should provide regular training programmes on improved pig production technologies, pig farmers should be encouraged to form cooperative to enable them access farm inputs and credit in order to increase farm income attain food security in the study area.

INTRODUCTION
Pig production is an important agricultural activity globally. The global trend in world meat production from 2016 - 2023 has shown that pig meat is an important source of animal protein in human diets. Estimates from Food and Agriculture Organization (FAO) data show pork as the world's most widely eaten meat, accounting for 36% of the world's total meat consumption, surpassing poultry (33%), beef (24%), and goats and sheep (5%).According to Ritchie,H., Rosado,P., and Roser,M., (2023),Pork is the most consumed type of red meat in the world andits consumption has steadily increased over the years.In Africa, pig production is one of the avenues through which people are gainfully employed, earn income, meet their animal protein needs, and contribute to global needs through export. Africa contributes 1.67% of global pig meat production (Adesehinwa, Boladuro, Dunmade, Idowu, Moreki and Wachira, 2024)).

Pigs are widely distributed all over Africa, with more than 70% of its population found in rural communities, where in most cases, the pigs are allowed to scavenge for food. It is a means of livelihood in many parts of Africa, especially for women and youths who are involved in small-scale farming. West Africa has the highest pork production, with Nigeria contributing 65%.According to (Chenais, Depner, Guberti and Stahi, 2019).Pig production provides an important source of livelihood for Smallscale farmers. Thus, increasing pig production capacity through technology adoption is crucial in enhancing the food security and income of rural pig farmers in Nigeria.

Technology could be described as the application of scientific knowledge to solve problems, enhance efficiency, and improve outcomes (Madonna and Steven, 2019). Pig production technologies refer to the set of modern practices, tools, and innovations applied in the breeding, feeding, housing, health management, and marketing of pigs to increase productivity, efficiency, and profitability in pig farming (Maduka, Kalu and Odoemelam,. 2020). These technologies are used to improve growth rates, reproduction, disease resistance, and overall sustainability of pig production. Among these technologies are: improved pig breeds for better growth and reproduction, modern housing systems (e.g., concrete-floored pens with proper ventilation and drainage), balanced feeding regimes and formulated rations, routine vaccination schedules to prevent major pig diseases, deworming and ectoparasite control, biosecurity measures such as controlled access and disinfection, waste management systems for proper disposal and reuse of pig manure, record keeping and use of mobile apps or farm software for management and artificial insemination and reproductive technologies (Njoku, Nzeakor, Ukohaand Echewodo,2024).

Pig production technologies not only enhance growth rates but also increase feed conversion, reduce disease outbreaks, and enable farmers to carry out their pig farming business efficiently. In Abia State, most pig farmers manage their pig farms using technologies like vaccination, deworming, ectoparasite control, and the use of improved housing systems. The use of pig production technologies has led to significant improvement in the output of rural pig farmers in Nigeria. It has supported early disease detection, reduced mortality, and ensured food security and a more stable income for the farmers (Enimu, Okuma, George-Edet and Agbachom, 2024).

Food security refers to the availability, accessibility, and utilization of food that meets dietary needs for an active and healthy life (Oluwafemi, Ndukwe-Okereke and Mbanasor, 2024)..Small-scale pig farming contributes to food security by providing households with a reliable source of animal protein, income for purchasing food, and manure for crop production. The relatively short gestation period and high prolificacy of pigs enable farmers to achieve quick turnovers, ensuring a steady food supply and financial stability. In addition, their highly prolific nature and fast feed conversion make them highly efficient livestock for boosting meat production and household nutrition within a short time. With the increasing demand for pork and its by-products, pig farmers benefit from a ready market, which in turn improves their household food security and income (Ogbe, Asanya and John, 2023).

Nevertheless, socio-cultural beliefs and other factors significantly influence pig production in Nigeria (Eze, Okoro and Nwosu, 2024). In many communities, pigs are culturally valued as a source of traditional ceremonies and social status, which encourages their rearing but sometimes limits commercialization due to cultural restrictions on pig consumption among certain groups (Awosanya, Olugasa, Gimba, Sabri, and Ogundipe, 2021). On the health front, pig farmers face challenges such as the prevalence of zoonotic diseases like African pig fever and pig flu, which threaten herd health and productivity, necessitating improved veterinary services and biosecurity measures (Moses, Okoli, Achonwa, Ohanaka and Omede, 2024).

Furthermore, climate change impacts pig production through increased heat stress, reduced water availability, and changes in feed crop yields, which affect pig growth and reproduction. Adaptation strategies such as improved housing, better feed management, and disease control are essential for sustaining pig farming under changing environmental conditions (Eze, Okoro and Nwosu, 2024)..

The income from pig production in Abia State is further driven by the increasing demand for pork and its by-products. With a growing population and a rising preference for animal protein, pig farmers benefit from a ready market for their products. Pork consumption is popular across various communities, and many farmers sell their pigs directly to consumers, restaurants, and meat processors, ensuring a stable cash flow. Additionally, the sale of piglets to other farmers for breeding and expansion further boosts income levels, enabling pig producers to reinvest in their businesses and improve their production capacity (Kalu, Odoemelam and Maduka, 2021). Beyond the direct sale of pigs and pork, pig farming also provides additional revenue streams for farmers. The manure from pig farms serves as an organic fertilizer, which is highly valuable for crop production, reducing the cost of chemical fertilizers. Some farmers sell pig manure to crop producers, creating an additional source of income. Moreover, by-products such as pig fat and bones are used in industries for the production of animal feed, soap, and other valuable commodities, further increasing the financial benefits of pig farming.

Abia state has a significant population of small holder farmers who depend on livestock production as part of their livelihood. Food security exists when individuals and households have regular physical and economic access to sufficient,safe and nutritious food to meet their dietary needs and preferences for an active healthy life.Kalu, Odoemelam, & Maduka (2021), they researchers' found out that level of use of technical information among pig farmers was low.

The problem, therefore, is that despite the potential of improved pig production technologies to increase productivity, income and access to animal source food, it remains unclear whether and to what extent their adoption has improved the household food security of pig farmers in Abia State. Without empirical evidence on this relationship, policymakers, agricultural extension personnel and development agencies may find it difficult to design appropriate interventions aimed at improving pig production and reducing household food insecurity.

This study therefore seeks to examine the effect of adoption of improved pig production technologies on the household food security of farmers in Abia State.

The broad objective of the study is to assess the effect of adoption of improved pig production technologies on households' food security of farmers in Abia State Nigeria.

The specific objectives were to:

i. describe the socio-economic characteristics of pig farmers;
ii. identify the pig production systems practiced by farmers;
iii. identify the types of pig breeds reared by farmers;
iv ascertain the levels of adoption of pig production technologies by the farmers.

The following hypotheses were tested

$H0_I$: There is no significant relationship between socio-economic characteristics of farmers and adoption of pig production technologies among farmers in the study area.

$H0_2$: There is no significant relationship between the socio-economic characteristics of pig farmers and their households' food security in the study area

METHODOLOGY

The study was carried out in Abia State. The State is located in the south eastern part of Nigeria. It lies on the Longitude 7^0 23' and 8^0 02' East of the equator and Latitudes 5^0 47' and 6^0 12' North of the Greenwich Meridian.

Primary data and secondary sources were used for this study. Data collection involved the use of a structured questionnaire, which were administered to pig farmers in the selected locations in the study area.

To ensure effective and accurate data collection, three enumerators, one for each agricultural zone were recruited. These enumerators had a one-day intensive training workshop on questionnaire administration, ethical considerations and field protocols.

Secondary information was sourced from unpublished reports such as conference proceedings, seminars, annual reports, conference proceedings, journals, internet, newsletters and among others.

Data from the study were analysed with descriptive statistics, such as frequency counts, percentages and mean scores. Multiple regression analysis, and Simple linear regression analyses were adopted to test the hypotheses. Specifically, all the objectives were realized using descriptive statistics such as percentages, frequency counts and mean scores, while hypothesis 1 and 2, were tested using multiple regression analysis

Objective i: Socio-economic characteristics of pig farmers.

The variables were measured as follows:

a. Age (in years)
b. Sex: (Male=1, Female = 0)
c. Marital status: (a) Married =1, Otherwise = 0
d. Household size (number of persons feeding from the same pot)
e. Stock size (number of pigs)
f. Highest educational qualification (No of years spent in school).
g. Years of production experience (number of years spent on farming (years)
h. Access to credit (accessing credit measured in Naira)
i. Extension Contacts: (number of extensions visits to the farmer in the last one year).
j. Cooperative membership = (number of years spent as a member)

Objective ii: identifying the pig production systems practiced by farmers.

This objective was operationalized by asking the farmers to indicate among the eleven (11) listed pig production systems they practice with response options of "Yes" and otherwise "No".

Objective iii: identifying the types of pig breeds reared by farmers.

This objective was operationalized by asking the farmers to indicate among the eleven (11) listed types of pig breeds they rear with response options of "Yes" and otherwise "No".

Objective iv: Ascertain the levels of adoption of pig production technologies by the farmers

This objective was realized by listing out eleven (11) pig production technologies and each respondent were asked to indicate the stage he/she was in the adoption scale. The 5–steps were; aware =1, interest =2, evaluation =3, trial =4 and adoption =5. This followed the works of; Nwaobiala, Onu and Igwe, (2022); Nwaobiala, Igwe, Kalu and Akwada, (2022).

The mean scores were computed for each adoption statement by adding the weights of 5+4+3+2+1 = 15/5=3.0

The following decision rule were used and categorized as follows;

1.0 – 1.49 = Awareness stage of the technology.
1.50 – 1.99 = Interest stage of the technology
2.0 – 2.49 = Evaluation stage of the technology
2.50 – 2.99 = Trial stage of the technology

3.0 and above = Adoption of the technology.

MODEL SPECIFICATIONS

HYPOTHESIS 1: There is no significant relationship between socio-economic characteristics of farmers and adoption of pig production technologies among farmers in the study area.
This hypothesis was tested using multiple regression analysis
The four functional forms of regression model viz: linear, semi-log, exponential and cobb-douglas were tried. The best fit was chosen as the lead equation based on its conformity with econometric and statistical criteria such as the magnitude of R^2, F-ratio and number of significant variables.
The four functional forms are expressed as follows;
i. Linear Function:

$$Y = \beta_o + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 + \beta_{10} X_{10} + ei \ldots \quad (3.3)$$

ii. Semi-log Function:

$$Y = L_n\beta_o + \beta_1 L_n X_1 + \beta_2 L_n X_2 + \beta_3 L_n X_3 + \beta_4 L_n X_4 + \beta_5 L_n X_5 + \beta_6 L_n X_6 + \beta_7 L_n X_7 + \beta_8 L_n X_8 + \beta_9 L_n X_9 + \beta_{10} L_n X_{10} + ei \ldots \quad (3.4)$$

iii. Exponential Function:

$$L_n Y = \beta_o + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 + \beta_{10} X_{10} + ei \ldots \quad (3.5)$$

iv. Cobb-Douglas Function:

$$L_n Y = L_n\beta_o + \beta_1 L_n X_1 + \beta_2 L_n X_2 + \beta_3 L_n X_3 + \beta_4 L_n X_4 + \beta_5 L_n X_5 + \beta_6 L_n X_6 + \beta_7 L_n X_7 + \beta_8 L_n X_8 + \beta_9 L_n X_9 + \beta_{10} L_n X_{10} + ei \ldots \quad (3.6)$$

Where,
Y = Levels of pig improved production technologies (mean scores)
X_1 = Sex (male= 1, female=0)
X_2 = Age (Number of years)
X_3= Household size (Number of household members)
X_4= Level of education (Number of years spent in school)
X_5= Marital status (Married=1, otherwise = 0)
X_6 = Farming experience (Number of years in pig production)
X_7 = Stock size (Number of pigs)
X_8 = Extension contact (number of visit)
X_9 = Credit access (access =1, non-access=0)
X_{10} = Cooperative membership (years)
ei= Error term

HYPOTHESIS 2: There is no significant relationship between the socio-economic characteristics of pig farmers and their households' food security in the study area.
This hypothesis was tested using multiple regression analysis
The four functional forms of regression model viz: linear, semi-log, exponential and cobb-Douglas were tried. The best fit was chosen as the lead equation based on its conformity with econometric and statistical criteria such as the magnitude of R^2, F-ratio and number of significant variables.

The four functional forms are expressed as follows;
i. Linear Function:
$Y = \beta_o + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 + \beta_{10} X_{10} + ei \ldots$

ii. Semi-log Function:
$Y = L_n\beta_o + \beta_1 L_n X_1 + \beta_2 L_n X_2 + \beta_3 L_n X_3 + \beta_4 L_n X_4 + \beta_5 L_n X_5 + \beta_6 L_n X_6 + \beta_7 L_n X_7 + \beta_8 L_n X_8 + \beta_9 L_n X_9 + \beta_{10} L_n X_{10} + ei \ldots$

ii. Exponential Function:
$L_n Y = \beta_o + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 + \beta_{10} X_{10} + ei \ldots$

iv. Cobb-Douglas Function:
$L_n Y = L_n\beta_o + \beta_1 L_n X_1 + \beta_2 L_n X_2 + \beta_3 L_n X_3 + \beta_4 L_n X_4 + \beta_5 L_n X_5 + \beta_6 L_n X_6 + \beta_7 L_n X_7 + \beta_8 L_n X_8 + \beta_9 L_n X_9 + \beta_{10} L_n X_{10} + ei \ldots$ (3.10)

Where,
Y = Households' food security(Food secured pig farmers = 1, non-food secured pig farmers=0)
X_1 = Sex (male= 1, female=0)
X_2 = Age (Number of years)
X_3= Household size (Number of household members)
X_4= Level of education (Number of years spent in school)
X_5= Marital status (Married=1, otherwise = 0)
X_6 = Farming experience (Number of years in pig production)
X_7 = Stock size (Number of pigs)
X_8 = Extension contact (number of visit)
X_9 = Credit access (access =1, non-access=0)
X_{10} = Cooperative membership (years)
ei= Error term

RESULTS AND DISCUSSION
The selected-socio-economic characteristics of the pig farmers considered in this study were age, sex, marital status, household size, educational status, occupational status, membership of social organization, access to credit and extension contact.

Table 1a: Distribution of respondents according to their selected socio-economic characteristics in the study area

Variables	Frequency (n = 120)	Percentage	Mean ($\bar{x}$)
Sex			
Female	20	16.7	
Male	100	83.3	
Age (years)			
21 – 30	17	14.2	47 years
31 – 40	24	20.0	
41 – 50	34	28.3	
51 – 60	31	25.8	
61 – 70	14	11.7	
Marital status			
Married	102	85.0	
Single	4	3.3	
Divorced/Separated	14	11.7	
Household size (numbers)			
1 – 3	10	8.3	6 persons
4 – 6	69	57.5	
7 – 9	32	26.7	
10 -12	9	7.5	
Level of education (years)			
No formal education	3	2.5	12 years
Primary education	32	26.7	
Secondary education	49	40.8	
Tertiary education	36	30.0	
Years of experience			
1 – 5	43	35.8	**10 years**
6 – 10	45	37.5	
11 – 15	14	11.7	
16 – 20	15	12.5	
21 – 25	3	2.5	
Major occupation			
Farming	63	52.5	
Trading	29	24.2	
Civil Service	10	8.3	
Artisanry	18	15.0	

Source: *Field Survey, 2025*

The Results in Table 1a showed that the majority of the pig farmers (83.3%) were Males, while only 16.3% were females. This indicates a clear dominance of males in pig farming in the study area. The dominance of males could notably be attributed to the strenuous, and energy-sapping nature of pig farming which most women may not be able to cope with, hence making it more suitable for males.This is in line with Nwobodo et al (2024), Pig participate substantially in various aspects of pig production and marketing. The dominance of males may be associated with their greater access to productive resources,capital,land and decision/making opportunities within the farming system. Production in Nigeria is predominantly undertaken by male farmers,although women also and Okezie*et al.* (2019) which also showed dominance of males in pig farming.

The involvement of some women in this enterprise is also an indication that women are now venturing into enterprises that are presumed to be meant for men.

The results in Table 1a showed that 28.3% of the pig farmers in the study area were between the ages of 41 – 50 years, 25.8% were between 51 – 60 years while 20.0% were between the ages of 31 – 40 years. A mean age of approximately 47 years was recorded among the pig small farmers in the study area. This shows that the pig farmers were relatively young, are in their very active and energetic age. Hence, will be able to undertake the strenuous and rigorous tasks involved in pig farming. In line with this finding, Ezeibe*et al.* (2020) showed a mean age of 48 years among pig producers, suggesting that pig farming is a viable livelihood for middle-aged individuals who can manage the physical demands and financial risks of the enterprise.

The results in Table 1 also showed that majority of the pig farmers (85.0%) were married. This has positive implication. The pig farmers have greater tendency of having more children and family members, which may provide the labour needed for the pig farm enterprise. This is in conformity with the findings of Nwobodo*et al.* (2024) and Ajala&Adesehinwa (2017), which also reported majority of pig farmers being married.

Household size is important because it determines the supply of family labour. The result in Table 4.1a showed that the larger proportion (57.7%) of the pig-farming households consist of 4–7 household members, 26.7% had 4 – 6 household members, while 8.3% had 1 – 3 household members. A mean household size of 6 persons was recorded in the study, implying a moderately large household size. This has both positive and negative implications. According to Ezeibe*et al.* (2020), a large household provides labour for tasks such as feeding, pen cleaning, and piglet care. However, large households might also exert pressure on household food needs, possibly affecting food security, asnoted by Okoli*et al.* (2024).

The distribution of the respondents based on their education qualification as presented on Table 1a, showed that about 40.8% of the pig farmers had secondary education as their highest educational qualification, while 30.0%of them had tertiary education as their highest educational qualification. While only 2.5% had no formal education. This connotes high literacy of the pig farmers in the study area. According to Nwachukwu and Udegbunam, (2020), the more educated the rural households are, the more readily they can adopt innovations that will lead to increased output.

The result of the distribution of the pig farmers based on their years of experience in pig farming as presented on Table 1a, showed that majority of the pig farmers (73.3%) had years of experience between 1 – 10,years, while about 26.7% of the pig farmers had years of experiencing pig farming above 10 years. The mean years of experience of approximately 10 years further buttress this findings. According to Kalu, Nwachukwu and Apu, (2021), farmers with many years of experience would have acquired better understanding on both technical and economic issues associated with any productive enterprise they are involved in.

The distribution of the pig farmers according to their major occupation as shown in Table 1a, showed that more than proportion of the pig farmers (52.5%) had farming as their major occupation, 24.2% were majorly into trading, while 15.0% were artisans. The findings supports the age long notion that farming is the major occupation of most rural dwellers. This is in line with Onu and Maduka (2016), who posited farming is the major occupation and source of income for rural dwellers in developing countries of the world.

Table 1b: Distribution of respondents according to their selected socioeconomic characteristics in the study area

Variables	Frequency (n = 120)	Percentage
Extension contact (numbers)		
No Contact	59	49.2
Monthly	6	5.0
Fortnightly	54	45.0
Weekly	1	.8
Access to credit		
Yes	8	6.7
No	112	93.3
Cooperative membership		
Yes	104	86.7
No	16	13.3

Source:*Field Survey, 2025*

The results in Table 1b revealed that 49.2% of the pig farmers had no extension contact, 45.0% had extension contact fortnightly, while 5.0% had extension contact monthly. This shows that about half proportion of the pig farmers had extension contact. Access to extension services increases awareness of improved pig production technologies. According to Okezie*et al.* (2019), frequent contact with extension agents enhances knowledge of better feeding, breeding, and housing practices. Ezeibe*et al.* (2020) also found that extension contact significantly improved productivity and income among pig farmers.

The results in Table 1b showed that majority of the pig farmers (93.3%) had no access to credit, while only 6.7% had received credit. According to Oladoyin,O.P.(2023), lack of access to credit facilities constitutes aconstraint in purchasing raw materials and otherenterprise inputs. Access to credit isregarded as one of the key elements in raisingproductivity.

From the results in Table 1b, majority (86.7%) of the pig farmers were members of cooperative society, while 13.3% do not belong to corporative society or any formal organization. Okoli*et al*. (2024) found that group participation enhanced the farmers' bargaining power and technical knowledge, which in turn improved production outcomes.

Result in Table 2 shows the results of the production systems used by the pig farmers in the study area.

Table 2: Distribution according to the production systems used by the pig farmers in the study area

Pig Production systems	Frequency	Percentage
Intensive	115	95.8
Extensive	0	0
Semi-intensive	5	4.2
Total	120	100

Source:*Field Survey, 2025*

The results showed that the majority (95.8%) of the pig farmers employ intensive production systems, while 4.2% use semi-intensive systems. The utilization of intensive management systems in the study area ensures that pigs are confined in well-ventilated buildings where they are well-fed and cared for, which reduces disease infestation and ensures high productivity. This finding aligns with Adebiyi and Oluwatosin (2024), who reported that intensive pig farming is increasingly dominant in peri-urban and rural areas of Nigeria due to land constraints, biosecurity concerns, and the need for higher productivity per unit area. The use of good pig production systems will ensure greater productivity, which translates to higher income and improved household food security among pig farming households (Eze et al., 2023).

The result in Table 3 shows the results of the pig breeds reared by pig farmers in the study area

Table 3: Distribution according to the production systems used and pig breeds reared by the pig farmers in the study area

Breed of Pigs reared	Frequency	Percentage
Local breeds	24	20.0
Exotic breeds	9	7.5
Cross breeds	87	72.5
Total	120	100

Source:*Field survey, 2025*

The results showed that the majority (72.5%) of pig farmers reared crossbreeds, 20.0% reared local breeds, while 7.5% reared exotic breeds. This indicates minimal use of primitive or local pig production systems in the study area. The preference for crossbreeds suggests an intentional strategy to combine the hardiness of local breeds with the superior growth rates of exotic breeds. According to Fasanya et al. (2022), crossbred pigs exhibit better feed conversion ratios and disease resistance compared to pure local breeds, making them more suitable for smallholder intensive systems. The use of improved breeds will ensure greater productivity, which translates to greater income and improved household food security (Ogunwolu et al., 2023).

Table 4 shows the distribution of the pig farmers according to their level of adoption of improved pig production technologies in the study area.

Table 4.4: Level of adoption improved pig production technologies among pig farmers in the study area

S/N	Pig production technologies	Awareness	Interest	Evaluation	Trial	Adoption	Mean ($\bar{x}$)	Decision
1	Housing and pen improvement	4(4)	4(8)	0(0)	1(4)	111(555)	4.76	Adoption
2	Waste management and sanitation practices	22(22)	5(10)	1 (3)	12(48)	80(400)	4.03	**Adoption**
3	Feeding practices (balanced diet)	3(3)	29(58)	0(0)	29(116)	59(295)	3.93	**Adoption**
4	Breeding management practices	27 (27)	3(6)	1 (3)	9(36)	80 (400)	3.93	**Adoption**
5	Vaccination and routine veterinary care	22 (22)	5 (10)	0(0)	28(112)	65(325)	3.91	**Adoption**
6	Use of improved boars	7 (7)	35 (70)	2 (6)	6(24)	70(350)	3.81	**Adoption**
7	Disease monitoring and biosecurity measures	32 (32)	12 (24)	1 (3)	19 (76)	56 (280)	3.46	**Adoption**
8	Water supply management	24 (24)	28(56)	2 (6)	8(32)	58(290)	3.40	**Adoption**
9	Record-keeping of production data	43 (43)	6 (12)	0(0)	12 (48)	59(295)	3.32	**Adoption**
10	Use of medication and growth promoters	41 (41)	17 (34)	0(0)	6 (24)	56 (280)	3.16	**Adoption**
11	Artificial insemination	61 (61)	42 (84)	3 (15)	3 (12)	9 (45)	1.81	**Adoption**
	Grand mean						**3.59**	**Adoption**

Source:*Field Survey, 2025*

The figures in parenthesis are the percentages are frequencies multiplied by Likert nominal values

The results in Table 4 showed that pig farmers adopted improved pig production technologies ($\bar{x}$ = 3.59) in the study area. Among the technologies, housing and pen improvement ($\bar{x}$ = 4.76), waste management and sanitation practices ($\bar{x}$ = 4.03), feeding practices ($\bar{x}$ = 3.93), and breeding management practices ($\bar{x}$ = 3.93) were the most adopted. Artificial insemination ($\bar{x}$ = 1.81) was the least adopted, with its mean below the benchmark of 3.0, indicating very low adoption. The low adoption of artificial insemination could be due to its technical complexity, lack of farmers' familiarity, lack of skilled personnel, poor awareness, and the high cost associated with the technology. Artificial insemination requires specialized skills and proper handling procedures, which many rural pig farmers may not possess.This conforms with the findings of Adebayo et al. (2024), who posited that despite the advantages of artificial insemination, adoption remains low in rural Nigerian pig production systems due to limited awareness, high costs, inadequate extension services, and a shortage of trained AI technicians. Similarly, Ogunsola and Famakinwa (2024) noted that AI adoption in sub-Saharan African pig systems is further constrained by unreliable access to quality semen and poor record-keeping infrastructure.

HYPOTHESES 1: There Is No Significant Relationship between Socio-Economic Characteristics of Pig Farmers and Adoption of Improved Pig Production Technologies

The result in Table 8 shows the multiple regression analysis result of the relationship between selected socio-economic characteristics of the pig farmers and adoption of improved pig production technologies in the study area.

The Semi-log function was chosen as the lead based on the econometric parameters such as high magnitude of co-efficient of determination and F-ratio as well as the number of significant variables. The coefficient of determination value of 0.711 implies that 71.1% of the variations in adoption were explained by the socioeconomic characteristics included in the model. The significant F-ratio at 1% probability level indicates that the model provided a good fit to the data and that the explanatory variables jointly influenced technology adoption among the pig farmers.The regression result revealed that education, marital status, stock size, and extension contact significantly influenced the adoption of improved pig production technologies in the study area.

Table 8: OLS Regression estimates of the relationship between socio-economic characteristics of the pig farmers and adoption of improved pig production technologies

Variables	Linear	Exponential	Semi-log+	Cob Douglas
Constant (X_0)	2.167	0.8547	2.607	0.938
	(4.097)***	(5.233)***	(2.347)**	(2.388)**
Sex (X_1)	0.239	0.054	0.137	0.027
	(1.105)	(0.816)	(0.617)	(0.397)
Age (X_2)	0.002	0.001	0.164	0.060
	(0.344)	(0.424)	(0.526)	(0.622)
Household size (X_3)	0.024	0.007	0.072	0.021
	(0.587)	(0.556)	(0.283)	(0.267)
Education (X_4)	0.031	0.009	0.411	0.120
	(1.545)	(1.530)	(2.043)**	(1.829)*
Marital status (X_5)	0.503	0.162	0.503	0.158
	(2.062)**	(2.171)**	(2.019)**	(2.057)**
Years of experience(X_6)	-0.003	-0.003	0.004	0.013
	(-0.155)	(-0.529)	(0.023)	(-0.255)
Stock size (X_7)	0.003	0.125	0.001	0.039
	(1.859)*	(1.715)*	(2.075)**	(1.729)*
Extension contact (X_8)	0.492	0.134	0.880	0.240
	(5.768)***	(5.134)***	(5.439)***	(4.801)***
Credit access (X_9)	-9.995E008	-7.381E-009	0.000	0.001
	(-0.181)	(-0.044)	(-0.019)	(0.084)
Cooperative membership ($X1_0$)	-0.210	-0.063	-0.198	-0.061
	(-0.866)	(-0.847)	(-0.809)	(-0.813)
R-Square	0.695	0.648	0.711	0.658
Adjusted R-Square	0.640	0.588	0.656	0.597
F-ratio	10.119***	8.813***	10.409***	8.903***

Source:*Computed fromField Survey, 2025*
*, ** and *** are significant at 10.0%, 5.0% and 1.0% levels of probability respectively.
+ = lead equation
Figures in parentheses are t- values

Decision: H0 rejected.
The coefficients of education (0.411**) was positive and significant at 5% probability level, indicating that adoption of improved pig production technologies increased with higher levels of education among the pig farmers. Education enhances farmers' ability to access, process, and utilize information relating to improved technologies and management practices.

Educated farmers are generally more innovative, better informed, and more willing to adopt modern agricultural technologies because they can better evaluate the associated benefits and risks. This finding agrees with the study of Adeola et al. (2023), who reported that educational attainment significantly improves livestock farmers' adoption of improved production technologies due to enhanced decision-making ability and access to agricultural information. Similarly, Obinna and Onu (2021) reported that education enhance farmers' awareness, accessto market as well as enhances extent of use of improved goat productiontechnologies.

The coefficients of marital status (0.503**) was also positive at 5% probability level, implying that married farmers were more likely to adopt improved pig production technologies than unmarried farmers. Married individuals often have larger household responsibilities and greater economic commitments, which may encourage them to adopt productivity-enhancing innovations to improve household welfare and income. This finding is consistent with the report of Ezeh et al. (2022), who observed that married farmers tend to adopt improved agricultural technologies more readily because of their increased household obligations and desire for economic stability.

The coefficients of stock size (0.001**) was positive and significant at 5% probability level. This suggests that farmers with larger herd sizes were more likely to adopt improved pig production technologies. Farmers operating on a larger scale are usually more commercially oriented and financially capable of investing in innovations such as improved housing, feeding systems, and veterinary services. According to Ibrahim et al. (2023), livestock farmers with larger herd sizes are more likely to adopt modern production technologies because they possess greater financial resources and stand to gain more from productivity improvements.

Extension contact (0.880**) was positive and highly significant at 1% probability level, indicating that increased interaction with extension agents significantly enhanced farmers' adoption of improved pig production technologies. Extension services play a critical role in disseminating information, providing technical guidance, and creating awareness about improved farming practices. Farmers who maintain regular contact with extension agents are more exposed to innovations and are therefore more willing to adopt improved technologies. This finding corroborates the report of Adebayo et al. (2024b), who noted that extension contact significantly influences technology adoption among livestock farmers through improved access to information, training, and advisory services.

Based on these findings, the null hypothesis which states that there is no significant relationship between selected socio-economic characteristics of pig farmers and their adoption of improved pig production technologiesin the study area was rejected at 5% level of significance.

HYPOTHESIS 2: There Is no Significant Relationship between Socio-Economic Characteristics of Pig Farmers and their Households' Food Security

Result in Table 9 shows the multiple regression analysis result of the relationship between socio-economic characteristics of the pig farmers in the study area and households' food security in the study area. Among the functional forms estimated, the exponential function was selected as the lead equation because it recorded the highest coefficient of determination (R^2 = 0.657), significant F-ratio (12.278), and more statistically significant variables. The coefficient of determination (R^2 = 0.657), implies that 65.7% of the variations in household food security was explained by the socioeconomic characteristics included in the model. The significant F-ratio at 1% probability level further confirms the overall fitness and reliability of the regression model.The result showed that age, household size, stock size, and credit access significantly influenced household food security among pig farmers in the study area.

Table 9: OLS Regression estimates of the relationship between selected socio-economic characteristics of the pig farmers and their households' food security

Variables	Linear	Exponential+	Semi-log	Cob Douglas
Constant (X_0)	1.816	0.597	0.621	0.026
	(4.146)***	(2.418)**	(2.546)**	(2.040)**
Sex (X_1)	0.287	0.112	0.277	0.095
	(1.527)	(1.053)	(1.366)	(0.829)
Age (X_2)	0.016	0.011	0.738	0.465
	(2.810)**	(3.182)***	(2.624)**	(2.931)***
Household size (X_3)	-0.224	-0.167	-1.386	-1.015
	(6.332)***	(-8.367)***	(-6.073)***	(-7.878)***
Education (X_4)	0.017	0.015	0.048	0.077
	(0.990)	(1.538)	(0.241)	(0.685)
Marital status (X_5)	0.4332	0.0111	0.0150	0.5321
	(0.21)	(0.41)	(0.19)	(0.26)
Years of experience(X_6)	-0.008	-0.001	0.007	0.006
	(-0.531)	(-0.176)	(0.046)	(0.073)
Stock size (X_7)	0.005	0.003	0.135	0.102
	(3.197)***	(3.416)***	(2.084)**	(2.781)**
Extension contact (X_8)	0.065	0.003	0.162	0.034
	((0.888)	(0.078)	(1.109)	(0.407)
Credit access (X_9)	1.576E006	1.169E-006	0.054	0.044
	(3.370)***	(4.427)***	(2.260)**	(3.314)***
Cooperative membership (X_{10})	0.236	0.162	0.024	0.026
	(1.125)	(1.371)	(0.107)	(0.211)
R-Square	0.545	0.657	0.503	0.616
Adjusted R-Square	0.492	0.612	0.444	0.567
F-ratio	8.443***	12.278***	7.170***	10.473***

Source:*Computed from Field Survey, 2025*
*, ** and *** are significant at 10.0%, 5.0% and 1.0% levels of probability respectively.
+ = lead equation
Figures in parentheses are t- values

Decision: H0 rejected.
The coefficients of age (0.011***) was positive and highly significant at 5% probability level, indicating that household food security increased with farmers' age. Older farmers are often assumed to possess more farming experience, better managerial ability, and stronger social networks, which may improve productivity and income generation. This finding agrees with Adesina et al. (2024), who found that farming experience and age positively influenced household food security among rural livestock farmers because older farmers tend to diversify income sources and possess better coping strategies.
The coefficient for household size (-0.167***) was negative and highly significant at 1% probability level. This implies that food security decreased as the household size increased. This is as expected as the consumption of foods tend be higher for those with large family than those with smaller ones. In line with this findings, Larger households tend to place greater pressure on available household resources, thereby increasing consumption expenditure and reducing per capita food availability. This finding is consistent with the report of Okeke etal,.(2022).who reported an inverse relationship between household size and food security status.

In otherwords,larger household size was associated with poorer food security outcomes. This is owing to the fact that larger households may not be able to meet up with the consumption need of each household member, and the available food income is rationed among the household members, thus leading to higher food insecurity.

The coefficients of stock size (0.003***) was positive and highly significant at 1% probability level,indicating that farmers with larger pig stock sizes were more food secure. Larger herd sizes generally translate into higher farm income, improved savings, and greater purchasing power, thereby enhancing households' ability to meet their food needs. This finding corroborates the study of Yusuf et al. (2023), who reported that livestock asset ownership positively influences household food security by improving income generation and resilience against economic shocks.

Credit access (1.169E-006***) was positive and highly significant at 1% probability level. This implies that access to credit improved household food security among the pig farmers. Access to credit enables farmers to procure production inputs, adopt improved technologies, expand production, and withstand financial constraints during difficult periods. Adequate credit also enhances farmers' investment capacity and productivity, ultimately improving household welfare and food security. This finding aligns with the report of Okeke et al. (2022), who observed that access to agricultural credit significantly improved food security among smallholder livestock farmers through increased investment in productive activities.

Consequently, the null hypothesis stating that there is no significant relationship between socio-economic characteristics of pig farmers and household food security was rejected at 5% significance level.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The study concluded that pig farmers mostly used intensive management system in their Pig production, and cross breeds were mostly reared by the farmers and had high adoption of pig production technologies. Education stock size and extension contact, influenced pig farmers' adoption of improved pig production technologiesin the study area. However age, household size, stock size and credit access influenced food security status of pig farmers in the study area. Adoption of improved pig production technologies had effecton the household food security of farmers while income had a positive effect on the household food security of farmers in the study area.

RECOMMENDATIONS

Based on the findings of the study, the following recommendations were made:

1. Giving the poor access to credit, there is need to provide mechanisms for accessing credits by rural pig farmers, through establishment of more micro credit /financial scheme within rural communities so as to ensure easy access to credit facilities, enlightening the farmers on credit facilities available to them, and linking the farmers to appropriate financial institutions to provide adequate capital for farm investment.
2. The government through the State extension agency should provide regular training programme for the pig farmers to create awareness and deepen the capacity of the farmers on the technology like artificial insemination, to increase its awareness and adoption among the farmers.
3. The smallholder pig farmers should be encouraged and supported to increase their scale of production so as to ensure increased income and greater influence of their production on their households' food security.

4. The government should provide subsidized inputs (Feeds and Medication) to pig farmers in the state in order to increase their dwindling stock and prevent farmers from quitting the enterprise as observed from the field.
5. The State Government Policies in livestock breeding should include management and improved sanitary conditions should be advocated for to eradicate disease outbreak in pig farms to reduce losses.

REFERENCES

Food and Agriculture Organization. (2021). *Pig sector Kenya: FAO animal production and health livestock country reviews*. FAO. FAO Official Website

Food and Agriculture Organization. (2022). *The state of food and agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. FAO. FAO Official Website.

Ritchie, H., Rosado, P., and Roser, M.,(2023).In our world in Data(Accessed 17\10/2024)Available from https//our world in data.org/Meat/Production.

Adesehinwa, A. O. K., &Ogunmodede, B. K. (2017). Effects of housing systems on performance of growing pigs in southwest Nigeria. *Tropical Animal Health and Production*, 49(2), 321–327.

Adesehiwon,A.O.K.Boladuro,B.A.,DunamadeA.S.,Idowu,A.B.,Moreki,J.C.,&Wachira, A.M.(2024).Pig Production in Africa. Current Status, Challenges, Prospects and opportunities. Animal Bioscience, 37(4), 730/741.

Chenais,E.,StermbergLewerin,S.,Bolvist,S.,U.(2019) Small holders perceptions on biosecurity & disease control in relation to African swine fever in an endemically infected area in the Northern Uganda. BMC Veterinary Research,15,279.

Madonna, B and Steven, Y. (2019). Precision livestock farming in pig welfare: A Review for Pig Practitioners. *Animals,* 9(4), 19-32.

Mbachu C.A., Actors Decision/ Making process on scaling evidence/based climate/resilience innovation in Pig farming in Enugu North senatorial District Discovery Agriculture,10,e3da 1546.

Maduka, O. A., Kalu, U and Odoemelam, L. E. (2020). Awareness, knowledge and utilization of improved pig production technologies among farmers in Abia State, Nigeria. *Nigerian Agricultural Journal*, 51(1), 119-124.

Njoku, J. I. K, Nzeakor, F. C, Ukoha, J. C and Echewodo,M., E. (2024). Access and utilization of veterinary services by rural poultry farmers in Umuahia Agricultural Zone of Abia State, Nigeria. *Nigerian Journal of Animal Production*, 50(2), 163–173.

Enimu, S, Okuma, L. O, George-Edet, O and Agbachom, E. E. (2024). Economic analysis of pig production towards protein sufficiency and food security in the Niger Delta area, Nigeria. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES),* 25(1), 1-9.

Oluwafemi, A. M., Ndukwe-Okereke, E. E and Mbanasor, J. A (2024). Effect of livestock agripreneurship on rural food security in Irele Local Government Area, Ondo State, Nigeria. *International Journal of Agriculture and Earth Science (IJAES),* 10(10), 120-132.

Ogbe, S. E, Asanya, K. U and John, S. N. (2023). Structure, conduct and performance of pig marketing in Umuahia North Local Government Area of Abia State, Nigeria. *International Journal of Agriculture, Food and Biodiversity,* 2(2), 16-24.

Eze, E. A., Okoro, C. O., &Nwosu, C. C. (2024). Climate change and its effects on pig production in Nigeria: Implications and adaptation strategies. *Journal of Agricultural Science and Technology,* 24(1), 45–58.

Awosanya, E. J., Olugasa, B. O., Gimba, F. I., Sabri, M. Y., &Ogundipe, G. A. (2021). Detection of African pig fever virus in pigs in Southwest Nigeria. *Veterinary World*, 14(7), 1840–1845.

Bertelli, O. (2020). 'Food security measures in Sub-Saharan Africa. A validation of the LSMS-ISA scale', *Journal of African Economies*, 29(1), 90–120.

Moses, P. C., Okoli, I. C., Achonwa, C. C., Ohanaka, A. U. C., &Omede, A. A. (2024). Socio-cultural characteristics of smallholder pig farmers and their feed ingredients use approaches at peri-urban and rural farming locations in Imo State, Nigeria. *Nigerian Journal of Animal Production*, 51(2), 1283–1286.

Kalu, U., Nwachukwu, I, and Apu, U. (2021). Utilization of Improved Production Technologies among Small Ruminant (Sheep and Goats) Farmers in South-East, Nigeria. An unpublished PhD Dissertation, Department of Agricultural Extension and Rural Development, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike.

Kalu, U., Odoemelam, L. E. and Maduka, O. A. (2021). Use of technical information among pig farmers in Abia State, Nigeria: Empirical analyses. *Nigerian Agricultural Journal*, 52(2), 115-119.

Nwaobiala, C. U., Igwe, C. O. K.Kalu, U. and Akwada, S. N. (2022). Determinants of Farmers' Adoption of Sasakawa Global 2000 Cassava-Maize Intercrop Technologies in Abia State, Nigeria. *Journal of Agricultural Extension,* 26(4):11–22.

Nwaobiala, C. U., Onu, S. E.and Igwe, C. O. K. (2022). Perceived Effect of Technology Attributes on Farmers' Engagement in Sasakawa Global 2000 African Agronomy Initiative Cassava-Maize Intercrop in Abia State, Nigeria. *Journal of Agriculture and Environment*, 18(1): 27- 35.

Nwobodo, E.I., Uchegbu, M.C.and Ekenyem, B.U. (2024). Socio-cultural characteristics of smallholder pig farmers and factors influencing ingredient use in feed formulation in Imo State, Nigeria. Nigerian Journal of Animal Production, 51(1), 115–123.

Okezie, C. A., Nwajiuba, C. U., &Okoye, B. C. (2019). Effect of feeding technologies on pig output in Enugu State, Nigeria. *Tropical Animal Production Investigation*, 22(1), 15–23.

Okezie, C.A., Emokaro, C.O., &Uzokwe, U.N. (2019). Socioeconomic factors affecting pig production in Enugu State, Nigeria. Journal of Agriculture, Forestry and the Social Sciences, 7(1), 1-8.

Ezeibe, A. B. C., Eze, J. O., & Ajaero, C. K. (2020). Socioeconomic determinants of piggery enterprise success among farmers in Enugu State, Nigeria. *Journal of Agriculture and Food Sciences,* 18(2), 89–101.

Ezeibe, A. B. C., Ibeawuchi, K. J., &Onoh, J. O. (2021). Adoption of pig waste-to-energy technology in Southeastern Nigeria. *Renewable Energy and Environment*, 10(2), 98–106.

Ezeibe, A.B.C., Ibeawuchi, A.M., &Onuoha, J.O. (2020). Economics of piggery enterprise in Udi Local Government Area of Enugu State, Nigeria. Agro-Science, 19(2), 11–17.

Ajala, M. K., & Adesehinwa, A. O. K. (2017). Roles and efficiency of participants in pig marketing in the northern part of Nigeria. Journal of Central European Agriculture, 8(3), 311–326.

Nwachukwu, C. U and Udegbunam, C. (2020). Rural pig production and pork consumption in Imo State, Nigeria. *Nigerian J. Anim. Sci.*, 22(1): 165-185.

Onu S.E andMaduka O. A (2016) Assessment of conservation measures of selected tree crops going into extinction adopted by rural farmers in Ohafia L.G.A of Abia State, Nigeria.*International Journal of Agriculture and Earth Science (IJAES). 2(6) Pp 23-32. www.iiardpub.org*

Oladoyin, O. P. (2024). Economic assessment of pig production in Ondo State, Nigeria. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation, 1(1),* 639-644.

Adebiyi, O. A., &Oluwatosin, B. O. (2024). Intensification drivers and biosecurity practices in peri-urban pig production systems in southwestern Nigeria. *Nigerian Journal of Animal Production*, 51(2), 112–125. https://doi.org/10.51791/njap.v51i2.567

Eze, S. C., Okoli, I. C., &Ugwumba, C. O. A. (2023). Household food security outcomes of pig production technology adoption among smallholder farmers in southeastern Nigeria. *Food and Energy Security*, 12(4), e456. https://doi.org/10.1002/fes3.456

Fasanya, O. O., Adebambo, O. A., &Adebambo, A. O. (2022). Genetic improvement and breed characterization of pigs in tropical environments: A review. *Tropical Animal Health and Production*, 54(2), 115. https://doi.org/10.1007/s11250-022-03123-5

Ogunwolu, A. A., Adebayo, S. A., &Olaniyi, O. A. (2023). Profitability and income determinants of small-scale pig farming in South-West Nigeria. *Journal of Agriculture and Food Sciences*, 21(1), 45–59. https://doi.org/10.4314/jafs.v21i1.4

Adebayo, T. A., Ogunlade, I., &Adekunle, A. A. (2024). Determinants of artificial insemination adoption among smallholder pig farmers in North-Central Nigeria. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 16(1), 34–44. https://doi.org/10.5897/JAERD2023.1356

Ogunsola, O. O., &Famakinwa, M. (2024). Artificial insemination in smallholder pig production: Awareness, adoption constraints, and policy implications in Southwest Nigeria. *Veterinary and Animal Science*, 23, 100335. https://doi.org/10.1016/j.vas.2024.100335

Adeola, R. G., Olatunji, S. O., & Bello, A. K. (2023). Educational attainment and adoption of improved livestock production technologies in southwestern Nigeria. *Nigerian Journal of Animal Production, 50*(2), 88–97.

Obinna, L.O and Onu, S.E. (2021). Use of Improved Production Technologies among Goat Farmers in Abia State, Nigeria. Journal of Agricultural Extension, 25(2): 96-106.

Ezeh, C. I., Nwibo, S. U., &Onoh, P. A. (2022). Socio-economic factors influencing adoption of improved agricultural technologies among rural farmers in southeast Nigeria. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development, 14*(4), 211–220.

Ibrahim, A. U., Mohammed, I. D., &Garba, A. (2023). Herd size and adoption of improved livestock management practices among smallholder farmers in northern Nigeria. *Tropical Animal Health and Production, 55*(3), 1–10.

Adebayo, A. A., Ibrahim, H. Y., & Yusuf, S. A. (2024b). Extension service delivery and adoption of improved livestock technologies among rural farmers in Nigeria. *Journal of Agricultural Extension, 28*(1), 45–58.

Adesina, M. O., Ezeano, C. I., &Nkamigbo, D. C. (2024). Socio-economic determinants of household food security among rural livestock farmers in Nigeria. *Journal of Agricultural Economics and Rural Development, 9*(1), 22–34.

Okeke, C. C., Ugwu, J. N., &Eze, B. U. (2022). Access to agricultural credit and food security status of smallholder farming households in Nigeria. *Journal of Development and Agricultural Economics, 14*(2), 67–78.

Yusuf, S. A., Abdullahi, M. S., &Aliyu, A. A. (2023). Livestock asset ownership and household food security among rural households in Nigeria. *Journal of Agriculture and Food Research, 12*, 100612.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

CLIMATE-SMART TECHNOLOGIES USE AMONG SMALLHOLDER GOAT FARMERS IN IMO STATE, NIGERIA

Njoku Joachim Ikpeoha Kakie
Department of Agricultural Extension, Michael Okpara University of Agriculture

Ukpai Kalu
Department of Agricultural Extension, Michael Okpara University of Agriculture
ORCID: 0000-0001-6065-3466

Abstract
This study investigated the access to and use of climate-smart technologies among rural goat farmers in Imo State, Nigeria. The research was limited to goat farmers. The specific objectives include describing the socioeconomic characteristics of rural goat farmers, identifying climate-smart technologies, determining the level of access to climate-smart technologies, and determining the level of utilization of climate-smart technologies. This study adopted a descriptive survey research design. The respondents were selected using multistage and purposive sampling techniques. Data were collected using a structured questionnaire and analyzed using descriptive statistics and Pearson's product moment correlation coefficient. The major findings showed that the mean age of the goat farmers was 46 years. The study identified climate-smart technologies, such as better housing, water and manure practices, disease prevention and health care, and improved breeds of resilience. The study found that goat farmers moderately had access to climate-smart technologies, with a grand mean of ($\bar{X}$=2.7), while the respondents highly used the climate-smart technologies available to them. Pearson's product moment correlation coefficient result showed a correlation coefficient (r) of 0.58, which was positively significant within the coefficient limit of ± 0.30 and 0.69. The study concluded that goat farmers accessed and used climate-smart technologies in their goat production. The study recommends that strengthening extension services will intensify extension outreach to educate goat farmers on the practical use of climate-smart technologies.
Keywords: use of Climate-Smart technologies, Smallholder goat farmers, Technology use

Introduction

Livestock are domesticated animals raised in an agricultural context to provide labor and commodities such as meat, milk, and wool. The term is sometimes used to refer to breeds for consumption. At other times, it refers only to tamed ruminants such as cattle, sheep, and goats. Livestock farming is simply the management and breeding of farm animals for the production of meat and other products. This class of animals, including cattle, sheep, goats,pigs , poultry, and horses, are raised for human consumption, income, and pleasure (Adepegba, Apantaku, and Oluwalana, 2019). Tewe (2018) stated that Nigeria's livestock resources consist of 13,885,813 cattle, 34,453,724 goats, 22,092,602 sheep, 3,406,381 pigs, and 104,247,960 poultry. FAOSTAT (2021) noted that Nigeria's livestock production comprised 21.2 million cattle, 48.6 million sheep, and 76.3 million total ruminants population of Nigeria as at 2020 comprised of 14,408,500 cattle, 8,403,900 goats, and 4,792,600 sheep (National Agricultural Extension and Research Liaison Service, 2020; Federal Ministry of Agriculture and Rural Development, 2020).

The National Bureau of Statistics reported that Nigeria's total livestock population stood at 273.80 million animals in 2022-2023, with goats having the highest figure of 138.95 million, followed by sheep with 64.93 million and cattle with 54.81 million, while horses had the least population (. Goat (Capra aegagrushircus).

Goat farming is an economic activity with economic value for human consumption. Goat farming is a lucrative and feasible means of livelihood and income for many people (Abdullah, *et al*, 2020: Nasiru , *et al*,2018). Goat meat and milk are palatable and generally acceptable with little or no cultural and religious barriers (Njoku,2022). They are sociable, lively, inquisitive, and independent. Goats are intelligent and quick to learn good and bad habits(Achoja et al., 2018). The livestock sector is the largest user of natural resources with 80% of all agricultural land used for grazing or animal feed production and 8% of the global water use (Onariase et al., 2023). Livestock systems in rural communities are highly vulnerable to climate change

Climate change has become a major concern for both developed and developing countries In rural communities relying on agricultural systems, the effect of climate change is highly visible, leading to a reduction in agricultural output, rendering millions without food and income sources. In Nigeria, rural communities rely on farming systems where the effects of climate change are highly devastating, pushing millions of farmers out of farm business and income. The Food and Agriculture Organization (FAO) has devised a strategy to overcome and deal with the impact of climate change. In 2010, the Food and Agriculture Organization in 2010, launched the concept of climate-smart agriculture to draw attention to the linkages between achieving food security and combating climate change. The FAO (2024) re-emphasized that the smart livestock farming system can ease labor crises by automating labor-intensive and repetitive processes. Climate-Smart technologies refer to a set of and practices designed to enhance food production and tackle agricultural greenhouse gas emissions under global warming.

However, the advent of climate-smart technologies has brought revolutionary strategies to dealing with climate change, which can improve the resilience and, sustainability of livestock systems and reduce greenhouse gas emissions. Livestock farmers and goat farmers can take advantage of climate-smart technologies such as remote sensing, crowd sourcing, and mobile apps (Antle et al., 2016). There are new climate-smart technologies that are used to make predictions on seasonal and weather forecasts and communicate climate information, for example, using an early warning system (Eakin et al., 2015). Stephen et al. (2016) stated that climate-smart technologies can be used to help rural communities adapt to climate change through social interactions with others.

Goat farming plays a crucial role in improving household income, nutrition, and livelihood security among rural farmers in Nigeria, particularly in Abia State. Observations indicates that many rural goat farmers in Imo State have limited access to or do not effectively utilize these technologies. Therefore, this study seeks to fill the gap by systematically examining access to and use of climate-smart technologies among rural goat farmers in Imo State.This study aims to examine the access and use of climate-smart technologies among rural goat farmers in Imo State, Nigeria.

The specific objectives were as follows:

i. describe the socioeconomic characteristics of goat farmers in the study area.

ii. identify the different types of climate-smart technologies available and used by rural goat farmers.

iii. Assessing the level of access to climate-smart technologies by rural goat farmers

iv. Determine the level of use of climate-smart technologies by rural goat farmers

The following hypotheses guided the study:
H_{o1}: There is no significant relationship between rural goat farmers' level of access to climate-smart technologies and their use of climate-smart technologies in Imo State.

Methodology

This study was conducted in Imo State, Nigeria. Imo State is located between latitude 530" N of the equator and longitude 7 30" E of the Greenwich Meridian. The state occupied an area of 590.8 km2 with a population density of 474.8 km2. The projected population was 280,500, with an annual growth rate of 2.7% (National Bureau of Statistics, 2022). Imo State is bounded in the north by River State and in the south by Anambra StateIn the East and West by Abia State and Rivers State, respectively. Imo State is surrounded by several towns and local government areas within Imo State and beyond. The Physiographic Information Survey on Imo State indicates that it is a humid zone with a tropical climate with two major seasons rainy and dry. The area has rolling hills and lush green vegetation. It is blessed with a scenic landscape and natural beauty. Imo State is rich in mineral resources such as limestone, laterite, gravel, gold, salt, and phosphate.

Agriculture is the major occupation of the people. People produce food crops such as rice, cassava, plantain, and banana. People raise livestock such as goats, sheep, rabbits, poultry, and cattle. Imo State 27 LGA namely: Aboh, Ezinihitte ,AhaiazuObowo,Orlu,Okigwe ,IsialaMbano,Ehime, etc. (Imo State Ministry of Local Government e Chieftaincy Affairs, 2024). The study population comprised all goat farmers in ImoState.

The study adopted a multistage and purposive sampling technique in selecting the sample size The first stage involved purposive selection of the Imo State. The second stage also involved purposive selection of six (6) LGAs in Imo State, namely: Ezinihitte , Ahaiazu, Obowo, Onuimo, and Orlu based on the intensity and concentration of small-holder households engaged in goat farming coupled with increased extension contact in the area.

The third stage involved a random selection of four (4) communitiesfrom each of the selected LGAs, making it a total of 24 communities. Lastly, 10 goat farmers were selected from each of the selected communities, making it 120 respondents.

The primary data were collected using a set of structured questionnaires administered to 120 goat farmers.

The collected data were analyzed using descriptive and inferential statistics. Descriptive statistics, such as frequency counts, percentages, mean, and standard deviation. The hypothesis was tested using Pearson's product moment and coefficient correlation.

Measurements of the variables

Objective i: To, describe the socioeconomic characteristics of rural goat farmers.

Variables were analyzed using descriptive statistics, such as frequency, percentage, and mean. The variables were measured as follows:

Age. Years)

Sex. Male = 1: Female = 0)

Marital status: (Single =1, Married = 2, Separated = 3)

Household size. Number of persons)

Flock size. Number of goats)

Education level. (No formal education == 0, primary school = 1, secondary school = 2, and tertiary education = 3).

Goat farming experience (number of years in goat farming)

Extension contact. (Number of visits per year).

Cooperative membership. (Yes = 2, No = 0)

Objective ii: To identify the different types of climate-smart technologies available to rural goat farmers.
Variables were measured using mean and percentage
The variables were measured using (available =1, not available = O).
Objective iii: To, assess the level of access to climate-smart technologies by rural goat farmers.
This objective was realized using 3-point likert scale of: (high access=3: moderate access = 2: No access = 0).
The mean score of access was obtained by adding 3+2+ 1 = 6/3 = 2.0
Any mean score 2.0 was considered access; otherwise, no access.
Objective iv: Determined the level of utilization of climate-smart technologies by rural goat farmers using a 4-point Likert scale: always = 4; often = 3; rarely = 2; never = 1
The mean score level of use of climate-smart technologies by rural goat farmers will be. Obtained by adding 4+3+2+ 1 = 10/4 = 2.5. Any mean score of 2.5 will be considered utilized; otherwise, it will not be used.

Model Specification
Hypothesis 1: There is no significant relationship between access to and level of utilization of climate-smart technologies: was tested using Pearson's product moment and coefficient correlation (PPMCC).
The relationship between access to and use of climate-smart technologies among small-holder goat farmers was examined using Pearson's product moment correlation coefficient (PPMC), which is expressed as follow

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})\,(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2\,(y - \bar{x}y)^2}}$$

Where:
rxy= Pearson's product moment correlation coefficient
X = Level of access to climate-smart technologies
Y = Level of usage of climate-smart technologies
n = Number of respondents120)
$\sum x\,y$ = sum of the product of the paired scores
$\sum x$= sum of the access scores
$\sum y =$ sum of use scores
$\sum x^2$ = sum of the squared access scores
$\sum y^2$= sum of the squared use scores
The decision rule was based on a 5% level of significance.
The null hypothesis was rejected if the P-Value = 0.05 : otherwise ; it was rejected.
Hence:
X = access to climate-smart technologies (independent variable)
Y = use of climate-smart technologies (independent variable)

Results and Discussion

Table 1: Selected socioeconomic characteristics of rural goat farmers (n = 120)

Variables	Frequency	Percentage (%)
Age (years)		
20–29	10	8.3
30–39	11	9.2
40–49	58	48.3
50–59	24	20.0
60 and above	17	14.2
Sex		
Male	84	70.0
Female	26	30.0
Marital Status		
Married	101	84.2
Single	19	15.8
Household size (number of children)		
1–4	15	12.5
5–8	68	58.7
9–12	23	19.2
13–16	14	11.6
Education (years in school)		
1–6	26	21.7
	73	60.8
13–18	21	17.5
Goat farming experience (years)		
1–5	13	10.8
6–10	34	28.3
11–15	52	43.3
16–20	21	17.5
Flock size (number of goats)		
1–10	35	29.2
11–20	65	54.2
21–30	13	10.8
31 and above	7	5.8
Monthly Goat Income (₦)		
50,000 to– 100,000	11	9.2
101,000–150,000	19	15.8
151,000–200,000	68	56.7
250,000 and above	22	18.3
Membership in a social organization		
Cooperative	36	30.0
Farmers Association	106	88.3
Age Grade	49	40.8
Source of funding		
Personal Savings	104	86.7
Relatives/Friends	63	52.5
Microfinance	23	19.2
Contributions/Thrifts	73	60.8
Extension Contacts (number of visits)		
0 (nil visits)	38	31.7
1–2	64	53.3
3–4	14	11.7
5–6	4	3.3

Source: Field Survey of, 2026

Table 1 shows that 48.3% of the farmers belong to the age bracket of 40-49 years. While 9.2% and 20.0% of them belonged to the age bracket of 30-40 and 50-60 years, respectively. Only 14.2 % of rural goat farmers were above 60 years old. The mean age of the goat farmers was 46 years. This implied that the farmers were at an active stage of life and have the advantage of increased investment and use of climate-smart technologies hence innovativeness. The findings on the mean age of the farmers agreed with those of Onuwa*et al*. (2020), who reported that the majority of goat farmers in Plateau State, Nigeria, were between 31 and 50 years of age. Similarly, Meena (2025; Anugwu&Egwue, 2025) affirmed that goat farmers mostly fall into middle-aged to older age. This implied that reliance on experienced adults in livestock production.

The results showed that the majority (70.0%) of rural goat farmers were male, while 30.0% were female. This finding implied that male goat farmers dominated the use of climate-smart technologies. This is in line with a priori expectations and supports earlier findings (Ekemini&Udoh, 2026; Ojo&Buba, 2020; Umar et al., 2020), which showed that Nigerian goat farming is male-dominated. This dominance by male goat farmers could be because male goat farmers have easier access to land than their female counterparts. (2025) showed that women dominated livestock enterprises in South Western Nigeria but lamented that unequal access to land and resources hampered the adoption of climate-smart technologies expected to increase livestock income.

Table 1 presents the distribution of rural goat farmers by marital status.

Table 2: Distribution of farmers according to climate-smart technologies used by goat farmers

Climate-Smart Technologies	Highly Used (3)	Moderately Used (2)	Not at All Used (1)	Mean ($\bar{X}$)	SD
Better housing for heat reduction	105 (87.5)	13 (10.8)	2 (1.7)	2.9	0.37
Improved feeding practices	86 (71.7)	24 (20.0)	10 (8.3)	2.6	0.63
Disease Prevention and Health Care	108 (90.0)	11 (9.2)	1 (0.8)	2.8	0.32
Water and manure practices	99 (82.5)	15 (12.5)	6 (5.0)	2.8	0.47
Use of Resilient Breeds	95 (79.2)	20 (16.7)	5 (4.2)	2.8	0.49
Agroforestry practices	88 (73.3)	19 (15.8)	3 (2.5)	2.6	0.52
Extension and ICT-based climate information	63 (52.5)	24 (20.0)	33 (27.5)	2.3	0.87
Selecting hardy breeding bucks and does	99 (82.5)	2 (1.7)	19 (15.8)	2.7	0.68
Integration of crop-livestock practices into livestock management	35 (29.2)	12 (10.0)	73 (60.8)	1.7	0.85
Improved housing and heat stress management practices	86 (71.7)	22 (18.3)	12 (10.0)	2.6	0.62

Source: Field Survey of, 2026

Table 2 shows that all Climate-smart technologies except one had mean scores of 2.0 and above, implying that all the technologies investigated were identified by rural goat farmers in Abia State. The Table shows that rural goat farming identified nine (9) Climate-smart technologies .

They were; better housing for heat stress reduction ($\bar{x} = 2.8$)improved feeding practices ($\bar{x} = 2.8$), disease- prevention and health care ($\bar{x} = 2.8$), water and manure practices ($\bar{x} = 2.7$),use of resilient breeds ($\bar{x} = 2.6$), selecting hardy breeding bucks and doe ($\bar{x} = 2.3$), integration of crop- livestock practices ($\bar{x} = 2.6$) and Extension and ICT-based Climate information ($\bar{x} = 1.7$) The technologies identified moderately was selecting hardy breeding bucks and doe ($\bar{x} = 2.3$), while the climate-smart technology identified lowly were extension and ICT-based climate information . The reason could be that the technology involved practical demonstration and knowledge, and goat farmers placed the least interest on climate information as a basis for using these innovations (Onuwa*et al., 2020*). The results in Table 2 further show that the standard deviations were, closely packed and small, implying that the data were highly reliable and uniform. The grand mean of ($\bar{x} = 2.7$) indicate that Climate-smart technologies with mean of ($\bar{x} = 2.7$) and above were highly and moderately identified, whereas technologies less than mean of ($\bar{x} = 2.7$) was lowly identified. This finding was similar to Others because it revealed a differential in identified index, awareness, constraint, and determinants across locations and production systems. However, this finding differs from that of Achoja (2020), who found that the use of climate-smart technologies was moderate, with an identified index of 50%. The study affirmed that improved breeding practices, health care, and better housing are major climate-smart practices. In contrast, the research conducted in Borgu LGA, Niger State, reported a high identification of supplementary feeding (94% over feeding practices {86.0%}<suggesting stronger intake of climate-smart technologies among farmers in that area. This finding is in line with those of Obinna and, *Onu* (2021), who used improved production technologies among rural goat farmers in Abia State, Nigeria , and selected 120 respondents using a multistage random sampling technique and descriptive survey design. The major findings indicate that goat farmers identified and used improved technologies such as deworming, vaccination, and improved housing. Similar to this, Anugwo and Egwue (2025) studied the impact of climate change on rural goat farming in Ebonyi State, Nigeria, identifying effective adaptation strategies, involving 84 respondents selected via a multistage sampling technique. The study used a descriptive survey design and a regression model. The major findings indicate that resilient goat breeds, regular water supply, and veterinary care are perceived as highly effective climate-smart technologies against climate change variability.

Table 3: Mean Rating of Respondents Access to Climate-Smart Technologies

Climate-Smart Technologies	Highly Used (3)	Moderately Used (2)	Not at All Used (1)	Mean ($\bar{X}$)	SD
Better housing for heat reduction	105 (87.5)	13 (10.8)	2 (1.7)	2.9	0.37
Improved feeding practices	86 (71.7)	24 (20.0)	10 (8.3)	2.6	0.63
Disease Prevention and Health Care	108 (90.0)	11 (9.2)	1 (0.8)	2.8	0.32
Water and manure practices	99 (82.5)	15 (12.5)	6 (5.0)	2.8	0.47
Use of Resilient Breeds	95 (79.2)	20 (16.7)	5 (4.2)	2.8	0.49
Agroforestry practices	88 (73.3)	19 (15.8)	3 (2.5)	2.6	0.52
Extension and ICT-based climate information	63 (52.5)	24 (20.0)	33 (27.5)	2.3	0.87
Selecting hardy breeding bucks and does	99 (82.5)	2 (1.7)	19 (15.8)	2.7	0.68
Integration of crop-livestock practices into livestock management	35 (29.2)	12 (10.0)	73 (60.8)	1.7	0.85
Improved housing and heat stress management practices	86 (71.7)	22 (18.3)	12 (10.0)	2.6	0.62

Source: Field Survey of, 2026

Table 3 shows the mean Rating of Respondents' levels of access to climate-smart technologies in the study area. The results showed that the grand mean of ($\bar{x} = 2.8$). This implied that the respondents had access to climate-smart technologies in Imo State. The data in the table show that better housing for heat reduction had the highest level of access ($\bar{x} = 3.4$). The mean Access score of this technology implies that rural goat farmers have better access to housing for heat reduction. This climate-smart technology was followed by improved feeding practices ($\bar{x} = 3.3$), disease- prevention and health care ($\bar{x} = 3.3$) water and manure practices ($\bar{x} = 2.9$), Use of resilient goat breeds ($\bar{x} = 2.9$)early warning climate information practices ($\bar{x} = 2.6$), Agroforestry integration practices ($\bar{x} = 2.2$) while ICT-based Climate-smart/ Digital tools($\bar{x} = 1.6$) had the least impact.. The grand mean above the benchmark implied that rural goat farmers in Abia State accessed most Climate-smart technologies. The high Access scores of these innovations could be because they are either the main livestock reared in Imo State. These findings indicate that climate-smart technologies are accessible to rural goat farmers. This finding is consistent with the assertion of Adepegba et al. (2020), who posited that rural farmers had high access to climate-smart technologies. The findings on access to climate-smart technologies agreed with those of Eta, Idiku, Elemi ,and Eremi (2023) who studied access to e-information for climate-smart agriculture production in Cross River State, Nigeria. The study used a sample size of 191 respondents selected via a multistage sampling technique. A survey design was adopted using percentage, mean, and Spearman correlation analysis for data analysis. Findings showed that access to e-information on climate-smart agriculture was mostly through radio, the Internet, websites, and social media. The study emphasized that access to information on zero tillage, irrigation, and water harvesting technologies was low. The study concludes that timely and reliable climate-smart agricultural information is necessary to improve farmers' access to and utilization of climate-smart technologies. Simultaneously, Gabriel, Olajuwom ,Klauser, Michael, and Eenni (2023) studied the state of climate-smart agriculture practices in the North Central and northwest zones of Nigeria.

The study adopted a survey-based research design involving rural farming households across selected states in Nigeria Descriptive and inferential statistics were used for data analysis. The findings indicate that goat farmers had increased access to climate-smart technologies, such as improved crop varieties, water conservation, agroforestry, and integrated livestock systems. However, inadequate extension services, poor funding, and weak institutional support hampered the effective access and use of climate-smart technologies.

Table 4: Mean Rating of Respondents'' Use of Climate-Smart Technologies in the Study Area (n = 120)

S/N	Climate-Smart Technologies	Very often (3)	Often (2)	Rarely (1)	Never (0)	Sum	Mean (ȳ)	SD	Rank
1	Water and manure practices	65 (260)	45 (135)	2 (4)	8 (8)	407	3.4	0.80	1st
2	Better housing for heat reduction	60 (240)	40 (120)	12 (24)	8 (8)	392	3.3	0.86	2nd
3	Disease Prevention and Health Care	25 (100)	73 (219)	33 (66)	0 (0)	385	3.2	0.68	3rd
4	Rotational grazing	65 (260)	25 (75)	12 (24)	18 (18)	377	3.1	0.97	4th
5	Improved feeding practices	40 (160)	60 (180)	20 (40)	0 (0)	380	3.0	0.70	5th
6	Use of resilient goat breeds	25 (100)	35 (105)	45 (90)	15 (15)	310	2.6	0.87	6th
7	Agroforestry practices	22 (88)	32 (96)	46 (92)	20 (20)	296	2.5	0.91	7th
8	Extension contacts and climate information	12 (48)	42 (126)	46 (92)	20 (20)	286	2.4	0.84	8th
9	Control with breeding/deworming and vaccination	8 (32)	45 (135)	53 (106)	4 (4)	277	2.3	0.72	9th
	Grand Mean = 2.8								
	Benchmark = 2.5								

Source: Field Survey of, 2026

Table 4 shows the mean rating of the respondents' level of use of climate-smart technologies among rural goat farmers in Imo State. The results revealed a grand mean of ($\bar{x} = 2.4$). The implication was that farmers generally used climate-smart technologies in the study area. The mean scores of the Climate-Smart technologies were as follows: water and manure practices ($\bar{x} = 3.4$), better housing for heat reduction ($\bar{x} = 3.3$), disease prevention and health care ($\bar{x} = 3.2$), rotational grazing ($\bar{x} = 3.1$), improved feeding practices ($\bar{x} = 3.0$), use of resilient breeds ($\bar{x} = 2.6$), agroforestry practices ($\bar{x} = 2.5$), extension contacts and climate information ($\bar{x} = 2.4$), and control breeding, deworming and vaccination ($\bar{x} = 2.3$). This finding implied that farmers in the study area highly used climate-smart technologies.
This result is in tandem with the assertion of Ogunwande, Arifalo, and Esan (2023), who studied climate-smart strategies and West African dwarf goat production in the South West of Nigeria using 150 goat farmers.

Their study used multistage sampling and regression analysis. Climate-Smart technologies, such as improved feeding practices, veterinary services, and housing systems, significantly influence goat productivity. Similarly, Anugwo and Egwue (2025) studied the impact of climate change on rural goat farming in Ebonyi State, Nigeria, using a survey design and 84 respondents. Their study revealed that goat farmers used climate-smart technologies, such as resilient breeds, improved housing systems, and water harvesting systems. Their study concluded that age, extension contacts, and herd ownership were significant determinants of adaptation behavior. This result disagreed with that of Osikabor, Emeghara, and Umuna (2025), who studied the adoption of climate-smart technologies in Local Government Area of Niger State, Nigeria. Their study found that extension contacts and climate information significantly influenced rural goat farmers' use of Climate-Smart technologies.

Table 5: Correlation matrix of access and use of climate-smart technologies among rural goat farmers in Imo State

Variables	Access	Use	
Access	Pearson Correlation	1	0.642
	P-value		0.001
	N	120	120
Use	Pearson Correlation	0.642	1
	P-value	0.001	
	N	120	120
$R^2 = 0.4122$ (41.22%)			

= Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

Source: Field Survey of 2026

The results in Table 5 show that the Correlation Matrix revealed a positive relationship between access to and utilization of climate-smart technologies among rural goat farmers in Imo State. The Correlation Coefficient ($r = 0.642$) shows a moderately positive relationship between the two variables. The coefficient of determination (R^2) of 0.4122, which is equivalent to 41.22% of the variations observed in the use of climate-smart technologies, was attributed to access to climate-smart technologies.

This finding is in tandem with those of Mbossoh Udoh (2026), who found that farmers' access to climate-smart technologies and climate information, education, household income, and institutional support significantly influence the choice and uptake of climate-smart technologies. They stressed that awareness alone cannot guarantee the utilization of climate-smart technologies among farmers. The p-value of 0.001, which is less than the alpha value of 0.05, indicates that the relationship is statistically significant.

The null hypothesis that there is no significant relationship between access to Climate-Smart technologies and utilization of Climate-Smart technologies is rejected because the P-value (0.001) is less than the 0.05 level of significance. This finding implied that increased access to climate-smart technologies significantly influences the use of climate-smart technologies among farmers in Abia State.

Conclusion and Recommendations

This study investigated the access and use of climate-smart technologies among rural goat farmers in Imo State, Nigeria. The following major conclusions were drawn from the findings obtained in this study.

The study concluded that climate-smart technologies improved goat production among rural goat farmers in Imo State, Nigeria.

The study also revealed a significant relationship between climate-smart technology access and use.

Based on the findings of this study, the following recommendations were made; Results showed that rural goat farmers' use of climate-smart technologies was limited; therefore, the study recommends the following:

Government and agricultural agencies should improve extension services to educate rural goat farmers on climate-smart technologies.

Credit facilities and financial support should be provided to farmers to enhance their adoption of climate-smart technologies.

Farmers should be encouraged to join cooperative societies to improve their access to information and resources.

Veterinary and training services should be strengthened to improve the use of climate-smart technologies among rural goat farmers in Abia State.

References

Abdullah,S.H.,Adesiji, G.B., Oluwide, M.G.,Adesiji, Y.O.,Orogun, O.P., and Komolafe, S.E. (2020). Livestock production systems in Kogi State Nigeria; Nigerian Journal of Animal Production,21(2) 70-78

Abia State Ministry of Local Government and Chieftaincy Affairs (2024) list of automous communities in Imo State, Japan

Achoja, F. O. (2020). Adoption of smart strategies for enhancing productivity and income of West African dwarf (WAD) goat farmers in southern, Nigeria', Journal of Agriculture Faculty of Ege University 59(3) 343-350

Adepegba, U. J., Apantaku, S. D., & Oluwalana, P. F. (2019). Poultry farmers' preference and use of commercial and self-compounded feeds in Oyo State, Nigeria. Agriculture and Human Values, 23(2), 245-246. doi:10.1016/j.ahv.2019.01.004.

Antle, J. M.,Jones, J. W., &Rosenssweig, C. E. (2016). Next Generation Agricultural System Data Models and Knowledge Products: Introduction to Agricultural System. https://www.sciencedirectcom/science//article/pii/so30852x16.https://www.sciencedirectcom/science//article/pii/so30852x16304887.

Anugwo SC, Egwue UI (2025) Adaptation strategies among rural goat farmers in Ebonyi State, Nigeria. Journal of Animal Production 43(2) 67-76

Anugwo, S. C.,&Egwue, O. I. (2025). Impact of climate change on rural goat farming in Ebonyi State, Nigeria. Identifying effective adaptation strategies. Nigerian Journal of Agriculture and Agricultural Technology,4(1) 112-123

Eakin, H., Wightman, P. M.,Hsu, D., Gil Ramón, V. R., Fuentes- Contreras, E., Cox, M. P., Human, T. A. N., Pacas, C.,Borraz, F., González- Brambia, C., Ponce de Leon, B. D., &Kammme, D. M. (2015). Information and communication technologies and climate change adaptation in Latin America and the Caribbean: A framework for action. Climate and Development, vol. 7, no. 3, pp. 208- 222

Eta, C. H.,Idiku, F. O.,Elemi , G. F.,&Eremi , E. O. (2023), Crop Farmers Access to E-information for Climate - Smart Agriculture Production in Cross River State, Nigeria. Journal of Agricultural Extension 27(3),26-34

FAO (2017) Climate-smart agriculture source book (2nd edition) Food and Agriculture Organization of United Nations.

FAO (2018) World Livestock. Transforming the livestock sector through sustainable development goals. Rome

FAO, Statistics (FAOSTAT) (2021) livestock census figures, FAO.

Gabriel, I., Olajuwom, F., Klauser, D., Michael, B.,&Renn, M. (2025). State of climate-smart agriculture practices in the North Central and North West zones, Nigeria. CABI, Agriculture and Biosciences,4(33),https; // doi.org/10.1186/s43170-023-00156-4^

Mbossoh, E. R.,&Udoh, E. J. (2026). Drivers of choice and uptake of climate-smart agriculture practices among smallholder farmers in Nigeria. Discover Agriculture,4,25.

Nasiru, M. O., Olumini, M. G.,Adesiji, Y. O., Orogun, O. P., & Komolafe, S. E. (2018), Economics of demand and supply of veterinary services among commercial poultry farmers' in Delta State Nigeria, Nigerian Journal of Animal Production 20(2),87-90.

National Agricultural Extension and Research Liaison Service (NAERLS) (2020), Ruminants population figures, ABUJA, Japan

National Bureau of Statistics (NBS) (2023) population estimates,Abuja, 2023..

NBS (2022) Estimated census figures, Abuja

Njoku, J.I.K., Chibundu, E.I., (2022). Effectiveness of Extension Communication Methods in Disseminating Poultry Production Technologies to Rural Farmers in Imo State, Nigeria; International Journal of Agriculture and Rural Development. 25(1)6118- 6126

Ogunwande, I. O., Arifalo, S. F., & Esan, M. O. (2025). Climate-smart strategies and West African dwarf goat (WADG) production in South West, Nigeria. Nigerian Journal of Animal Production: Proceedings of the 50th Annual Conference of the Nigerian Society for Animal Production, 1908-1911

Ogunwande, A. O., Arifalo, S. F.,&Esuan, M. O. (2025). Climate-smart strategies and West African dwarf goat production in South West, Nigeria; Nigerian Journal of Animal Production 52(1)78-90

Onariase,F.I.O.,Enwelim, O.J., Ihensekhie, N.I., Nwabah, N.I. (2023). Digital technology: A panacea for sustainable livestock reform in our community and conflict resolution. Nigerian Journal of Home Economics,12(9)197-205

Onuwa, G.C., Sunday, M S. Ademiluji, I.O.,&Chizoba, C.I. (2020). Climate change perceptions and smart agricultural practices among goat farmers in Bassa,Plateau State, Nigeria. International Journal of Research and Innovation in Special Sciences,4(9),299-302

Onuwa, G. C.,Eze, J. N.& Nwankwo , C. E. (2020). Climate change perception and adoption of smart agricultural practices among goat farmers in Plateau State Nigeria; International Journal of Agricultural Research and Sustainability,4(3),22-31

Onuwa, G. C., Eze,J.N. & Nwankwo, C. E. (2020). Climate change perception and adoption of smart agricultural practices among goat farmers in Plateau State Nigeria International Journal of Agricultural Research and Sustainability 4(3)22-31

Osikabor, B., Emeghara, U., Umunna, M. O., &Audu, G. N. (2025). Adoption of climate-smart livestock technologies in Niger State, Nigeria. Egypt Journal of Animal Production, 62(3), 161-167

Stepens, T. M.,Aart, N., Termeer, C. J. A. M., &Dewulf, A. (2016). Social media as a new playing field for the governance of agro-food sustainability and current opinion in environmental sustainability, 18(1), 99-106.

Tewe,K.A. (2018). A Conceptual framework for the economic analysis of factors influencing decision making of small- scale farmers' in animal health management: Rev.sci.tech.off.int. Epiz, 20(3), 687-700

Umar, I., Bello, M & Abdulkarim, I. A. (2020).Behaviors: An essential communicative signal for farmers, Veterinary Care and Sustainable Production in Livestock health and Farming,Intech.open. https://doi.org/10.5772/intechopen-89738https://doi.org/10.5772/intechopen- 89738

EFFECTS OF FARMING INNOVATION ON THE INCOME OF SMALLHOLDER FARMERS IN EKITI STATE

Adio, M. O.
Department of Agricultural Economics and Farm Management, Faculty of Agriculture, Federal University

Oloniyo, R. B.
Department of Agricultural Technology, Ekiti State Polytechnic

Abdulaleem, M. A.
Department of Agricultural Economics and Farm Management, Faculty of Agriculture, Federal University

Olayanju, E. K.
Department of Nutrition and Food Science, Weihenstephan Trisdorf University of Applied Sciences

Olayanju, J. T.
Department of Sustainable International Agriculture, Gorge Augusta University Gottingen

Jatto, N. A.
Department of Agricultural Economics and Farm Management, Faculty of Agriculture, Federal University

Ogunkunle, A. A.
Department of Agricultural Economics and Farm Management, Faculty of Agriculture, Federal University

Ayeni, M. D.
Department of Agricultural Economics and Extension, College of Agricultural Sciences, Landmark University

Omoboyejo, O. O.
Department of Agricultural Economics and Farm Management, Faculty of Agriculture, Federal University

Ajibola, S. O.
Department of Agricultural Economics and Farm Management, Faculty of Agriculture, Federal University

Abstract
The research looked at the impact of agricultural innovations on the income levels of small-scale farmers. The data was gathered from 120 respondents, and it was analyzed using descriptive statistics, gross margin approach, and OLS regression. The findings showed that the respondents were aged 42.1 on average. The male farmers were marginally greater than the female farmers (52.5% against 47.5%), with an average household size of 5 members.

The majority of the respondents were members of cooperative societies, and they had obtained at least secondary level of education (42.5%) with an average of 14.25 years experience in farming on an average size of 1.53 hectares of land. The mean annual income stood at ₦559,004.30 ± ₦271,211.30. With respect to adoption levels, the study found high uptake of low-cost, information-based innovations such as improved seeds (94.17%), fertilizer application (83.33%), and extension service access (84.17%). Gross margin analysis revealed that agriculture was profitable because there was a net profit of ₦2,325,231.00. From the OLS regression analysis, household size and farming experience were positively and significantly related to income at the 1% level. Among the farming innovations examined, fertilizer adoption had a positive and significant effect on income at the 5% level. Conversely, irrigation had a negative and statistically significant effect (1% level). The study concludes that the income effects of farming innovations differ across technologies and recommends improved access to affordable fertilizer, as well as training and support for cost-effective irrigation practices, to enhance the income and welfare of smallholder farmers.
Keywords: Innovation, income, gross margin, regression, smallholder farmers

Introduction

As far as the agricultural industry of sub-Saharan Africa is concerned, it needs to be taken into consideration that the dominant actors in this field are the small-scale farmers who constitute 65% - 70% of the total labor force and employ close to 90% of the total population in the region (Nyambo, et al., 2022). Apart from being an employment opportunity, agriculture is also one of the major sources of income that helps replenish foreign exchange and constitutes 15 percent of GDP of Africa on average, though there are major discrepancies between individual countries (Bjornlund, et al., 2020). The food and agriculture market could grow from US$280 billion annually in 2023 to US$1 trillion in 2030 (Union, 2024). Yet despite this enormous potential, most farming systems across the continent remain unsustainable, and the gap between agricultural promise and actual smallholder income continues to widen. In Africa, 80% of farmers farm on plots smaller than 2 hectares, and worldwide, smallholder farming provides livelihoods for more than two billion people, the vast majority of whom are living in poverty (Fan & Rue 2020). The imperative to close this gap through deliberate farming innovation has therefore become one of the most pressing development challenges of the twenty-first century.

The constraints facing African smallholder farmers are well-documented. Limited access to improved inputs, inadequate extension services, poor rural infrastructure, exposure to climate variability, and systematic exclusion from formal credit sources collectively suppress yields and perpetuate income poverty at the household level (Adesiyan, 2025). However, a growing body of evidence suggests that targeted farming innovations can substantially reverse these outcomes. A study involving over 4,000 smallholder farmers across Ghana, Kenya, Malawi, and Zambia found that the provision of pest alerts was associated with an increase in crop yield and income of 18–26%, demonstrating that addressing informational barriers through innovation can yield significant productivity and income gains (Gitau, *et al.,* 2025). Similarly, agronomic training, improved farming inputs, and market access provided to smallholder farmers in Ethiopia helped double farm yields, leading to an estimated USD 59 million incremental increase in farmer revenues (Jilito & Wedajo 2020). These findings affirm that farming innovation, when effectively disseminated, holds transformative potential for smallholder livelihoods across Africa.

It is clear how 4IR technologies affect African agriculture through innovations like digital soil mapping and crop disease diagnosis using artificial intelligence technology, which allows farmers to detect diseases early and hence increase yield (Minhans, *et al.,* 2025).

One of the strategies of the African Union's Digital Transformation is that it provides measures to make the African agricultural sector more efficient and resilient up to the year 2030 in line with CAADP. However, agriculture is one of the industries that is less digitised, and this means that smallholder farmers cannot cope with changes in the environment and market conditions. Gumbi, *et al.,* (2023). The persistent adoption gap driven by low digital literacy, inadequate rural infrastructure, high input costs, and poor market integration is especially acute in rural communities across the continent (Michael, & Ogunsola, 2022). In relation to Nigeria, the country offers a perfect illustration of how the issues related to agriculture in Africa have played out. Agriculture is the most important sector of the economy in Nigeria, and it contributes about 24% of the nation's GDP, with 80% of all farmers classified as smallholder farmers that contribute roughly 90% of total agricultural output, Nwankwo *et al.,* (2024). In the first quarter of 2024, agricultural crop production accounted for about 19.24% of GDP, while smallholder farmers most of whom are women predominantly characterise the agricultural landscape, producing over 60% of food and serving as the backbone of Nigeria's agricultural sector (Adegbite & Machethe 2020). Yet this productive backbone operates under severe systemic stress. Despite the high production capacity that exists in the nation, there are various hurdles to development, which include insecurity, high input prices, climate change, losses after harvest, lack of mechanization and irrigation, and ineffective transport and cold chains (Kaur & Watson 2024).

Although agriculture forms a very important part in the sustenance of rural communities, small-scale farmers in the region have been experiencing consistently low levels of productivity and incomes. Smallholder farmers in Nigeria do not reach 50% of their productive capacity per hectare of farmland resulting in low incomes and food insecurity with almost 90% of them lacking access to formal financial systems, thereby limiting their investment capabilities in their farming and hedging against possible risks (Chiaka, et al., 2022). The inability of these farmers to adopt innovative farming practices is due to this low productivity, and this gap will be filled by the current research as its first objective. Evidence from Nigeria shows that adoption of innovation platforms significantly affects the revenue distributions of smallholder farmers, with the impacts strongest among the poorest farming households (Ayanwale, Ojo & Adekunle (2023) yet the profitability implications of farming innovation adoption among smallholders have not been systematically assessed. Furthermore, in Sub-Saharan Africa, smallholder crop yields consistently remain less than half of those observed in Asia, with such low productivity carrying profound implications for income and poverty (Jayne & Sanchez 2021), pointing to the need for evidence on how farming innovations affect agricultural output in specific local contexts.

Compounding these challenges, poor access to credit is a key barrier to the adoption of modern agricultural technologies among smallholders, with demand-side factors such as risk-averse behaviour, high transaction costs, and information asymmetry playing equally important roles alongside supply-side constraints (Balana & Oyeyemi 2020). Fear of failure, inadequate extension training, and reliance on traditional practices further discourage adoption of new farming technologies Frontiers. Yet, the specific constellation of constraints inhibiting innovation adoption among smallholder farmers has not been empirically documented. This study therefore investigates the effects of farming innovations on the income of smallholder farmers particularly in Ikole-Ekiti Local Government Area, by describing their socioeconomic characteristics, assessing profitability outcomes from innovation adoption, determining effects of innovation adoption on output of smallholder farmers and analysing the constraints to adoption with the aim of generating locally grounded evidence to guide policy and extension intervention.

Literature Review

Concept of Farming/Agricultural Innovation

Agricultural innovation denotes the introduction and implementation of novel or substantially enhanced concepts, methods, products, processes, or institutional frameworks that augment productivity, efficiency, sustainability, and profitability within agricultural systems Vernooy *et al.,* (2024). It extends beyond simple creation; it includes the effective adoption and dissemination of technology and information within agricultural communities Mbatha, (2024). Hoang & Nguyen (2023) characterizes agricultural innovation as "novel or enhanced agro-food products and processes, encompassing technological, organizational, and institutional modifications that augment value within the sector." Farming innovation fundamentally comprises a dynamic, farmer-centric process including three interconnected stages: invention (the generation of new information or tools), innovation (the actual adaptation and application), and diffusion/adoption (the extensive utilization by farmers). In developing nations, innovation is frequently referred to as the "agricultural innovation system" (AIS), encompassing intricate connections among farmers, researchers, extension agents, input suppliers, processors, markets, and policymakers, Woodhill, Hasnain & Griffith (2020).

Categories and Varieties of Agricultural Innovation

Agricultural innovations are often categorized into five principal classifications:
(a) Genetic and Biological Innovations: Creation and utilization of high-yield, disease-resistant, early-maturing, or nutritionally superior crop varieties and animal breeds. Examples of cassava varieties include TME 419, TMS 30572, vitamin A biofortified varieties, and newly published climate-smart cultivars, Workalemahu & Dawid (2021).
(b) Mechanical and Technological: Innovations Implementation of labour-saving implements and machinery, including tractors, planters, harvesters, graters, dryers, and milling apparatus. In Nigeria, the implementation of cassava stem planters and motorized graters has diminished labour requirements by 40–60% in certain regions Maru *et al.,* (2021).
(c) Agronomic and Cultural Innovations: Enhanced agricultural techniques encompassing optimal spacing, intercropping, fertilizer utilization, Integrated Pest Management (IPM), soil fertility enhancement, and conservation agriculture. Recent research indicates that ridge-making and fertilizer micro-dosing can enhance cassava yields by 50–100% Makate, (2020).
(d) Chemical Innovations: Utilization of enhanced inputs including inorganic fertilizers, herbicides, and insecticides. Despite low adoption rates (<20% of smallholders), applying NPK at recommended levels can enhance cassava yields from 10–12 t/ha to 25–35 t/ha (Barrera-Perales & Burgos (2023). Innovations in Digital and Institutional Domains: ICT-based instruments (mobile applications, e-extension services, weather advisories, market information systems) and novel institutional frameworks (contract farming, farmer collectives, value chain connections). The BASICS-II and CAVA initiatives have implemented digital platforms that link cassava producers directly with industrial purchasers, increasing farm-gate prices by 15–30% (Aramburu-Merlos, *et al.,* 2024).

Methodology

The research was done in the Ikole-Ekiti Local Government Area of Ekiti State, Nigeria. Ikole Local Government Area (LGA) is one of the major agricultural centers in Ekiti State, Southwest Nigeria, and it is strategically located here. From the 2006 National Population Census, the number of people residing in the local government was 168,436 in an area measuring approximately 374,940 km². There were 87,976 males and 80,460 females.

Ikole-Ekiti is found in geographic coordinates of latitude 7°-8°-15° North of the Equator and longitude 4.5° East of Greenwich. The headquarter of the Local Government, Ikole Ekiti is about 22.5 km away from the state capital of Ado-Ekiti (Birhanu, et al., (2023); Balana et al., 2020). The boundaries of Ikole-Ekiti Local Government are made up of Kwara State to the North, Kogi State to the Northeast, Ekiti East to the East, Gboyin Local Government to the South, and Oye Ekiti Local Government to the West.

The research population consists of all the smallholder farmers who are engaged in farming activities in Ikole LGA of Ekiti State, Nigeria. There are twenty-four towns and villages in Ikole LGA whose economy depends heavily on agricultural activities with production being the major source of income for the rural dwellers. In this study, multistage sampling method was used to draw samples. First, Ikole Ekiti LGA was deliberately selected because of the rural characteristics and the existence of many smallholder farmers within the LGA. Second, eight (8) communities were drawn from the twenty four towns and villages of Ikole LGA (Ikole Ekiti, Oke Ako, Itapaji, Iyemero, Ipao, Ara, Ayebode and Oke Ayedun). The experiences of smallholder farmers are fully represented by these communities, which span a variety of agricultural contexts within Ikole LGA, (like Ipao with Agbeyewa Farms) to more isolated farming communities. Finally, 15 respondents were randomly and proportionately selected from each of the 8 communities, yielding the total sample of 120 farmers. Data for the study was obtained with a questionnaire through oral interviews.

Model Specifications

The socioeconomic profile of the respondents and the barriers encountered in the adoption of farm innovations were described using descriptive statistics such as means, frequencies, and percentages. The Gross Margin approach was employed to measure the economic benefits of adopting farm innovations by the respondents.

$$Gross\ Margin\ (GM)(naira) = Total\ Revenue\ (TR) - \ Total\ Variable\ Cost\ (TVC)$$
$$TR = Output * Price$$
$$Profit = GM - Fixed\ Cost$$

Multiple linear (Ordinary Least Square) regression (OLS) was used to determine the effects of farming innovations on the output of smallholder farmers.

Formula;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 - - - - - - - - - - - - - - - - - \beta_n X_n + \varepsilon$$

$$Y = Income\ (naira)$$
$$X_1 = Sex\ (male = 1, female = 0), X_2 = household\ size,\ \ X_3 = Education\ (years),$$
$$X_4 = Experience\ (years), X_5 = farm\ size\ (ha), X_6 = labour,\ \ X_7 = improved\ seeds, X_8 = fertilizer\ application\ (yes = 1, no = 0), X_9 = Extention\ visit\ (yes = 1, no = 0),$$
$$X_{10} = mechanization\ (yes = 1, no = 0), X_{11} = Irrigation\ (yes = 1, no = 0)$$

Results and Discussion

The result in Table 2 gives the socioeconomic status of the respondent. The analysis of age distribution of respondents revealed that the mean age of the respondents was 42.1 years and standard deviation was 9.58, which indicates that the age distribution of the farmers was moderately clustered.

Most of the respondents were middle-aged farmers; therefore, this age group shows more risk-taking capability, which means they can explore some new farming practices because they have the knowledge and resources for this purpose. This result coincides with the results of Anil *et al.,* (2024). According to them, innovators in adopters are characterized by youth, richness, and education. The predominance of middle-aged farmers therefore has implications for the pace and extent of farming innovation adoption and its consequent effect on household income.

In addition, Table 2, the result shows the sex distribution of respondents, with male farmers constituting a slight majority (52.5%) compared to their female counterparts (47.5%). This near-balanced but male-leaning distribution reflects the general pattern in Nigerian agriculture, where men typically dominate land ownership, access to inputs, and farming decision-making, though women remain substantially involved in production. This result aligns with Nguyen, Nguyen & Truong (2025) in their research on the assessment of small-scale farmers' knowledge on the use of agrochemicals and its environmental effects in Izzi Local Government Area, Ebonyi State, Nigeria, which similarly reported a higher proportion of male respondents relative to females among small-scale farming households. Such consistency across studies conducted in different agrarian communities in Nigeria suggests that male dominance in smallholder farming, though gradually narrowing, remains a persistent structural feature that could influence access to innovation and, ultimately, income outcomes among smallholder farmers.

Moreover, the Table indicated that the average household size in the study area was 5. This finding indicates that most farming households in the study area are small to moderately sized, which has implications for available family labour and dependency burden on farm income. Smaller household sizes may reduce the pool of unpaid family labour typically relied upon in smallholder farming, potentially influencing farmers' willingness to adopt labour-saving innovations to compensate for limited manpower. This result aligns with Rizzo *et al.,* (2024), in a study on the livelihood sustainability of small and marginal farmers in western Vidarbha, which similarly reported that the majority of surveyed farm households' maintained relatively small household sizes, a factor identified as influential in shaping livelihood diversification strategies and the adoption of improved farming practices among resource-constrained households.

From the finding on the cooperative membership status of the respondents, it was observed that most of the respondents, totaling 87 farmers (72.5%), were cooperative members while only 33 farmers (27.5%) were not cooperative members. This high percentage of cooperative membership implies that most of the smallholder farmers within the study area are aware of the advantages of collective efforts in accessing credit, farm inputs, extension services, market information, and other aspects that facilitate innovation in agriculture and lead to the creation of income. This result supports the findings of Siphesihle & Lelethu (2020), in their study on cooperative membership and entrepreneurial orientation of women palm-oil sellers in Ogun State, Nigeria, where most of the respondents were cooperative members.

As depicted in Table 1, the table above also provides the distribution of respondents based on the level of education they possess, with 42.50% having attained secondary education, 20% having primary education, 20% possessing tertiary education, while 13.33% having no formal education and only 4.17% with adult education. It implies that majority of the farmers in the study area have some form of formal education, which is expected to help in determining their understanding and evaluation of any farming innovation, in addition to their understanding of market and price information regarding income generation.

This result aligns with Diyaolu & Folarin (2024), in their study on the extension needs of vegetable growers, which similarly found that the majority of respondents had attained secondary-level education, reinforcing the notion that moderate literacy levels support farmers' receptiveness to extension services and agricultural innovations.

The result of farming experience in the Table revealed a mean of 14.25 years and a standard deviation of 7.93. This relatively wide spread of farming experience indicates that respondents possess a substantial depth of practical farming knowledge, which could positively influence their ability to evaluate and adopt farming innovations based on accumulated experiential learning. This result aligns with Sithole & Olorunfemi (2024), in a study on the perception of farmers about the utility of soil health cards, which similarly reported considerable variation in farming experience among respondents, with experienced farmers demonstrating greater receptiveness to innovative agricultural practices.

Also according to the Table, the average farm size of the respondents in the study area was 1.53 hectares and a standard deviation of 0.72. This distribution indicates that farming operations are predominantly small to medium-sized, a characteristic typical of smallholder agriculture, which often constrains access to capital-intensive innovations and limits economies of scale in production. This result aligns with Kumar (2025), in their study on farms, family farms, farmland distribution, and farm labour, which similarly emphasized that smallholder and family farms globally operate on relatively small landholdings, a structural factor that significantly shapes innovation adoption patterns and income potential among farming households.

Finally, the results in the Table shows that average income of the respondents in the study area was ₦559,004.3 and a standard deviation of ₦271,211.3 and indication that nearly all respondents generated income above the subsistence threshold, suggesting that farming, alongside adopted innovations, contributes meaningfully to household earnings. This result aligns with Dibisa (2023), in a study on the assessment of livestock service delivery among dairy farmers in Andhra Pradesh, which similarly reported wide income variability among farming households, attributing such disparities to differential access to services, resources, and improved practices.

Table 1: Socioeconomic Characteristics of the Respondents (n = 120)

Variable	Frequency	Percentage	Mean	SD
Age (years)				
21-40	49	40.83		
41-60	69	57.50		
61-80	2	1.67	42	9.58
Sex				
Female	57	47.50		
Male	63	52.50		
Household size				
≤ 10	118	98.33		
11-20	2	1.67	5	2.05
Cooperative				
No	33	27.50		
Yes	87	72.50		
Education				
No Formal	16	13.33		
Primary	24	20.00		
Secondary	51	42.50		
Tertiary	24	20.00		
Adult Education	5	4.17		
Experience				
≤ 5	20	16.67		
6-10	27	22.50		
11-15	18	15.00		
16-20	24	20.00		
≥20	31	25.83	14.25	7.93
Farm Size				
≤ 5	34	28.33		
6-10	84	70.00		
11-15	2	1.67	1.53	0.72
Income				
≤ 10,000	1	0.83		
>30000	119	99.17	559004.3	271211.3

Source: Field Survey, 2026, SD = Standard Deviation

Farming Innovations used by the Respondents

The result in Table 2 shows that farming innovations used among respondents varies considerably across practices. Most respondents adopted improved seeds (94.17%), listened to radio agricultural programmes (96.67%), applied fertilizer (83.33%), and accessed extension services (84.17%), indicating high receptiveness to low-cost, easily accessible innovations that require minimal capital investment. However, adoption of mechanized farm tools (37.50%) and irrigation farming (16.67%) remained considerably low, reflecting the capital-intensive nature of these technologies and the financial constraints typical of smallholder farming systems. This pattern suggests that while informational and input-based innovations diffuse relatively easily through extension contact and mass media, structural innovations requiring significant investment remain largely inaccessible to resource-poor farmers.

This coincides with the findings of Odusola, (2021) who researched the effects of mechanization on agricultural production and economic activities of farmers in Nigeria, and pointed out that majority of the small farmers do not have enough money to buy advanced machinery such as tractors and ploughs despite receiving substantial help from the government.

Table 3: Farming Innovations

	Yes (%)	No (%)
Improved seeds in your farming activities	113 (94.17)	7 (5.83)
Apply fertilizer to improve your crop production	100 (83.33)	20 (16.67)
Access to agricultural extension services for farming advice and innovation adoption	101 (84.17)	19 (15.83)
Mechanized farm tools such as tractors, planters, or harvesters	45 (37.50)	75 (62.50)
Practice irrigation farming to improve crop production	20 (16.67)	100 (83.33)
Listen to radio agricultural programmes for farming information and innovations	116 (96.67)	4 (3.33)

Source: Field Survey, 2026

Gross Margin

The analysis reveals that respondents generated a total revenue of ₦6,708,051.00 from their farming activities, with Variable Costs amounting to ₦1,749,870.00, comprising land clearing (₦583,190.00), ridging (₦470,650.00), planting (₦233,110.00), fertilizer (₦108,240.00), and harvesting (₦354,680.00), Table 4. Deducting variable costs from revenue yielded a Gross Margin of ₦4,958,181.00, while further subtracting the Total Fixed Cost of ₦2,578,950.00 resulted in a profit of ₦2,325,231.00. This positive profit margin indicates that farming remains a viable and profitable enterprise for smallholder farmers from the study area, despite the significant cost involved in acquiring input and labour intensive processes such as clearing of land and fertilizer application. The relatively high proportion of fertilizer cost within the variable cost structure underscores the importance of input accessibility in sustaining profitability. This result supports that of Drall & Mandal (2025) based on studies done on the evaluation of production efficiency and profitability analysis of groundnuts in Bwari and Gwagwalada Area Councils of Abuja, Nigeria.

Table 4: Gross Margin Analysis

			₦	₦
Revenue				6,708,051.00
Costs	**Fixed cost (Depreciated)**		2,578,950.00	
	Variable Costs			
	Land Clearing		583,190.00	
	Ridging		470,650.00	
	Planting		233,110.00	
	Fertilizer		108,240.00	
	Harvesting Cost		354,680.00	
	Total Variable Cost		1,749,870.00	
	Total Cost		4,382,820.00	
Gross Margin (Revenue – Total variable Cost	6,708,051.00 1,749,870.00 **4,958,181.00**	– =		
Profit (Revenue – Total Cost)	6,708,051.00 4,382,820.00 **2,325,231.00**	– =		

Source: Field Survey, 2026

Effects of Farming Innovations on the Income of Smallholder Farmers

From the regression analysis, it may be seen that the overall regression is statistically significant since the F-statistic value obtained is 140.07, with the probability value being 0.0000. This means that the explanatory variables that include innovations in agriculture and certain socioeconomic Variables have an important effect on the income of small farmers. Furthermore, R-square value of 0.9345 indicates that about 93.45% of variation in the income of small farmers is due to the above factors, whereas the rest 6.55% can be attributed to other factors that have not been considered in the regression model. Under the socioeconomic factors, it is evident that the factor affecting income positively and significantly is the size of the household with a coefficient value of 0.960 at the 1 percent level. This means that increase in household size leads to an increase in income of smallholder farmers due to availability of more family labor to conduct farming operations, thereby reducing hired labour costs. In the same manner, farming experience is positively and significantly influential at 1%, and the coefficient is 0.965, meaning that the farmers who have high levels of farming experience are bound to earn more since they will have the advantage of having more experience.

When it comes to farm innovations, the application of fertilizer has been found to be positively and significantly influential at 5%, with a coefficient of 2.488 and a p-value of 0.006. Therefore, this shows that the use of fertilizer is an important factor contributing to income. In some cases, fertilizer may be one of the most important agricultural innovations affecting the income of the farmers. On the other hand, irrigation negatively affects income and this is statistically significant at the 1% level, with a coefficient of -2.881. This implies that in this study, irrigation leads to low income. This result may indicate that the cost of irrigation facilities, energy, maintenance, or water access may outweigh the immediate income benefits obtained by the smallholder farmers. However, this negative relationship should be interpreted carefully, as the regression result alone does not establish the specific reason for the negative effect.

The results therefore highlight the importance of promoting cost-effective and income-enhancing innovations, while addressing the financial and operational constraints associated with innovations that may impose high production costs on smallholder farmers (Abah, Ogebe & Ochoche (2020); Abraham & Pingali (2020)).

Table 5: Effects of farming innovations on the output of smallholder farmers

Variable	Coefficient	Std. Err.	p-value	Dy/dx
Sex	-0.451	0.693	0.517	0.515
Household size	0.960	0.216	0.000***	0.000
Education	0.035	0.367	0.923	0.922
Experience	0.965	0.074	0.000***	0.000
Farm size	0.919	1.187	0.440	0.439
Labour	-2.101	1.297	0.108	0.105
Improve Seed	0.715	1.720	0.679	0.678
Fertilizer	2.488	0.890	0.006**	0.005
Extension	0.716	0.966	0.460	0.458
Mechanization	-0.331	0.703	0.639	0.638
Irrigation	-2.881	0.754	0.000***	0.000
Constant	22.397	1.844	0.000	
No. of Obs.	120			
F(11, 108)	140.07			
Prob > F	0.0000			
R -Squared	0.9345			
Adj R Squared	0.9278			
Root MSE	2.5743			

*, ** and *** Represent 10%, 5% and 1% Significant Levels

Constraints to Adoption of Farming Innovations

The grand mean of 3.18, obtained by averaging the mean scores of all eight items, was used as the decision mean to determine which factors constitute major constraints to the adoption of farming innovations. Applying this benchmark, four constraints were identified as significant, since their means exceeded the grand mean: lack of access to agricultural credit (4.63), high cost of farming innovations (4.29), poor rural road infrastructure (4.22), and small farm size (3.33). Conversely, inadequate extension services (2.42), lack of awareness about available innovations (2.39), lack of confidence in innovation success (2.13), and cultural attachment to traditional farming methods (2.03) fell below the decision mean implies that these were not regarded as significant barriers by the respondents. With this trend, it is evident that the barriers to innovations are the issues of finances and infrastructure and not ignorance or resistance.

Table 1: Distribution of Respondents According to Constraints to Adoption of Farming Innovations

Constraints to Adoption of Farming Innovations	**SD (%)**	**D (%)**	**U (%)**	**A (%)**	**SA (%)**	**Mean**
High cost of farming innovations prevents me from adopting them	4 (3.33)	-	-	69 (57.5)	47 (39.17)	4.29
Lack of access to agricultural credit limits my ability to adopt new farming innovations	-	-	-	45 (37.5)	75 (62.5)	4.63
Inadequate extension services in my community make it difficult to learn about new innovations	8 (6.67)	90 (75.00)	-	8 (6.67)	14 (11.67)	2.42
Poor rural road infrastructure makes it difficult to access inputs and markets for innovations	-	-	4(3.33)	86 (71.67)	30 (25.00)	4.22
I do not adopt new farming innovations because I am not confident they will succeed on my farm	17 (14.17)	84 (70.00)	5 (4.17)	14 (11.67)	-	2.13
Lack of awareness about available farming innovations is a major barrier for me	9 (7.50)	89 (74.17)	-	10 (8.33)	12 (10.00)	2.39
My small farm size discourages me from investing in new farming innovations	4 (3.33)	40 (33.33)	10 (8.33)	44 (36.67)	22 (18.33)	3.33
Cultural attachment to traditional farming methods prevents me from adopting new innovations	22 (18.33)	84 (70.00)	2 (1.67)	12 (10)	-	2.03

Source: Field Survey, 2026

Note SD- Strongly disagree (1), D- Disagree (2), U- Undecided (3), A- Agree (4), SA- Strongly Agree (

Conclusion and Recommendations

As found by the results of the research, it is clear that farm innovation and certain socio-economic factors have an influence on the income of small-scale farmers because the model is able to explain the significant variance of income of farmers. The number of household members and farming experience were positively significant on the income of farmers; however, in terms of farm innovation, only the application of fertilizer is positively significant. However, irrigation had a considerable impact on the income of the farmers, which may imply that maybe the cost of irrigation or the difficulties associated with irrigation could be higher than the benefits gained from income from the farmers' irrigation. Most importantly, what the study discovers is that the key problems associated with innovation adoption in the region of study do not lie in the area of unawareness amongst the farmers or in their confidence, or even resistance on cultural grounds, but in the form of structural barriers, including inadequate access to agricultural credit, the high costs associated with innovations, weak rural roads, and small farm sizes. This is very significant in terms of any future interventions because it shows that attempts to increase farmers' awareness of innovation or modify their attitude towards innovation would not make much difference unless those barriers are addressed as well. In conclusion, more policies and interventions need to be introduced to ensure greater assistance in developing the farming knowledge and experiences of the farmers as well as promoting economically viable and applicable innovations in farming. In case any policy is made with the aim of increasing the incomes of the smallholder farmers, there should be a mechanism whereby the smallholder farmers get access to innovative means of solving their production issues. There should be input subsidies in Ekiti State Ministry of Agriculture and in Federal Agencies, especially for the provision of mechanical inputs, irrigation facilities, and fertilizers. Lastly, there should be efforts by the Local and State Governments to rehabilitate and build farm roads for the farmers to reduce transportation costs, minimize post-harvest losses, and improve farmers' overall access to innovations, extension services, and profitable markets for their produce.

Acknowledgements

The authors appreciates the contributions of the members of staff of the Department of Agricultural Economics and Farm Management, Federal University, Oye-Ekiti, Ekiti State, Nigeria

Funding

This study does not receive any funding

Conflict of Interest

The author declares there is no conflict of interest

References

Abah, D., Ogebe, O. F., & Ochoche, O. C. (2020). Trends of Budgetary Allocation to Agriculture and Agricultural Output in Nigeria during Military Regime (1983-1998). *Journal of Agripreneurship and Sustainable Development*, 3(4), 99-108.

Abraham, M., & Pingali, P. (2020). Transforming Smallholder Agriculture to Achieve the SDGs. In The role of Smallholder Farms in Food and Nutrition Security (pp. 173-209). Cham: *Springer International Publishing*.

Adegbite, O. O., & Machethe, C. L. (2020). Bridging the Financial Inclusion Gender Gap in Smallholder Agriculture in Nigeria: An Untapped Potential for Sustainable Development. *World development*, 127, 104755.

Adesiyan, T. (2025). Leveraging Agricultural Credit and Digital Finance for Enhancing Smallholder Productivity and Rural Economic Growth. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 6(8), 3090.

Al-Musawi, Z. K., Vona, V., & Kulmány, I. M. (2025). Utilizing Different Crop Rotation Systems for Agricultural and Environmental Sustainability: A review. *Agronomy*, 15(8), 1966.

Anil, K., Bhat, P. P., Prasad, R., Rajesh, C. M., Jadhav, A., Manohar, K. N., & Nandini, H. M. (2024). A Review on Impact of Modern Agricultural Extension Services on Smallholder Farm Productivity and Sustainability in India. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(7), 1161-1172.

Aramburu-Merlos, F., Tenorio, F. A., Mashingaidze, N., Sananka, A., Aston, S., Ojeda, J. J., & Grassini, P. (2024). Adopting Yield-Improving Practices to Meet Maize Demand in Sub-Saharan Africa without cropland expansion. *Nature communications*, 15(1), 4492.

Attahiru, A. (2025). Agro Processing and Value Chain Development. Reshaping Development Governance, Agriculture and Digital Finance Editor Ahmed Attahiru, 1.

Ayanwale, A. B., Ojo, T. O., & Adekunle, A. A. (2023). Estimating the Distributional Impact of Innovation Platforms on Income of Smallholder Maize Farmers in Nigeria. *Heliyon,* 9(5).

Balana, B., & Oyeyemi, M. (2020). Credit Constraints and Agricultural Technology Adoption: Evidence from Nigeria. *Intl Food Policy Res Inst*. (Vol. 64)

Balana, B., Mekonnen, D. K., Haile, B., Hagos, F., Yiman, S., & Ringler, C. (2020). Are Smallholder Farmers Credit Constrained? Evidence on Demand and Supply Constraints of Credit in Ethiopia and Tanzania. *Intl Food Policy Res Inst*. (Vol. 1974)

Barrera-Perales, O. T., & Burgos, A. L. (2023). Conceptual Distinction between Agricultural Innovation and Rural Innovation: Implications for Scientific Research and Public Policy. *Innovation and Development*, 13(3), 471-492.

Birhanu, M. Y., Osei-Amponsah, R., Yeboah Obese, F., & Dessie, T. (2023). Smallholder Poultry Production in the Context of increasing Global Food Prices: Roles in Poverty Reduction and Food Security. *Animal Frontiers*, 13(1), 17-25.

Bjornlund, V., Bjornlund, H., & Van Rooyen, A. F. (2020). Why agricultural production in sub-Saharan Africa remains low compared to the rest of the world–a historical perspective. International Journal of Water Resources Development, 36(sup1), S20-S53.

Chiaka, J. C., Zhen, L., Yunfeng, H., Xiao, Y., Muhirwa, F., & Lang, T. (2022). Smallholder farmers contribution to food production in Nigeria. Frontiers in Nutrition, 9, 916678.

Dibisa, T. T. (2023). Exploring the Association between Poverty, Livelihoods, Institutions, and Sustainable Community Development. A Conceptual Analysis. *Review of Business and Economics Studies*, 11(3), 68-77.

Diyaolu, C. O., & Folarin, I. O. (2024). The Role of Biodiversity in Agricultural Resilience: Protecting Ecosystem Services for Sustainable Food Production. *International Journal of Resources and Public Review*, 5(10), 1560-1573.

Drall, A., & Mandal, S. K. (2025). Does Non-Farm Income Raise Farm Productivity? New Evidence from India. *The Journal of Development Studies*, 61(9), 1526-1547.

Fan, S., & Rue, C. (2020). The role of smallholder farms in a changing world. In The role of smallholder farms in food and nutrition security (pp. 13-28). Cham: Springer International Publishing.

Giller, K. E., Delaune, T., Silva, J. V., van Wijk, M., Hammond, J., Descheemaeker, K., ... & Andersson, J. A. (2021). Small farms and development in sub-Saharan Africa: Farming for food, for income or for lack of better options? Giller et al. Food Security, 13(6), 1431-1454.

Gitau, K., Gitumu, D. M., Chilambe, P. A., Koech, G. J., Gamoyo, M. J., Milimo, H., ... & Niza, B. (2025). Supporting smallholder farmer resilience with weather advisory information.

Gumbi, N., Gumbi, L., & Twinomurinzi, H. (2023). Towards sustainable digital agriculture for smallholder farmers: A systematic literature review. Sustainability, 15(16), 12530.

Hoang, H. G., & Nguyen, D. T. (2023). Factors Influencing the Adoption of Improved Rice Varieties: A Case of Smallholder Farmers in Quang Dien District of Vietnam. *International Journal of Social Economics*, 50(2), 227-241.

Jayne, T. S., & Sanchez, P. A. (2021). Agricultural productivity must improve in sub-Saharan Africa. Science, 372(6546), 1045-1047.

Jilito, M. F., & Wedajo, D. Y. (2020). Trends and challenges in improved agricultural inputs use by smallholder farmers in Ethiopia: A review. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 8(11), 2286-2292.

Kaur, R., & Watson, J. A. (2024). A Scoping Review of Postharvest Losses, Supply Chain Management, and Technology: Implications for Produce Quality in Developing Countries. *Journal of the ASABE*, 67(5), 1103-1131.

Kumar, S. (2025). Innovations in Agricultural Inputs and Services Markets in India: a pathway to sustainable agricultural growth. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 80(1), 91-112.

Makate, C. (2020). Local Institutions and Indigenous Knowledge in Adoption and Scaling Of Climate-Smart Agricultural Innovations among Sub-Saharan Smallholder Farmers. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12(2), 270-287.

Maru, H., Haileslassie, A., Zeleke, T., & Esayas, B. (2021). Analysis of Smallholders' Livelihood Vulnerability to Drought across Agroecology and Farm Typology in the Upper Awash Sub-Basin, Ethiopia. Sustainability, 13(17), 9764.

Mbatha, B. (2024). Diffusion of innovations: How adoption of new technology spreads in society. In Information, knowledge, and technology for teaching and research in Africa: Human machine interaction and user interfaces (pp. 1-18). Cham: Springer Nature Switzerland.

Minhans, K., Sharma, S., Sheikh, I., Alhewairini, S. S., & Sayyed, R. (2025). Artificial Intelligence and Plant Disease Management: An Agro-Innovative Approach. Journal of Phytopathology, 173(3), e70084.

Nguyen, T. P., Nguyen, D. K., & Truong, Q. D. (2025). How Does Climate Shock Affect Technology Adoption in Rice Production? *Agricultural Economics/Zemědělská Ekonomika*, 71(1).

Nwankwo, C. U., Ikehi, M. E., Ejiofor, T. E., & Ifeanyieze, F. O. (2024). Successive national agricultural policies/programmes, growth of gross domestic product (GDP) and expansion of agribusinesses in Nigeria. Plos one, 19(2), e0291999.

Nyambo, P., Nyambo, P., Mavunganidze, Z., & Nyambo, V. (2022). Sub-Saharan Africa Smallholder Farmers Agricultural Productivity: Risks and Challenges. In Food Security for African Smallholder Farmers (pp. 47-58). Singapore: Springer Nature Singapore.

Odusola, A. (2021). Case studies from Africa. In Africa's Agricultural Renaissance: From Paradox to Powerhouse (pp. 237-303). Cham: Springer International Publishing.

Rizzo, G., Migliore, G., Schifani, G., & Vecchio, R. (2024). Key Factors Influencing Farmers' Adoption of Sustainable Innovations: A Systematic Literature Review and Research Agenda. *Organic Agriculture*, 14(1), 57-84.

Siphesihle, Q., & Lelethu, M. (2020). Factors Affecting Subsistence Farming In Rural Areas of Nyandeni Local Municipality in the Eastern Cape Province. *South African Journal of Agricultural Extension*, 48(2), 92-105.

Sithole, A., & Olorunfemi, O. D. (2024). Sustainable Agricultural Practices in Sub-Saharan Africa: A Review of Adoption Trends, Impacts, and Challenges among Smallholder Farmers. *Sustainability*, 16(22), 9766.

Union, A. (2024). Post-Malabo Agenda Development: Technical Working Group Reports.

Vernooy, R., Adokorach, J., Gupta, A., Otieno, G., Rana, J., Shrestha, P., & Subedi, A. (2024). Promising Strategies to Enhance the Sustainability of Community Seed Banks. *Sustainability*, 16(19), 8665.

Woodhill, J., Hasnain, S., & Griffith, A. (2020). What Future for Small-Scale Agriculture. Environmental Change Institute, University of Oxford: Oxford, UK.

Workalemahu S., & Dawid I. (2021). Smallholder Farmers' Adaptation Strategies, Opportunities and Challenges to Climate Change: A Review. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 5(4).

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

INFLUENCE OF DIFFERENT PLANT SPACING ON INSECT PESTS INFESTATION AND YIELD OF AMARANTHUS HABRIDUS IN MAKURDI, NIGERIA

Atsehe Iorlumun Innocent
Department Of Crop And Environmental Protection, Joseph Sarwuan Tarka University Makurdi
ORCID: 0009-0005-0783-5830

ABSTRACT
Amaranthus species are important vegetable crops cultivated and consumed daily in Nigeria and many countries around the world. Unfortunately, insect pests are a major setback for commercial production and for the purpose of food security in the country. A field experiment was conducted at Teaching and Research, farm Joseph Sarwuan Tarka University, Makurdi, Nigeria in 2023 cropping season to determine the influence of plant spacing on insect pest infestation and yield of *Amaranthus hybridus* L. The experiment was laid out in a Randomized complete block design with seven treatment 10 × 10 cm, 20 × 20 cm, 30 × 30 cm, 40 × 40 cm, 50 × 50 cm, 60 × 60 cm and 70 × 70 cm (Spacing cm) and four replicates. Data collected on insect identification, number of insect per plot, category of insect, number of damaged plant per plot, number of damaged leaves per plant and damaged leaf area per plant were subjected to analysis of variance and mean values were separated using Duncan's New Multiple Range test at 5% level of probability. The results showed that Amaranthus hybridus with narrow spacing was attacked more than at wider spacing, and 70 × 70 cm plant spacing was also found to be the most effective in reducing insect pest infestations. Spacing of 50 × 50 cm and above were also found to perform better compare with the lower spacing. Therefore, the use of minimum plant spacing of 50 × 50 cm was recommended for the insect pest reduction and for good growth and yield performance of *Amaranthus hybridus* L. in Makurdi, Benue State, Nigeria.
Keywords: *Amaranthus hybridus*, Spacing, Pests, Infestation, Yield .

INTRODUCTION
Amaranth is a fast pseudo cereal that can grow in arid environments and on depleted soils where conventional cereals cannot grow (Ahmed *et al*., 2022). Amaranth has a strong capacity for efficient water utilization in addition to its environmental hardiness, and it is also an international annual or transient perennial plant (de, Aguuiar *et al*., 2022). There are reports of considerable mineral and bioactive chemical concentrations in amaranth species (Ayala-Nino *et al*., 2022). Therefore, it is said that diversifying underutilized crops offers untapped potential for Africa and can help with sustainability, food security, combating poverty, and hunger (Wudil *et al*., 2022). Amaranths is used for many purposes, it seeds is used for preparation of a local beverage, cooked seeds are added into porridge, and Amaranth is also used to make an alcoholic drink, unleavened bread and a thin porridge for babies and mothers who recently gave birth (Emire and Arega 2012).
Amaranths are susceptible to damage by foliar insect pests and diseases such as aphids (*Aphis* spp.), leaf worms (*Spodoptera* spp.), leaf rollers (*Sylepta derogota*), leaf miners (*Liriomyza* spp.), spider mites (*Tetranychus* spp.), stem boring weevils (*Hypolixus haereus*), bugs (*Asparia armigera*) (Richard, 1989; Okunlola *et al.,* 2008). The use of synthetic insecticides poses health risk and result in environmental pollution (Ali *et al*., 2022).

Consumers of vegetables may be at risk from pesticide residues. However, cultivation by farmers to improve yield and growth is hampered by a lack of insect control practices and knowledge of the crop. An understanding of the response of vegetable amaranths to plant spacing could be crucial for maximizing yield, growth and insect pest management in amaranth production. Thus, the study was carried out to determine the influence of plant spacing using different intra-row spacing on insect pest infestation and yield of *Amaranthus hybridus*. L.

MATERIALS AND METHOD

The experiment was conducted during the cropping season (July-December, 2023) at the teaching and research farm of Joseph Sarwuan Tarka University Makurdi, Benue State, Nigeria. The location of the study area was within latitude 7^0 44 N and longitude 8^0 35 E at an altitude of 22 m above the sea level in a sandy loam soil (no waterlogged) within the southern guinea savannah agro ecological zone. Seeds for the experiment were obtained from the seed bank of the Department of Crop and Environmental Protection, Joseph Sarwuan Tarka University Makurdi, Benue State, Nigeria.

Experimental Procedures

The experiment was seven treatments replicated four times. Transplanting of seedling from nursery was done at four weeks after sowing using a ball of earth method between 6: am-7 am in the morning to avoid transplanting shocks. Holes were dug on the bed using the spacing listed above and planting were done, beds were mulch with rice hills to conserve moisture and suppress weeds, harvest was done at 6 weeks after transplanting at the early morning hours to reduced water loss.

Nursery

The nursery was prepared 25 cm high on flat bed for seedling production for the *Amaranthus* variety used. *Amaranthus* seed were mixed with sand at the ratio of 1g seed to 100g sand in other to obtain uniform seed distribution, mulching was done immediately after broadcasting with rice hill. (AVRDC,2013). Beds were watered daily by 5:00-6:00 pm in the evening to maintain vigorous plant growth, over watering was prevented to avoid nutrient leaching and disease development.

Data Collection

The following observations were recorded during the conduct of the experiment at 2, 4, 6 and 8 weeks after transplanting (WAT). Identification of insect found on the plant, number of insect per plant, category of insect, number of damaged leaves per plant, damage leaf area per plant, plant height, number of leaves per plant, number of branches per plant, fresh weight per plot and Shoot dry matter weight; The shoot dry matter weights were done by oven drying and weighing of 10 Samples per plot at 8WAT

Statistical Analysis

Data on insect count were transformed subjected to Analysis of Variance (ANOVA). Means were separated using Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT) at 5% level of probability .

RESULTS

Spacing Amaranths at 10 cm× 10 cm apart was observed to suffered serious insect pest attack, crop at 70 cm × 70 cm apart had the lowest insect pest's attack. The highest insect pest populations recorded under spacing of 10 cm x 10 cm could be due to their closed crop canopy and density which attracted more insect pests to feed on it. *Pyrogomorpha conica, Attractomorpha crenulate, Spodoptera litura , Hypolixus trancatulus* made incisions, holes and distortion on leaves of *Amaranthus* leading to feeding incisions, holes and distortions on leaves (Table 1).

Table 1: Insect species encountered and nature of damage they caused on *Amaranthus habridus* at Makurdi, Nigeria

Scientific name	Order	Family	Pest stage	Severity
Pyrogomorpha conica	Lepidoptera	Pyromorphidea	Adult	Very severe
Attractomorpha crenulate	Orthoptera	Pyromorphidea	Adult	Very severe
Spodoptera litura	Lepidoptera	Noctuidae	Adult	Severe
Hypolixus tracatulus	Coleoptera	Curlionidae	Adult	Mild

Severity rating: Very severe = >70 % of plant in the control plot were damaged
Severe = 50 -69 % crop damaged
Mild = 1 - 19 % damaged

The populations of Amaranths leaves damaged due to insect attack are presented in Table 2. The results showed that the spacing of 10 cm × 10 cm suffered more insect pests attack than the remaining spacing. A spacing of 70 cm × 70 cm had significantly ($P<0.001$) the lowest insect pests attack during the study period in the study area. . Spacing Amaranths at 20 cm × 20 cm apart was observed to suffered serious insect pest attack followed closely by 30 cm × 30 cm.

Table 2: Effect of spacing on insect-induced damaged on leaves of *Amaranthus hybridus* L. at Makurdi, Nigeria

Spacing (cm)	2WAT	4WAT	6WAT	8WAT
10 × 10 cm	28.00a	59.00a	73.25a	83.25a
20 × 20 cm Control)	24.50b	55.75a	60.00b	69.00b
30 × 30 cm	21.50bc	45.25b	52.00c	59.50c
40 × 40 cm	19.00cd	42.75b	44.25d	52.00d
50 × 50 cm	17.00d	33.25c	39.00d	57.50d
60 × 60 cm	15.50de	23.75d	30.00e	39.75e
70 × 70 cm	12.75e	20.00d	25.00e	33.00f
P-Value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Means with the same letter alphabet are not significantly differently from each other ($P<0.05$. DNMRT) WAT= Weeks after transplanting.

Study showed that leaf area increased significantly ($P < 0.001$) with closest plant spacing (Table 3). The widest leaf area values were obtained from the closest plant spacing 10 cm × 10 cm being significantly ($P < 0.001$) different from all other plant spacing treatments in both replicates of leaf area per plant. Plant spacing of 70 cm × 70 cm produced the narrowest leaf area weeks after transplanting (WAT).

Table 3: Effect of spacing on insect-induced damage on damaged leaf Area (cm^3) of *Amaranthus hybridus* L. at Makurdi, Nigaria

Spacing (cm)	2WAT	4WAT	6WAT	8WAT
10 × 10 cm	28.00a	59.00a	73.25a	83.25a
20 × 20 cm (control)	24.50b	55.75a	60.00b	69.00b
30 × 30 cm	21.50bc	45.25b	52.00c	59.50c
40 × 40 cm	19.00cd	42.75b	44.25d	52.00d
50 × 50 cm	17.00d	33.25c	39.00d	57.50d
60 × 60 cm	15.50de	23.75d	30.00e	39.75e
70 × 70 cm	12.75e	20.00d	25.00e	33.00f
P-Value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Means with the same letter alphabet are not significantly differently from each other (P<0.05. DNMRT) WAT= Weeks after transplanting.

Data in Table 4 showed that the Amaranths plant spacing had a high effect on population of damaged plant, especially spacing of 10 cm × 10 cm, 20 cm × 20 cm and 30 cm × 30 cm. The *Amaranthus* plants in narrow spacing (10 cm × 10 cm spacing) possessed high numbers of damaged plant as a result of insect pests attack, The lowest numbers of the plant damaged due to incidence of pest on Amaranthus plant were recorded on plant spacing (40 cm × 40 cm ,50 cm × 50 cm , 60 cm × 60 cm and 70 cm × 70 cm). In contrast plant spacing of 10 cm × 10 cm at 8 WAT, recorded high numbers damaged plant. That was 6.75. Meanwhile, the lowest rate of damaged plant was recorded on spacing of (wider plant spacing, 70 cm x 70 cm), where it was 2.25.

Table 4: Effect of spacing on insect-induced damage on number of damaged plant *Amaranthus hybridus* L. at Makurdi, Nigeria

Spacing (cm)	2WAT	4WAT	6WAT	8WAT
10 × 10 cm	2.50a	4.00a	5.75a	6.75a
20 × 20 cm (control)	2.00ab	2.50b	4.75b	5.25b
30 × 30 cm	2.00ab	2.50b	4.50b	4.75b
40 × 40 cm	1.50bc	2.25bc	3.50c	4.50b
50 × 50 cm	1.00c	1.75bcd	2.50d	3.50c
60 × 60 cm	1.00c	1.50cd	2.25d	3.50c
70 × 70 cm	0.25d	1.25d	1.75d	2.25d
P-Value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Means with the same letter alphabet are not significantly differently from each other (P<0.05. DNMRT) WAT= Weeks after transplanting.

Data shows that the growth of plant is affected by insect pest as spacing of 10 cm × 10 cm has lower growth rate. The highest numbers of green amaranths growth rate were recorded on spacing 40cm × 40cm, 50cm × 50cm, 60cm × 60cm and 70cm × 70cm.

Statistical analysis revealed significant variations among the plant spacing, present data revealed that variation of plant spacing on the insect pest infestation reduced the growth and yield of plant. The total biomass of green amaranth shoot and root ranged from 4.250 g to 1.675 g, with high weight in wide spacing while 2.700 and 1.475 has lowest weight due to wide spacing. (Table 5).

Table 5: Effect of spacing on insect-induced damaged on Shoot and Root Biomass (kg/plot) *Amaranthus hybridus* L. at Makurdi, Nigeria

Spacing (cm)	Shoot	Root
10 × 10 cm	2.70e	1.22b
20 × 20 cm (control)	3.10de	1.75a
30 × 30 cm	3.35cd	1.57a
40 × 40 cm	3.70bc	1.67a
50 × 50 cm	3.95ab	1.60a
60 × 60 cm	4.12ab	1.60a
70 × 70 cm	4.25a	1.57a
P-Value	<0.001	0.077

Means with the same letter alphabet are not significantly differently from each other (P<0.05. DNMRT) WAT= Weeks after transplanting.

DISCUSSION

The insects observed on the field were slant faced grasshopper (*Attractomorpha crenulate*), grasshopper (*Pyrogormorpha* spp), cutworm (*Spodoptera litura*), Amaranths stem weevil (*Hypolixus trancatulus*) and this agrees with the findings of (Aslam *et al.*, 2000, Ashfaq, M. and Aslam, M. 2001 and Sattar *et al.*, 1984. The results from this study show the diversity in the number of insect species associated with Amaranth plant in Makurdi, Nigeria. Throughout the period of the study, all insect species except *Hypolixus trancalitus* caused severe damage to the plant. These insects could therefore classified as serious pests (Wigglesworth, 2012). This result concurs with the findings from similar survey carried out in different parts of Nigeria (Aderolu *et al*., 2013, Akinlosotu , 1977). The result from this study also revealed a change in the population of insect pest of amaranths plant with a high significance difference of (P<0.001). spacing significantly affect the population of the insect pests in the experiment. At the lowest spacing 10 cm × 10 cm, Amaranths population density was high, this resulted into a higher insect population since there was increase in the amount of food available for the insects to feed upon. However, at higher spacing especially at 70 cm × 70 cm, there was a reduction in the amaranths population and subsequently a reduction in the availability of food which resulted into a lower insect population recorded in the plot. Similar trend was reported by Soroja and Raju in 1982. Furthermore, previous study by Asiwe *et al.,* (2004) revealed that, the severity of damage on plants by insect infestation increased with reduction in plant spacing. Damage on the leaves, stem or flower head contributed to the reduction in total yield. Seed yield and seed weight increased with fewer insects occurrence as plant spacing increased, this is in line with the findings of Victor and Reuben in 2000.

Spacing Amaranths at 10 cm × 10 cm apart was observed to suffered serious insect pest attack followed closely by 20 cm × 20 cm. Spacing the crop at 70 cm × 70 cm apart had the lowest insect pests attack. The highest insect pest populations recorded under 10 cm × 10 cm could be due to their crop physiology and taste which attracted more insect pests to feed on it (Richard, 1989; Rodriquez, 1997; Youdeowei, 2004; Geoff *et al*., 2007).

The highest insect pest populations recorded under Amaranths spaced at 10 cm × 10 cm and 20 cm × 20 cm could be due to the close canopy these spacing had, which encouraged the feeding activity of the insect pests (Makus, 1990). AVRDC (2003) reported that closely spaced vegetables and horticultural crops suffer more from insect pests attack due to the conducive environment which they provide for the insect and consequently a favourable and productive shelter for the insect pests and thus make it easier for the pest to find its food near on the host plant (Sorensen, 1995; Hein, 2003). There was significant difference between insect pest population infestations on amaranths and spacing.

Crop spacing is very important in crop growth and performance. Well-spaced crops were found to grow well and yield much better than close-spaced crops (Fayemi, 1999). Sparles and Liu (2001) reported that closely spaced vegetables do not grow well due to overcrowding, nutrient deficiency and insect pests attack. Amaranths crops spaced at 10 cm × 10 cm and 20 cm × 20 cm apart had lower number of leaves branches and short sterns because insect pests fed on them and their population did not allow the crops to grow vigorously and there was high competition on nutrients (Palada and Chang, 2003; Okpara *et al*., 2013).

The higher growth of the Amaranths and consequent high fresh weight recorded in 70 cm × 70 cm might be due to the adequate space provided to the crops which helped the crops to grow vigorously and tolerated the attack of the insect pests (Booth, 1983; Palada and Chang, 2003). A significant variation was observed on plant height in spacings. The maximum plant height was recorded in 70 × 70 cm (89.42) whereas, the minimum plant height was recorded in 10 × 10 cm (6.05cm). Similar results were obtained by Pandita *et al.* (1994) and Sharma *et al*. (2016). They stated that closure spacing limits the availability of space for lateral growth, resulting in increased plant height. The interaction effect on plant height was found to be significant. The effect of spacing on number of leaves of amaranthus was found to be significant. The maximum number of leaves were recorded in 70 cm × 70 cm (150.75) whereas, the minimum number of leaves were recorded in 10 × 10 cm (34.50). intra row spacing show significant effect on the number of leaves per plant ($P<0.001$). Similar results were reported by Prasad (2020). The maximum number of leaves might be due to maximum nodes produced because of favourable climatic conditions prevailing during the season of sowing and availability of enough space for vertical as well as horizontal expansion of the plant in wider spacing than in the closer spacing. Similar trends with respect to sowing time, spacing and interaction have been obtained by Lavanya *et al*. (2017). Increasing density decreases water availability for plants and plants encounter water deficiency and thus yield decreases, Brahim *et al*. showed density effect on growth and yield of *Lesquerella fendleri*. Increasing density reduced the number of branches per plant, number of seeds per plant, grain yield and harvest index.

Plant biomass, as indicated in dry matter of organs of the plant, was reduced significantly spacing variation. The maximum plant weight of amaranthus was observed in 70 × 70 cm (5.825, 4.250, 1.675 g) whereas, the minimum plant weight was recorded in 10 × 10 cm (3.925, 2.700, 1.475 g). The maximum weight of plant may be attributed due to the congenial climatic conditions available in the season. The similar variation in plant weight was reported by Amur *et al*. (2019). The spacing shows significant effect on plant weight of amaranth due to the congenial climatic conditions available in the season as well availability of nutrient, sunlight and space was more as in wider spacing as compared to other spacing which resulted in highest weight of the *Amaranthus* plant.

CONCLUSION

Amaranth production like other economic crops is faced with diverse set-backs of which insect pests is paramount. Introducing planting space will reduce the population of insects as well as reduce damage which will decrease the yield and growth of the crop. At lower spacing 10 cm × 10 cm, insect population was higher, due to higher density of the plant and this resulted into higher damage done to the plant and a reduction in the yield and growth but the reverse occurred at a higher plant spacing of 70 cm × 70 cm in both spacing of trial. The present study showed that Amaranthus species suffer various insect pest's attack. A. Spacing of 10 cm × 10 cm was found to be attacked by the insect pests than the other species during the same period of crop spacing. It was also shown that 70 cm × 70cm had the lowest insect pest attack and consequently had the best crop performance during the study period.

RECOMMENDATION

For effective control of insect pests of Amaranthus without synthetic chemicals which posed serious chemical residue on Amaranth which result to human and animal toxicity, the use of cultural practices such as correct plant spacing (Wide spacing) is highly recommended and therefore farmers should adopt the practice since it's cheap, affordable and easy to practice.

REFERENCES

Aderolu, I. A., Omooloye, A. A., Okelana, F. A. (2013) .Occurrence, Abundance and Control of the Major Insect Pests Associated with Amaranths in Ibadan, Nigeria. *Entomology, Ornithology and Herpetology*, 2: 112.

Ahmed, A., Akram, Q., Naz, W., Akhtar, S., Amjad, I., Ashraf, M., and Mahmood, N. (2022). possible revolutionary substitute to wheat: a review on nutrient rich and healthy diet development by pseudo cereals. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*, 2022 (1).

Akinlosotu, T.A. (1977). A checklist of insects associated with local vegetables in Southwest Nigeria. Research Bulletin, IAR and T. Ife. 5:18- 23.

Ali, S. N., Rafique, N., Akhtar, S., Taj, T., and Mehboob, F. (2022). Analysis of multiple pesticide residues in market samples of okra and associated dietary risk assessment for consumers. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (31), 47561-47570.

Ashfaq, M and Aslam, M. (2001). Resistance of different Sunflower (Helianthus annuls L.) genotype against the attack of *Aphis gossypii* Glover, *Nezera viridula* (L.) and *Trips tabaci* Lind, in field. *Journal of Biological Sciences* 1:941-945.

Aslam, M., Suleman, N., Riaz, A., Rehman, A and Zia, Q. (2000). Insect Pests found on Helianthus annus L. (Compositae) in the Potophar region of Pakistan. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3:963-964.

Asiwe, J.A.N., Nook, S., Jackal L.E.N., and Ewete, F.K. (2004). Increased severity in Aphid Infestation with increased in Plant Spacing. *Journal of Crop Protection* Vol. 24: 465-467.

AVRDC (2003) progress report 2003. Asian vegetable Research and Development centre, Shanhua, Tainan, pp. 80-90.

Booth SA (1983). Crop protection in vegetables production. In service Training papers by Agricultural Extension and Research Liaison services, ABU, Zaria, pp. 1-12.

Dales MJ (1996). A review of plant materials used for controlling insect pests of stored products. NRI, Chatham Maritime, UK.

de Aguiar, A. C. M., Alberto da Silva, A., Mendes, K. F., & da Costa Lima, A. (2022). Genetically Modified Crops Resistant to Herbicides and Weed Control. In *Applied Weed and Herbicide Science* (pp. 255-290).

Emire, S. A., & Arega, M. (2012). Value added product development and quality characterization of amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) grown in East Africa. *African Journal of Food Science and Technology*, 3 (6), 129-141.

Fayemi P.O (1999). Nigerian vegetables. Heinaman Educational Book plc. Ibadan, Nigeria, pp. 57-59.

Hein, G.L. (2003). Insect management. United States Development for Agriculture. 268pp

Hinks C.F. (1976). Biosystematics of the genum Euxoa Lepidoptera: Noctuidae). V.Rearing procedures, and life cycles of 36species. AGRIS, 108 (12): 1345–1357.

James B, Atcha-Ahowe C, Godonou I, Baimey H, Georgen H. (2010). Integrated Pest Management in Vegetable Production: A guide for extension workers in West Africa. *International Institute of Tropical Agriculture* (IITA), Ibadan, Nigeria 120.

Losenge, T. (2005). Insect pest management for plant health: Population dynamics of Thrips in pure and mixed cropping. Proceedings of 5th Horticultural Seminar on Sustainable Horticultural production in the Tropics (p. 35). Njoro, Kenya: *Horticultural Association of Kenya.*

Navarajan AVP (2007) Insect Pests and their Management. Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India, 68.

Nigel S. 1980 Pest and Disease Control Handbook. Lovenham-Press Limited; Lavenhannem, UK: pp. 163–172.

Nigerian Federal Ministry of Agriculture and Natural Resources and the Overseas Development Administration of the British Government. Insect Pests of Nigerian Crops: Identification, Biology and Control. Natural Resources Institute; Chatham, UK: 1996. 253p.

NRC (1989). (National Research Council). Amaranth: Modern Prospects for an Ancient Crop. Report of an Ad Hoc Panel of the Advisory Committee on Technology Innovation Board on Science and Technology for International Development Office of International Affairs National Research Council. Washington, DC: National Academy Press. 96p.

Ofuya T.I. (2003) Beans, Insects and Man. The Federal University of Technology; Akure, Nigeria: 45p (Inaugural Lecture Series 35).

Ogah F.O., Nwilene F.E. (2017). Incidence of insect pests on rice in Nigeria: A review *Journal of Entomology*. 14:58–72.

Oke O.A., Odiyi C.A., Ofuya T.I. (2015) Insects associated with underutilized crop: Grain, leafy and ornamental Amaranth in Ibadan, *Nigeria Journal of Agricultural Ecology and Research* .2:145–155.

Oke O.A., Ofuya T.I., Odiyi C.A. (2016) Variability of resistance to *Cletus fuscescens* Walker (Coreidae: Heteroptera) in grain amaranth germplasm. *International Journal of Vegetable Science*. 22:48–57.

Oke, O. A. and T. I. Ofuya (2011). Relationship between population of *Cletus fuscescens* (Walker) (Hemiptera: Coreidae); Planting dates, Lines and Grain Amaranth (*Amaranthus* spp.) Phenology. *Journal of Entomology*, 8: 566-573.

Okunola A.I. (2009). Effect of mixed-cropping on field insect pests of leaf vegetables in southwest Nigeria *Advance Horticultural Science*. 23:259–262.

Okunlola AI, Ofuya TI, Aladesanwa RD (2008). Efficacy of plant extracts on major insect pests of selected leaf vegetables in south western Nigeria. *Nigeria Agricultural Journal*. 3:181-184.

Osawaru ME, Ogwu MC, Ahana CM. (2013) Current status of plant diversity and conservation in Nigeria. *Nigerian Journal of Life Sciences*.3(1):168-178.

Palada MC, Chang LC (2003). International co-operators guide suggested cultural practices for vegetable Amaranth. www.avrdc.org.

Parrella, M. P., Bethke, J. A. (1984). Biological studies of *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) on chrysanthemum, aster, and pea. *Journal of Economic Entomology*, 77(2):342-345.

Paredes-Lopez O, HernandezLopez D. 1992). Food properties of Amaranth seeds and methods for starch isolation and characterization. In: Linskens H-F, Jackson JF, editors. Seed Analysis. Berlin: Springer-Verlag; 376p.

Picker, M., Griffiths, C. and Weaving, A. (2004). Field guide to insects of South Africa. South Africa: Struik Publishers. pp; 444.

Rajeshkanna, S., Sivaraga, N. and Mikunthan, G. (2017). Biology and management Of Amaranthus stem borer (*Hypolixusm truncatulus*) (Coleoptera: Curculionidae). Annals of Sri Lanka Department of Agriculture. 19: 258.

Richard, R.W. (1989). Studies of insects feeding on grain Amaranth in the mid west. *Journal of Kansas Entomology Society* ., 62(4): 440-448.

Sattar, A.,Ullah, K and Yousaf, M. (1984). Insect Pests of Sunflower in NWFP, Pakistan. *Journal of Agriculture Resources.* 5: 239-240.

Saethre M.G., Godonou I., Hofsvang T., Tepa-Yotto G.T., James B. (2011) Aphids and their natural enemies in vegetable agroecosystems in Benin. *International Journal of Tropical Insect Science*. 31:103–117.

Schmutterer H (2002) The Neem Tree, *Azadirachta indica A. Juss* and Othermeliaceous Plants Sources of Natural Products for Integrated Pest Management Medicine and Other Purposes. (2ndedn). Neem foundation, Mumbai, India, 892.

Shukla S, Bhargava A, Chatterjee A, Srivastava J, Singh N, Singh SP. (2006) Mineral profile and variability in vegetable amaranth (*Amaranthus tricolor*). *Plant Foods for Human Nutrition*. 61(1):23-28

Sithanantham, S., C. M. Matoka, M. Maundu, M. Jakari and S. G. Agomg (2004). Integrated crop protection research for sustainable production of Indigenous vegetable crops in Eastern Africa. Proceedings of 4th Horticultural Seminar on Sustainable Horticultural production in the Tropics (pp. 152-166). Njoro, Kenya: *Horticultural Association of Kenya*.

Smith FI, Eyzaguirre P (2007) African Leafy Vegetables: Their Role in the World Health Organization's Global Fruit and Vegetables Initiative. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development* 7(3).

Sorensen KA (1995). Insect pest of vegetables. North Carolina Agricultural Extension service AG-404.

Soroja, R.N AND Raja, N. (1982). Effect of nitrogen fertilizer levels and spacing on rice gall midge and leaf folder damage. IRRN. 7 (4) 10.

Sparle AN, Liu TX (2001). A key to common caterpillar pests of vegetables. Texas A and M University system. B-6110.

Stalknecht GF and Schulz-Schaeffer JR (1993). Amaranth rediscovered., pp. 211-218.

Stone LA, Lorenz K. 1984 The starch of *Amaranthus*–physicochemical properties and functional characteristics. Starch/Stärke. 36:232-237.

Suleiman M. (2006) Survey of some insect pests of cultivated vegetables in Ajiwa irrigation site of Katsina State, Nigeria. *International Journal of Innovative Science and Engineering Technology* 3:156–160.

Tara, J. S., M. Azam, S. Ayri, M. Feroz and V. V. Ramamurthy (2009). Bionomics of *Hypolixus truncatulus* (F) (Coleoptera: Curculionidae. Lixinae: Lixini) a major pest of *Amaranthus caudatus* L.*Munis Entomology and Zoology*. 4 (2) : 510 -518.

Tony-Odigie AE, Adekoya KO, Makinde SCO, Oboh BO, Ogunkanmi LA, Fowora MA. (2012) Assessment of genetic interspecies relationship among five selected Amaranthus species using phenotypic and RAPD markers. *International Journal of Botany*.8 (3):145-152.

Thomas M., Waage J. (1996) Integration of Biological Control and Host-Plant Resistance Breeding: A Scientific and Literature Review. CTA; Wageningen, The Netherlands: 99p.

Umeh, V. C., Waliyar, F., Traoré, S., Chaibou, I. M., Omar, B., & Detognon, J. (2001). Farmers' Opinions and Influence of Cultural Practices on Soil Pest Damage to Groundnut in West Africa. *International Journal of Tropical Insect Science*, *21*, 257-265.

Umeh V.C., Kuku F.O., Nwanguma E.I., Adebayo O.S., Manga A.A. (2002) A survey of the Insect Pests and Farmers' Practices in the Cropping of Tomato in Nigeria. Tropicultura. 20:181–186.

Uvah I.I.I., Coaker T.H. (1984). Effect of mixed cropping on some insect pests of carrots and onions. Entomol Exp. Appl. 1984; 36:159–167.

Walsh RA. (1993) *Amaranthus retroflexus.* In: Fire Effects Information System. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). Fort Collins, Colorado, United States; Available from: https://www.fs.fed.us/database/feis/ plants/forb/amaret/all.html.

Wigglesworth,V.B.(2012).Insect.Availableat:http://www.britannica.com/EBchecked/topic/28901/insect.

Wudil, A. H., Usman, M., Rosak-Szyrocka, J., Pilař, L., & Boye, M. (2022). Reversing years for global food security: a review of the food security situation in sub-saharan africa (ssa). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (22), 14836.

Victor, T.J and Reuben, R. (2000). Effect of spacing on the population of mosquito immature in rice fields in Madurai, South Africa. *Indian Journal Molariol*. 37 (1- 2): 18-26.

Youdeowei, A. (2004). Integrated pest management practices for the production of vegetables. *Integrated pest management practices for the production of vegetables.*

Zakka U., Atijegbe S.R., Lale N.E.S., Kalu E.R. (2016) Effects of poultry manure and NPK fertilizer on the infestation of Musk Pumpkin (Cucurbita maxima) by insect pests. *International Journal of Plant Soil Science*. 11:1–8.

Zhang W., Kato E., Bianchi F., Bhandary P., Gort G., van der Werf W. (2018) Farmers' perceptions of crop pest severity in Nigeria are associated with landscape, agronomic and socio-economic factors. Agricultural Ecosyststem and Environment 259:159–167.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ÇOK-OYUNLU OYNANIŞ GRAFI TEMSİLİ VE KENAR-BAZLI DOĞRULANABİLİR SEVİYE ÜRETİMİ

Arş. Gör. Sezgin Güven SARI
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0009-0009-2379-9533

Prof. Dr. Celal ÖZTÜRK
Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü
ORCID ID: 0000-0003-3798-8123

ÖZET
Prosedürel oyun seviyesi üretiminde graf tabanlı temsiller, seviyenin görsel yerleşimi yerine oyuncunun hareket imkânlarını (oynanışı) modelleyebilmektedir; ancak literatürdeki graf temsilli çalışmalar tek bir oyunla sınırlı kalmış ve üretilen kenarların kaynak seviyede fiziksel olarak mümkün olup olmadığını sistematik biçimde doğrulamamıştır. Bu çalışmada, dört farklı platform oyunundan (Super Mario Bros, Lode Runner, Rainbow Islands, Kid Icarus; Video Oyun Seviye Korpusu'ndan (VGLC) toplam 199 seviye) ortak bir imkân (affordance) sözlüğüne dayanan, beş kenar tipini (yürüme, zıplama, tırmanma, düşme, destek) kaynak ızgaraya karşı ayrı ayrı doğrulayan bir oynanış grafı temsili önerilmiştir. Bu temsil üzerine kurulan bir parça-gramer üreticisiyle her oyun için 30'ar seviye üretilmiş; dört oyunun tamamında geçersiz kenar oranı sıfır olarak ölçülmüş ve üretilen 120 grafın hiçbiri korpustaki bir seviyenin birebir kopyası olmamıştır. Şablon-çifti düzeyinde yenilik oranı oyuna göre %72,2 ile %94,0 arasında değişmektedir. Kenar-farkında birleştirme kısıtının katkısı, kısıtın kapatıldığı bir ablasyon koluyla izole edilmiş ve farkların istatistiksel güvenilirliği Fisher'ın kesin testiyle sınanmıştır. Kısıt uçtan-uca oynanabilirlik oranını dört oyunun üçünde nominal olarak artırmakla birlikte, kol başına 30 seviyelik örneklem büyüklüğünde yalnızca Rainbow Islands'taki etki istatistiksel olarak anlamlıdır (0,033'ten 0,300'e, p=0,012); diğer oyunlardaki farklar bu örneklem büyüklüğünde sıfır etkiden ayırt edilememektedir. Geometriden habersiz, ön inceleme amaçlı basit bir özyinelemeli graf üretim ağı (GraphRNN) taban çizgisinin geçersiz kenar oranını oyuna göre %56,5–%66,8 aralığına çıkarması, önerilen kenar doğrulama protokolünün kural tabanlı ve öğrenilmiş üreticiler için ortak bir gereklilik olabileceğine işaret etmektedir.
Anahtar Kelimeler: Prosedürel içerik üretimi, oynanış grafı, oyun seviyesi üretimi, parça grameri, video oyun seviye korpusu (VGLC).

A MULTI-GAME PLAYABILITY GRAPH REPRESENTATION AND EDGE-VERIFIABLE LEVEL GENERATION

ABSTRACT
Graph-based representations in procedural game level generation can model a player's movement imkâns (playability) rather than the visual layout of a level; however, existing graph-based studies are limited to a single game and do not systematically verify whether the generated edges are physically realizable on the source level. This study proposes a playability graph representation for four different platform games (Super Mario Bros, Lode Runner, Rainbow Islands, Kid Icarus; 199 levels in total from the VGLC dataset), built on a shared imkân vocabulary and verifying five edge types (walk, jump, climb, fall, support) independently against the source karo grid.

A chunk-grammar generator built on this representation produced 30 levels for each game; the invalid-edge rate was measured as zero across all four games, and none of the 120 generated graphs was an exact copy of a corpus level. The novelty rate at the chunk-pair level ranges from 72.2% to 94.0% depending on the game. The contribution of the edge-aware stitching constraint was isolated through an ablation arm in which the constraint was disabled, and the statistical reliability of the differences was tested using Fisher's exact test. Although the constraint nominally increased the end-to-end playability rate in three of the four games, at a sample size of 30 levels per arm only the effect in Rainbow Islands is statistically significant (from 0.033 to 0.300, p=0.012); the differences in the other games cannot be distinguished from a null effect at this sample size. A simple, geometry-unaware GraphRNN baseline used for preliminary inspection raised the invalid-edge rate to between 56.5% and 66.8% depending on the game, indicating that the proposed edge verification protocol may be a shared requirement for both rule-based and learned generators.
Keywords: Procedural content generation, playability graph, game level generation, chunk grammar, video game level corpus (VGLC)

GİRİŞ

Mobil oyun geliştirme süreçleri; sınırlı insan kaynağı, kısa geliştirme süreleri ve sürekli güncellenmesi gereken içerik ihtiyacı gibi kısıtlar altında yürütülmektedir. Özellikle platform türü oyunlarda oyuncu ilgisinin sürdürülebilmesi için çok sayıda seviye tasarımına ihtiyaç duyulmakta, bu seviyelerin elle üretilmesi ise zaman ve maliyet açısından önemli bir yük oluşturmaktadır. Prosedürel içerik üretimi (PCG) yaklaşımları, içerik üretim sürecini otomatikleştirerek geliştiricilere önemli avantajlar sunmaktadır [1], [2]. Ancak rastgelelik temelli veya yetersiz denetlenen PCG yöntemleri, çoğu zaman oynanabilir olmayan ya da tasarım hedefleriyle uyumsuz içerikler üretebilmektedir. Üretim kalitesinin ve oynanabilirliğin doğrudan güvence altına alınmasını amaçlayan çekişmeli pekiştirmeli öğrenme tabanlı yaklaşımlar da bu ihtiyaca bir yanıt olarak önerilmiştir [3]. Bu durum, PCG sistemlerinde yalnızca içerik üretiminin değil, aynı zamanda üretim kalitesinin ve oynanabilirliğin de güvence altına alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Prosedürel içerik üretimi yöntemleri genel olarak arama tabanlı, kural tabanlı ve öğrenme tabanlı yaklaşımlar biçiminde sınıflandırılmaktadır [1]. Arama tabanlı yaklaşımlarda içerik, bir uygunluk fonksiyonu altında evrimsel veya metasezgisel bir arama süreciyle üretilmekte; bu yaklaşımın gücü, üretim hedefinin doğrudan amaç fonksiyonuna yazılabilmesinden kaynaklanmaktadır. Buna karşılık amaç fonksiyonunun eniyilenmesi, üretilen her bireyin geçerli olmasını tek başına güvence altına almamaktadır. Bu çalışmada oynanabilirlik bir amaç fonksiyonu olarak değil, üretim anında sağlanması zorunlu bir kısıt olarak ele alınmış; böylece üretilen içeriğin geçerliliği arama sonucuna bağlı kalmaksızın yapısal olarak güvence altına alınmıştır.

Literatürde yer alan PCG ve PCGML (Prosedürel İçerik Üretimi için Makine Öğrenmesi) çalışmalarının büyük bir bölümü, oyun seviyelerini ızgara temsilleri [4], dizi temsilleri [5] veya ızgara üzerinde öğrenilmiş gizli uzay temsilleri [10] üzerinden ele almakta; bu temsiller seviye topolojisi, dallanma yapıları, alternatif oynanış yolları ve erişilebilirlik ilişkileri gibi üst düzey yapısal bilgileri doğrudan modelleyememektedir. Oysa platform türü oyunlarda oynanış deneyimini belirleyen temel unsurlar, platformlar arası geçişler ve oyuncunun seviye içindeki hareket akışıdır. Graf tabanlı temsiller, içeriği düğümler ve bu düğümler arasındaki ilişkiler aracılığıyla ifade ederek bu yapısal bilgiyi açık biçimde modelleme imkânı sunmaktadır.

Ancak yapılan literatür taramasında, graf tabanlı bir temsil kullanan çalışmaların sayısının sınırlı olduğu görülmüştür. Doğrudan karşılaştırılabilir iki çalışma — Londoño ve Missura [6] ile Hauck ve Aranha [7] — tek bir oyuna (Super Mario Bros) odaklanmakta; çok-oyunlu bir korpus veya oyunlar-arası ortak bir temsil sunmamaktadır. Ayrıca bu iki çalışmanın hiçbiri, üretilen graf kenarlarının kaynak seviyede fiziksel olarak gerçekten mümkün olup olmadığını sistematik biçimde doğrulamamaktadır: Londoño ve Missura [6] çalışması devam eden bir çalışma olarak sunulmuş olup sistematik bir üretim değerlendirmesi içermemekte; Hauck ve Aranha [7] ise oynanabilirliği yalnızca ajan testleriyle nitel olarak değerlendirmiştir.
Bu çalışmanın somut katkıları şu şekilde özetlenebilir:
1. Dört farklı platform oyununun karo anlamları, oyuna özgü biçimde elle tanımlanmak yerine Video Oyun Seviye Korpusu'nun [8] kendi tanım dosyalarından türetilerek tek bir ortak imkân sözlüğüne eşlenmiştir.
2. Karo-başına-düğüm yaklaşımı yerine anlamlı-birim (platform/nesne) düğümleri kullanan ve beş kenar tipini kaynak ızgaraya ve tanımlanan hareket modeline karşı sistematik olarak doğrulayan bir oynanış grafı dönüştürücüsü geliştirilmiş; 199 seviyenin tamamında geçersiz kenar oranı sıfır olarak ölçülmüştür.
3. Bu temsil üzerine kurulan ve korpustan öğrenilen bir parça-gramer üreticisi tasarlanmış, üretilen seviyeler geçerlilik, yenilik ve çeşitlilik eksenlerinde rastgele bir taban çizgisine karşı değerlendirilmiştir.
4. Kenar-farkında birleştirme kısıtının katkısı ablasyon yöntemiyle izole edilmiş ve oyun bazında nicel olarak ölçülmüştür.
Bu çalışmada kurulan doğrulanabilir temsil ve sıfır-hatalı korpus, graf sinir ağı (GNN) tabanlı öğrenilmiş üretim yöntemleri için bir değerlendirme zemini oluşturmaktadır: önce doğrulanabilir bir temsil ve hatasız bir korpus kurulmuş, kural tabanlı bir üretici bu protokolün çalıştığını göstermek amacıyla kullanılmıştır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

A. Veri ve İmkân Eşlemesi

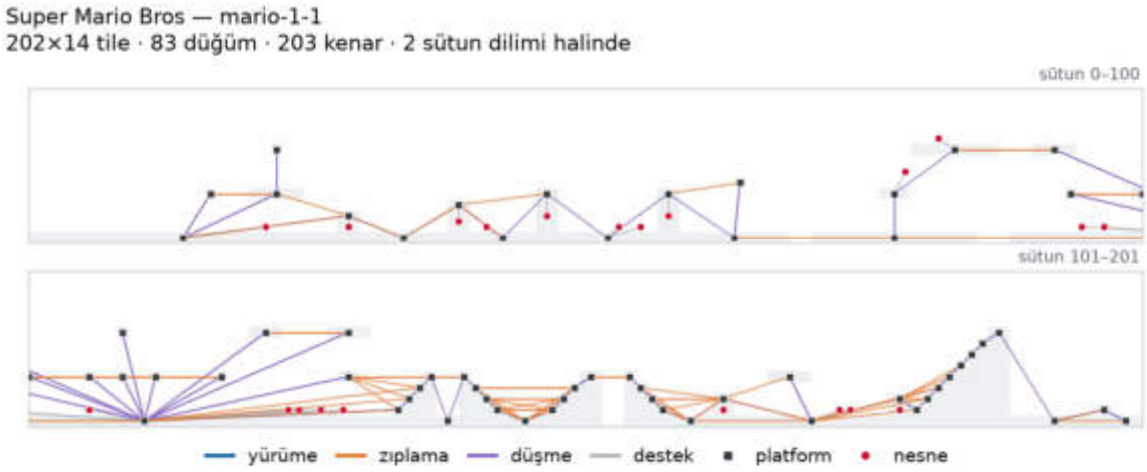
Video Oyun Seviye Korpusu [8] deposundan dört oyun kullanılmıştır: Super Mario Bros (15 seviye), Lode Runner (150 seviye), Rainbow Islands (28 seviye), Kid Icarus (6 seviye) — toplam 199 seviye. Her oyunun karo sözlüğü, VGLC'nin kendi tanım dosyalarından türetilen ortak bir imkân kümesine eşlenmiştir. Rainbow Islands için VGLC'de tanım dosyası bulunmadığından, karo sözlüğü doğrudan haritalanmış ve bu istisna kaynak sütununda ayrıca belirtilmiştir.

B. Oynanış Grafı Dönüştürücüsü

Karo-başına-düğüm yaklaşımı yerine anlamlı birimler kullanılmıştır: bitişik katı karolar tek bir “platform” düğümüne birleştirilmekte, nesneler kendi düğümlerini oluşturmaktadır. Beş kenar tipi tanımlanmıştır:
1. Destek kenarı (supports), bir platform üzerinde duran nesneyi o platforma bağlayan kenarı ifade etmektedir.
2. Yürüme kenarı (walk_reachable), aynı platform üzerinde yürüyerek erişilebilen komşu düğümler arasındaki geçişi tanımlamaktadır.
3. Zıplama kenarı (jump_reachable), zıplama yörüngesi şablonuyla tanımlanan hareket modeli altında test edilmiş ve zıplayarak erişilebilen düğümler arasındaki geçişi tanımlamaktadır. Söz konusu şablon, Super Mario Bros ve Kid Icarus için VGLC'nin kendi zıplama verisinden; Lode Runner ve Rainbow Islands için ise VGLC'de bu veri bulunmadığından parametrik bir varsayılan yörüngeden türetilmiştir (bkz. E. Sınırlılıklar).

4. Tırmanma kenarı (climb_reachable), merdiven veya ip gibi tırmanılabilir (climbable) karolar üzerinden erişimi ifade etmektedir.
5. Düşme kenarı (fall_reachable), düşerek erişilebilen düğümler arasındaki geçişi tanımlamaktadır.

Şekil 1'de örnek bir dönüştürülmüş oynanış grafı gösterilmektedir. Dönüştürücü 199 seviyenin tamamına uygulanmış ve otomatik bir doğrulama süreciyle denetlenmiştir. Doğrulama sonuçları Tablo 1'de sunulmaktadır:



Şekil 1. Super Mario Bros (mario-1-1) seviyesinin oynanış grafına dönüştürülmüş hâli.

Tablo 1. Oynanış Grafı Dönüştürücüsünün Dört Oyundaki Doğrulama İstatistikleri

Oyun	**Graf sayısı**	**Toplam kenar**	**Geçersiz kenar**	**İzole düğüm**
Super Mario Bros	15	2256	**0**	23
Lode Runner	150	27867	**0**	197
Rainbow Islands	28	4268	**0**	36
Kid Icarus	6	1739	**0**	32

Tablo 1'de görüldüğü üzere, dört oyunun tamamında geçersiz kenar oranı sıfırdır. Bu sonuç, ön inceleme amaçlı denenen basit bir GraphRNN taban çizgisinin ürettiği geçersiz kenar oranından büyük ölçüde farklıdır: düğümler arası göreli diziliş sırasından kenar üreten ve gerçek (x,y) geometrisinden habersiz olan bu taban çizgisi, oyuna göre %56,5–%66,8 aralığında geçersiz kenar üretmiştir (benzersiz kenar başına, komşuluk veya kenar-tipi kuralını ihlal eden kenar oranı olarak ölçülmüştür). Bu bulgu, ön çalışmada gözlemlenen bir eğilim olup kural tabanlı üreticiye geçiş kararında ve mevcut çalışmanın temsil ile doğrulama önceliğinde etkili olmuştur.

C. Parça-Gramer Üreticisi

Üretilen şeyin doğrulanabilir olması için kaynak ızgarayla bağının korunması gerektiğinden, gramerin terminal sembolü parça (chunk) olarak tanımlanmıştır: bir karo yaması ve o yamanın indüklediği alt-graf. Bu tasarım, dikey dilim (slice) birimlerini bir n-gram modeliyle zincirleyen Dahlskog vd. [9] ile karo-ızgara seviyesinde hiyerarşik Markov modelleri kullanan Snodgrass ve Ontañón [5] çalışmalarının izlediği "yerel-komşuluk zincirleme" geleneğinin 2 boyutlu graf-parçasına genellenmiş hâlidir.

Her oyunun seviyeleri ilerleme ekseni boyunca sabit genişlikte parçalara bölünmüş; üretim, parçaları yalnızca (a) karo sınırları uyumluyken VE (b) dikişten en az bir oynanış kenarı gerçekten geçtiğinde eklemektedir. Üretilen ızgara, korpustakiyle aynı dönüştürücüden ve aynı doğrulayıcıdan geçirilerek üretilenin geçerlilik oranının korpusla birebir karşılaştırılabilir olması sağlanmıştır.

D. Deneysel Sonuçlar

Her oyun için 30'ar seviye üretilmiş (toplam 120 üretilmiş graf), üç kol karşılaştırılmıştır: gramer (bağlantı kısıtlı üretici), kısıt kapalı (ablasyon; kenar-farkındalığı kaldırılmış kol) ve rastgele dizilim (taban çizgisi). Üç kolun tamamında geçersiz kenar oranı 0,0'dır. Dört oyunun tamamında üretilen 120 grafın hiçbiri korpustaki bir seviyenin birebir kopyası değildir. Şablon-çifti düzeyinde yenilik oranı oyuna göre değişmektedir: Super Mario Bros %94,0, Kid Icarus %90,9, Rainbow Islands %79,6, Lode Runner %72,2.

Değerlendirmede kullanılan ölçütler kesin olarak şu şekilde tanımlanmıştır. Uçtan-uca oynanabilirlik (end-to-end), üretilen grafta ilk parçadaki düğümlerden en az birinden son parçadaki düğümlerden en az birine, kenarlar üzerinden erişilebilir bir yol bulunup bulunmadığının ikili (0/1) göstergesidir; seviye başına tek bir değer alır ve kol ortalaması bu değerlerin oranı olarak hesaplanır. Dikiş-bağlantılılık oranı, parçalar arası her dikiş hattını kesen en az bir kenar bulunma oranıdır. Yapısal imza, bir grafın kenar-tipi dağılımı, ortalama düğüm derecesi ve izole düğüm oranından oluşan sayısal bir vektördür; korpus-stili uzaklığı, üretilen kolun ortalama yapısal imzasıyla korpusun ortalama yapısal imzası arasındaki L1 mesafesidir, çeşitlilik ise aynı kol içindeki seviye çiftleri arasındaki ortalama L1 mesafesidir. Şablon-çifti yenilik oranı, üretilen dizideki ardışık iki-parça pencerelerinin korpusta hiç görülmemiş olma oranıdır; birebir kopya oranı, üretilen bir seviyenin parça dizisinin bütünüyle korpustaki tek bir seviyenin dizisiyle eşleşme oranıdır.

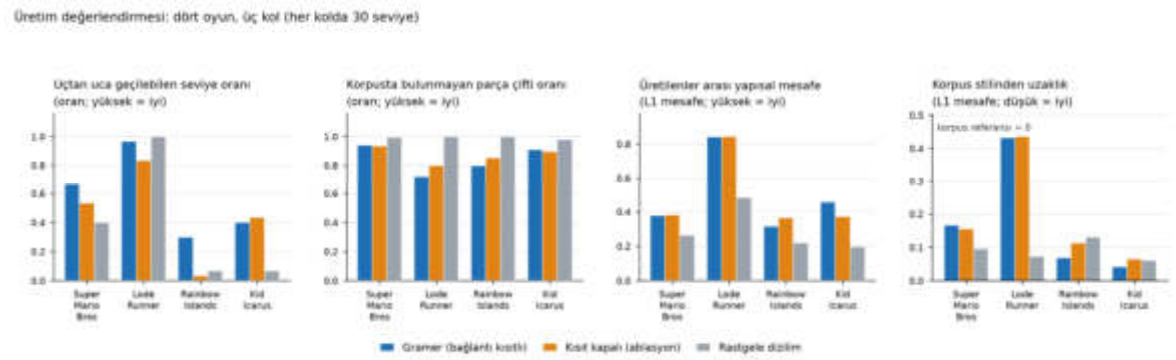
Kenar-farkında kısıtın uçtan-uca oynanabilirlik üzerindeki katkısı:

Tablo 2. Kenar-Farkında Birleştirme Kısıtının Uçtan-Uca Oynanabilirlik Oranına Katkısı (ablasyon karşılaştırması; kol başına n=30 üretilmiş seviye, anlamlılık Fisher'ın kesin testiyle değerlendirilmiştir)

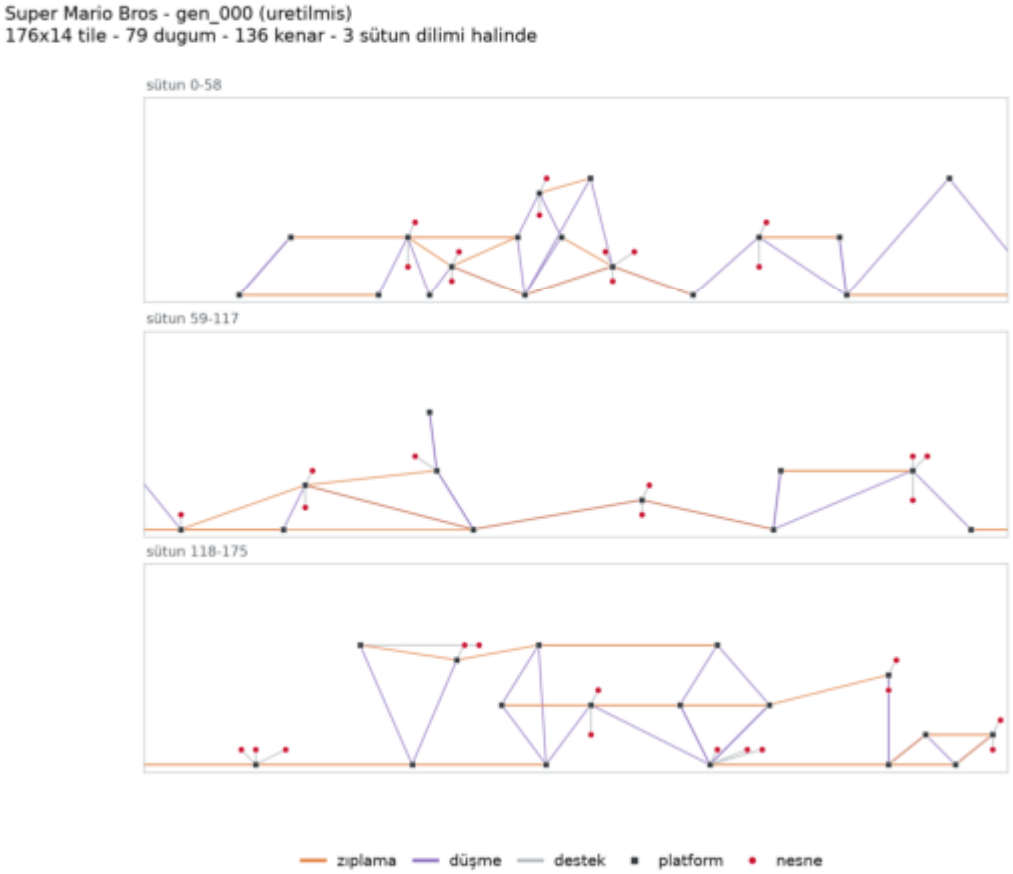
Oyun	Model	Ablasyon	Rastgele	Model−Ablasyon	p (Fisher kesin testi, n=30/kol)
Super Mario Bros	0,667	0,533	0,400	+0,133	0,430
Lode Runner	0,967	0,833	1,000	+0,133	0,195
Rainbow Islands	0,300	0,033	0,067	**+0,267**	0,012*
Kid Icarus	0,400	0,433	0,067	−0,033	1,000

Kısıt, dört oyunun tamamında uçtan-uca oynanabilirlik oranını nominal olarak değiştirmektedir, ancak bu farkın n=30/kol örneklem büyüklüğünde istatistiksel olarak güvenilir olup olmadığı Fisher'ın kesin testiyle ayrıca sınanmıştır (Tablo 2). Yalnızca Rainbow Islands'ta gözlenen etki istatistiksel olarak anlamlıdır (0,033'ten 0,300'e, p=0,012); Super Mario Bros (p=0,430) ve Lode Runner'daki (p=0,195) farklar bu örneklem büyüklüğünde sıfır etkiden ayırt edilememektedir ve tanımlayıcı gözlem olarak raporlanmaktadır. Kid Icarus'ta gözlenen küçük ters yönlü fark (0,433'ten 0,400'e) de istatistiksel olarak anlamlı değildir (p=1,000); bu oyunun en küçük korpusa (6 seviye) sahip olması nedeniyle bu farkı nedensel bir bulgu olarak yorumlamak yerine örneklem küçüklüğünün beklenen bir sonucu olarak ele almak daha doğrudur.

Ayrıca rastgele taban çizgisinin Lode Runner'da (1,000) modelden bile yüksek uçtan-uca oranı vermesi, bu oyunun yoğun ve yüksek en-büyük-bileşen oranlı graf yapısının rastgele birleştirmede bile bağlanabilirliği kolayca koruduğunu, dolayısıyla bu oyun için kısıtın marjinal faydasının küçük olduğunu göstermektedir. Şekil 2, dört değerlendirme ölçütü boyunca üç kolun karşılaştırmasını özetlemektedir.



Şekil 2. Dört oyun ve üç üretim kolu (gramer, kısıt kapalı, rastgele dizilim) için uçtan-uca oynanabilirlik, yenilik, yapısal mesafe ve korpus-stili uzaklığı karşılaştırması.Şekil 3, gramer kolunda üretilen bir örnek Super Mario Bros seviyesinin (79 düğüm, 136 kenar) oynanış grafını göstermektedir; bu örnek, Şekil 1'deki gerçek korpus seviyesiyle aynı temsille doğrudan karşılaştırılabilir.



Şekil 3. Gramer kolunda üretilen örnek bir Super Mario Bros seviyesinin oynanış grafı (176×14 karo, 79 düğüm, 136 kenar; sütun dilimleri hâlinde gösterilmiştir).

E. Sınırlılıklar

Rainbow Islands için VGLC'de tanım dosyası bulunmadığından karo-imkân eşlemesi doğrudan yapılmıştır. Lode Runner ve Rainbow Islands için zıplama şablonu VGLC'de tanımlı olmadığından parametrik varsayılan yörünge kullanılmış; bu, zıplama kenarlarının bu iki oyunda gerçek fizik motoruna değil bir yaklaşıklığa dayandığı anlamına gelmektedir.

Kenar geçerliliğinin kaynak ızgaraya karşı test edilmesi bir dairesellik riski taşımaz: doğrulayıcı, grafın kendi iddiasını değil kaynak ızgaranın fiziksel içeriğini (karo türü, boşluk, engel) referans alır; bu nedenle üretici hangi kenarı üretirse üretsin, o kenarın karşılık geldiği ızgara geçişi fiilen mevcut değilse geçersiz sayılır. Bununla birlikte bu doğrulama, dönüştürücünün kendi kural kümesi içinde kalan bir iç-tutarlılık testidir; grafın insan veya ajan oynanışıyla örtüştüğüne dair bağımsız bir kanıt değildir. Bu boşluğu kapatmak için VGLC'nin Super Mario Bros ve Kid Icarus için sağladığı, insan veya ajan oynayışından çıkarılmış gerçek rota etiketleri kullanılarak ayrı bir bağımsız doğrulama yapılmıştır. İki ölçüt hesaplanmıştır: rota bağlılığı, rotanın ardışık hücreleri arasında grafta bağlı bir yol bulunma oranıdır; düğüm kapsama oranı ise rota düğümlerinin graf düğümlerine düşme oranıdır. Super Mario Bros'ta (15 seviye) ortalama rota bağlılığı 0,952, düğüm kapsama oranı 0,621; Kid Icarus'ta (6 seviye) ise sırasıyla 0,933 ve 0,534'tür. Düğüm kapsama oranının %100'den düşük olması beklenen bir sonuçtur: rotanın kapsanmayan hücreleri büyük ölçüde zıplama yayının havadaki orta noktalarıdır (boş karo). Graf düğümleri platform ve nesnelerdir; havadaki geçiş hücreleri düğüm olarak değil, zıplama kenarının kendisi aracılığıyla temsil edilmektedir. Bu sonuçlar dönüştürücünün kendi kural kümesinden bağımsız bir kaynağa göre de büyük ölçüde tutarlı olduğunu göstermekte, ancak yalnızca VGLC'nin rota etiketi sağladığı iki oyunla sınırlı kalmaktadır.

Bu çalışmada GraphRNN, doğrulanabilir kural tabanlı üreticiyle karşılaştırılan bir taban çizgisi olarak değil, ön inceleme amaçlı basit bir uygulamayla sınanmıştır. Söz konusu uygulama, düğüm-tipi gömme katmanı ile geçitli yineleyen birim / uzun-kısa süreli bellek (GRU/LSTM) tabanlı bir kodlayıcı-çözücü kullanarak düğüm ve kenar tiplerini üretmeyi öğrenen küçük bir modeldir; 200 dönem eğitiminde düğüm-tipi doğruluğu yaklaşık 0,84, kenar-tipi doğruluğu yaklaşık 0,95'e ulaşmıştır. Bu modelin kritik bir sınırlılığı, düğümlerin bağımsız (x,y) geometrisini üretmemesidir: üretilen düğüm/kenar dizisi, gerçek seviyelerden alınan bir konum şablonu üzerine yerleştirilmektedir. Bu nedenle mevcut hâliyle GraphRNN uygulaması bağımsız bir seviye üreticisi değildir; bu çalışmada tanımlanan kenar-bazlı doğrulama protokolüyle doğrudan karşılaştırılabilir bir üretim yöntemi hâline gelmesi, geometri üretiminin de modele dâhil edilmesini gerektirir (bkz. SONUÇ).

SONUÇ

Bu çalışmada, dört farklı platform oyunu üzerinde ortak bir imkân sözlüğüne dayanan, kenar-bazlı, kaynak ızgaraya ve tanımlanan hareket modeline karşı sistematik olarak doğrulanabilir bir oynanış grafı temsili sunulmuştur. Bu temsil üzerine kurulan parça-gramer üretim protokolü, geçerlilik, yenilik ve çeşitlilik eksenlerinde nicel olarak değerlendirilmiştir. Literatür taramasında doğrudan karşılaştırılabilir iki çalışmanın da ([6], [7]) tek oyuna odaklandığı ve kenar-bazlı sistematik doğrulama sunmadığı görülmüştür. Sonuçlar, kural tabanlı bir üretici için dahi üretim protokolünün doğrulanabilir olmasının bu boşluğa katkı sunabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmanın doğrulanabilir temsili ve hatasız korpusu, sonraki adımda gerçek (x,y) geometrisiyle kısıtlanmış bir graf sinir ağı (GNN) veya GraphRNN [11] tabanlı üreticinin, aynı protokol altında kural tabanlı üreticiyle karşılaştırılması için bir temel oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] J. Togelius, G. N. Yannakakis, K. O. Stanley, C. Browne, "Search-based procedural content generation: A taxonomy and survey," IEEE Trans. Computational Intelligence and AI in Games, vol. 3, no. 3, pp. 172-186, 2011. doi: 10.1109/tciaig.2011.2148116

[2] N. Shaker, J. Togelius, M. J. Nelson, Procedural Content Generation in Games. Cham, İsviçre: Springer International Publishing, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-42716-4

[3] L. Gisslén, A. Eakins, C. Gordillo, J. Bergdahl, K. Tollmar, "Adversarial reinforcement learning for procedural content generation," 2021 IEEE Conference on Games (CoG), 2021. doi: 10.1109/cog52621.2021.9619053

[4] A. Khalifa, P. Bontrager, S. Earle, J. Togelius, "PCGRL: Procedural content generation via reinforcement learning," Proc. AAAI Conf. Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment, vol. 16, no. 1, 2020. doi: 10.1609/aiide.v16i1.7416

[5] S. Snodgrass, S. Ontañón, "Learning to generate video game maps using Markov models," IEEE Trans. Computational Intelligence and AI in Games, vol. 9, no. 4, 2017. doi: 10.1109/tciaig.2016.2623560

[6] S. Londoño, O. Missura, "Graph grammars for Super Mario Bros levels," Proc. FDG Workshop on Procedural Content Generation in Games, 2015.

[7] E. Hauck, C. Aranha, "Automatic generation of Super Mario levels via graph grammars," 2020 IEEE Conference on Games (CoG), 2020. doi: 10.1109/cog47356.2020.9231526

[8] A. J. Summerville, S. Snodgrass, M. Mateas, S. Ontañón, "The VGLC: The video game level corpus," Proc. 7th Workshop on Procedural Content Generation, 2016. arXiv:1606.07487

[9] S. Dahlskog, J. Togelius, M. Nelson, "Linear levels through n-grams," Proc. 18th Int. Academic MindTrek Conf.: Media Business, Management, Content & Services, 2014. doi: 10.1145/2676467.2676506

[10] V. Volz, J. Schrum, J. Liu, S. Lucas, A. Smith, S. Risi, "Evolving Mario levels in the latent space of a deep convolutional generative adversarial network," Proc. Genetic and Evolutionary Computation Conf., 2018. doi: 10.1145/3205455.3205517

[11] J. You, R. Ying, X. Ren, W. L. Hamilton, J. Leskovec, "GraphRNN: Generating realistic graphs with deep auto-regressive models," Proc. 35th Int. Conf. Machine Learning (ICML), 2018. arXiv:1802.08773

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

MODÜL-IOT: DEZAVANTAJLI BÖLGELERDE EĞİTİME ERİŞİMİ ARTIRAN MODÜLER VE KABLOSUZ STEM EĞİTİM KİTİ TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

Öğr. Gör. Muharrem BALCI
Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü
ORCID: 0000-0002-5478-1856

Prof. Dr. Ahmet ALKAN
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Lodz University of Technology, Institute of Electronics
ORCID: 0000-0003-0857-0764

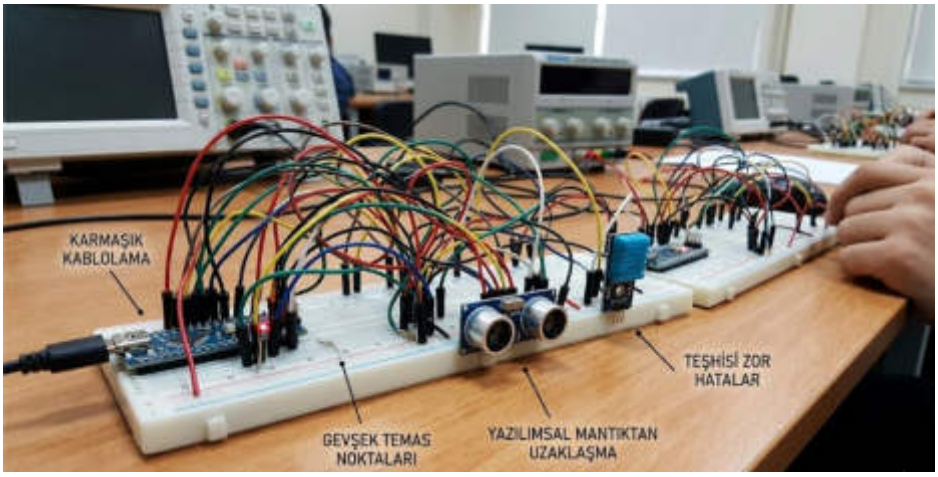
ÖZET
Robotik kodlama ve STEM (Fen, Teknoloji, Mühendislik, Matematik) eğitiminin küresel ölçekte yaygınlaşmasına karşın, ithal eğitim setlerinin döviz kuruna bağlı yüksek maliyetleri, dezavantajlı bölgelerdeki öğrencilerin bu teknolojilere erişimini önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Buna ek olarak, ortaöğretim ve meslek yüksekokulu (MYO) düzeyindeki teknik derslerde kullanılan klasik devre tahtası (breadboard) tabanlı uygulamalar, ders süresinin önemli bir bölümünün karmaşık kablolama ve "temassızlık" sorunlarıyla kaybedilmesine yol açmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu iki probleme tek bir donanım mimarisiyle çözüm üreten Modül-IoT adlı NodeMCU (ESP8266) tabanlı, manyetik "tak-çalıştır" modüler eğitim kitinin tasarımı ve geliştirilmesi sunulmaktadır. Önerilen sistem, mıknatıslı JST konnektörlerle saniyeler içinde bağlanabilen sensör/aktüatör modülleri, dahili 18650 Li-ion batarya ve çift yönlü kesintisiz güç kaynağı (UPS) alt yapısı, şeffaf akrilik/PETG gövde tasarımı, akıllı Wi-Fi (Captive Portal) ağ yönetimi ve bilgisayar/OTG kablosu gerektirmeyen, akıllı telefon üzerinden sensör verilerinin anlık izlenmesine ve sistemin yönetilmesine imkân sunan mobil bir IoT kontrol arayüzü ile bütünleşik olarak çalışmaktadır. Ayrıca cihaza eklenen Evrensel Geliştirme Modülü (170 delikli mini breadboard) sayesinde sistem, bir ortaokul projesinden karmaşık bir endüstriyel IoT istasyonuna dönüşebilecek ölçeklenebilirliğe sahiptir. Bileşen düzeyinde yapılan karşılaştırmalı maliyet değerlendirmesi, Modül-IoT mimarisinin, açık kaynaklı donanım bileşenleri ve yerel 3B üretim imkânları sayesinde, ithal ticari setlere kıyasla belirgin bir maliyet-etkinlik ve ekonomik avantaj sunma potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Tasarım çıktıları, önerilen donanım-yazılım mimarisinin, kablolama karmaşasını ortadan kaldırarak öğrencinin mantık ve yazılım tasarımına odaklanmasını ve şeffaf mekanik tasarımıyla "kara kutu" sendromunu kırarak yapılandırmacı öğrenmeyi desteklemeyi hedeflediğini ortaya koymaktadır; bu etkilerin nicel doğrulanması planlanan pilot uygulamalara bırakılmıştır.
Anahtar Kelimeler: STEM Eğitimi, Nesnelerin İnterneti (IoT), Modüler Donanım Tasarımı, Mobil Kontrol, Düşük Maliyetli Eğitim Teknolojisi.

MODÜL-IOT: DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MODULAR AND WIRELESS STEM EDUCATION KIT TO INCREASE ACCESS TO EDUCATION IN DISADVANTAGED AREAS

ABSTRACT
Despite the global spread of robotics coding and STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) education, the high costs of imported educational kits, driven by exchange rate fluctuations, significantly restrict access to these technologies for students in disadvantaged regions. Additionally, traditional breadboard-based applications used in technical courses at the secondary and vocational school levels lead to a significant portion of class time being lost due to complex wiring and "poor contact" issues. This study presents the design and development of a NodeMCU (ESP8266)-based, magnetic "plug-and-play" modular educational kit called Modül-IoT, which provides a solution to these two problems with a single hardware architecture. The proposed system integrates sensor/actuator modules that can be connected in seconds via magnetic JST connectors, a built-in 18650 Li-ion battery and bidirectional uninterruptible power supply (UPS) infrastructure, a transparent acrylic/PETG housing design, intelligent Wi-Fi (Captive Portal) network management, and a mobile IoT control interface that allows for real-time monitoring of sensor data and system management via smartphone without requiring a computer/OTG cable. Furthermore, thanks to the Universal Development Module (170-point mini breadboard) added to the device, the system has the scalability to evolve from a middle school project to a complex industrial IoT station. A component-level comparative cost assessment indicates that the Modül-IoT architecture has the potential to offer significant cost-effectiveness and economic advantages compared to imported commercial kits, thanks to open-source hardware components and local 3D manufacturing capabilities. The design outcomes indicate that the proposed hardware-software architecture aims to eliminate cabling clutter so that students can focus on logic and software design, and that its transparent mechanical design is intended to break the "black box" syndrome in support of constructivist learning; quantitative validation of these effects is left to the planned pilot studies.
Keywords: STEM Education, Internet of Things (IoT), Modular Hardware Design, Mobile Control, Low-Cost Educational Technology.

GİRİŞ
21. yüzyıl becerileri arasında merkezi bir konuma sahip olan hesaplamalı düşünme (computational thinking), problemleri ayrıştırma, örüntü tanıma ve algoritmik çözüm üretme gibi bilişsel süreçleri kapsayan disiplinler arası bir yetkinlik olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu yetkinliğin erken yaşta kazandırılmasında, öğrencinin aktif olarak inşa ederek öğrendiği yapılandırmacı (constructionist) yaklaşım büyük önem taşımaktadır [2]. Bu bağlamda geliştirilen blok tabanlı programlama ortamları, sözdizimi (syntax) engelini ortadan kaldırarak öğrencilerin mantıksal akışa ve problem çözmeye odaklanmasını sağlamakta; bu ortamların programlamaya erişimi geniş kitleler için kolaylaştırdığı raporlanmaktadır [3].
Bununla birlikte, STEM eğitim teknolojilerine erişim küresel ölçekte eşit dağılmamaktadır. UNESCO'nun 2025 tarihli değerlendirmesine göre dünya genelinde 2,6 milyar insan (küresel nüfusun %32'si) hâlâ internete erişememekte, bunların yaklaşık 1,8 milyarı kırsal bölgelerde yaşamaktadır [4]. Türkiye özelinde ise ithal STEM materyallerinin döviz kurlarındaki dalgalanmalara bağlı olarak birim maliyetlerinin erişilemez seviyelere ulaşması, bu teknolojileri dezavantajlı bölgelerdeki okullar için pratikte imkânsız kılmakta ve eğitimde fırsat eşitsizliğini derinleştirmektedir.

Maliyetin yanı sıra, ortaöğretim ve meslek yüksekokulu (MYO) düzeyindeki mikroişlemci, dijital elektronik ve otomasyon derslerinde ikinci bir yapısal sorun gözlemlenmektedir: klasik devre tahtası (breadboard) ve çok sayıda serbest kablodan oluşan uygulama düzenekleri, öğrencilerin ders süresinin önemli bir kısmını gevşek temas ve yanlış kablolama gibi "temassızlık" sorunlarını gidermeye harcamasına yol açmakta, bu da asıl kazanım hedefi olan yazılımsal mantık tasarımına ayrılan süreyi azaltmaktadır (Şekil 1). Buna ek olarak, piyasada bulunan birçok ticari eğitim setinin kapalı kutu ("kara kutu") tasarımı, elektroniğin iç yapısını öğrenciden gizleyerek yalnızca girdi-çıktı ilişkisinin gözlemlenmesine imkân tanımakta; bu durum, öğrencilerin mühendislik merakının ve sistemin "nasıl çalıştığını" anlama motivasyonunun körelmesine neden olmaktadır.



Şekil 1. Klasik breadboard tabanlı devre uygulamalarında karşılaşılan kablolama karmaşası (teknik karmaşa ve zaman kaybı problemi).

Literatürde bu iki probleme (maliyet ve donanım karmaşası) yönelik çeşitli çözümler önerilmiştir. littleBits, mıknatıslı ve modüler elektronik bloklarla kablolama ve lehimleme ihtiyacını ortadan kaldıran öncü bir platform olarak öne çıkmaktadır [5]. Benzer şekilde, düşük maliyetli açık kaynaklı Arduino tabanlı donanımların kontrol mühendisliği eğitiminde geleneksel laboratuvar ekipmanlarına ekonomik bir alternatif sunduğu gösterilmiştir [6]. Blok tabanlı programlama arayüzleriyle bütünleştirilen açık kaynaklı DIY ("kendin yap") robotik sistemlerin, disiplinler arası STEM öğretiminde programlama deneyimi olmayan öğrenciler için erişilebilirliği artırdığı da ayrıca raporlanmıştır [7]. Ancak incelenen çözümlerin büyük bölümü ya yalnızca masaüstü bilgisayar/USB bağlantısı gerektirmekte ya da elektrik kesintilerine karşı dayanıklı bir güç yönetim alt yapısından yoksun kalmaktadır; bu da özellikle kırsal ve dezavantajlı bölgelerdeki uygulanabilirliği sınırlamaktadır.
Bu çalışmada, yukarıda özetlenen ekonomik erişim, donanım karmaşası, enerji güvenilirliği ve öğrenme şeffaflığı problemlerini tek bir bütünleşik mimaride çözmeyi hedefleyen Modül-IoT adlı eğitim kitinin tasarım ve geliştirme süreci sunulmaktadır.

Çalışmanın özgün katkıları şu şekilde özetlenebilir: (i) mıknatıslı JST konnektörlerle saniyeler içinde bağlanabilen, kablolama ve lehim gerektirmeyen modüler bir sensör/aktüatör mimarisi geliştirilmiştir; (ii) dahili Li-ion batarya, şarj yönetim devresi ve gerilim regülasyon modülünden oluşan çift yönlü bir kesintisiz güç kaynağı (UPS) alt sistemiyle elektrik kesintilerine karşı kesintisiz eğitim imkânı sağlanmıştır; (iii) bilgisayar veya OTG kablosu gerektirmeksizin, akıllı telefon üzerinden sürükle-bırak yöntemli mobil arayüz tasarımı ile donanımın kablosuz olarak kontrol edilebildiği ve izlenebildiği bir IoT telemetri mimarisi ve WiFiManager tabanlı akıllı ağ yönetim (Captive Portal) alt yapısı entegre edilmiştir [8]; (iv) şeffaf akrilik kapaklı mekanik tasarımla "kara kutu" sendromu kırılarak yapılandırmacı öğrenme desteklenmiştir; (v) Evrensel Geliştirme Modülü ile sistem, ortaokul düzeyinden MYO endüstriyel IoT laboratuvarı düzeyine kadar ölçeklenebilir hâle getirilmiştir.

YÖNTEM

Modül-IoT'nin tasarım süreci; donanım mimarisi, mekanik tasarım, güç yönetimi ve yazılım/bağlantı mimarisi olmak üzere dört ana bileşen etrafında yürütülmüştür. Sistemin bütünleşik genel görünümü, bağlantı şeması ve mobil uygulama etkileşimi Şekil 2'de özetlenmektedir.



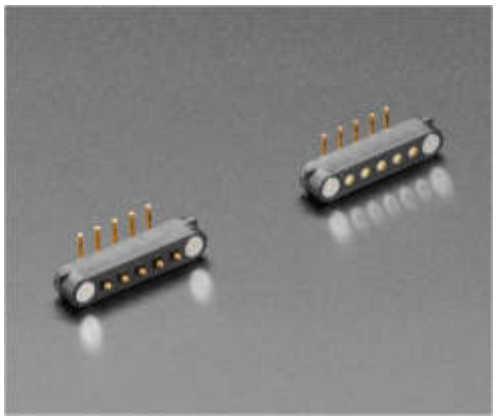
Şekil 2. Modül-IoT sisteminin genel donanım-yazılım mimarisi: (1) donanım ve bağlantı şeması, (2) manyetik modüler kutu tasarımı, (3) mobil uygulama arayüzü.

Merkezi İşlem ve Güç Birimi

Sistemin merkezinde, güçlü işlemcisi ve dahili Wi-Fi modülü sayesinde IoT uygulamalarına hazır bir mikrodenetleyici olan NodeMCU ESP8266 kartı yer almaktadır. Kart; ultrasonik mesafe sensörü (HC-SR04), toprak nem sensörü, sıcaklık/nem sensörü (DHT11), gaz/duman sensörü (MQ serisi), ışık sensörü, mikro servo motor (SG90), LED modülü, buzzer aktüatörü ve röle modülü gibi çevre birimleriyle standart JST konnektörler üzerinden haberleşmektedir. Enerji tarafında ise 18650 şarj edilebilir Li-ion pil, Mikro-USB girişli TP4056 şarj yönetim modülü ve MT3608 gerilim yükseltici (step-up) regülasyon modülünden oluşan bir güç katmanı kullanılmaktadır.

Manyetik "Tak-Çalıştır" Modüler Bağlantı Sistemi

Donanım mimarisinin en özgün bileşenlerinden biri, sensör ve aktüatör modüllerinin ana gövdeye, mıknatısla hizalanan yaylı temas pinleri (pogo-pin) ve standart JST konnektörlerden oluşan hibrit bir arayüz aracılığıyla saniyeler içinde ve hatasız biçimde bağlanmasını sağlayan tak-çalıştır sistemidir (Şekil 3). Bu tasarım, klasik breadboard tabanlı uygulamalarda karşılaşılan gevşek temas ve yanlış kablolama sorunlarını büyük ölçüde ortadan kaldırmayı; karmaşık kablolama ve lehim ihtiyacını elemeyi hedeflemekte, böylece littleBits gibi modüler elektronik platformlarında gözlemlenen erişilebilirlik avantajını [5] IoT tabanlı bir sisteme taşımaktadır.



Şekil 3. Sensör ve aktüatör modüllerinin mıknatıslı yaylı temas (pogo-pin) ve JST konnektör arayüzü ile saniyeler içinde bağlanmasını sağlayan tak-çalıştır arayüz tasarımı.

Mekanik Tasarım: Şeffaflık ve Dayanıklılık İlkesi

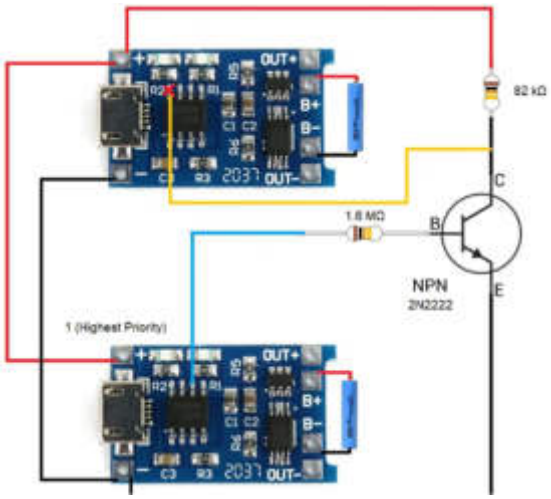
Cihazın üst kapakları, öğrencinin devrenin iç yapısını, dirençleri, kapasitörleri ve mikrodenetleyiciyi doğrudan gözlemleyebilmesi amacıyla şeffaf akrilik (pleksiglas) malzemeden tasarlanmıştır (Şekil 4). Bu yaklaşım, ticari kapalı kutu eğitim setlerinde sıklıkla rastlanan ve öğrencinin meraklanmasını engelleyen "kara kutu" sendromuna doğrudan bir çözüm sunmakta; Papert'in yapılandırmacı öğrenme kuramıyla uyumlu biçimde, öğrencinin sistemin "nasıl çalıştığını" görerek keşfetmesine imkân tanımaktadır [2]. Gövde, PETG filament ile 3B baskı yöntemiyle üretilmiş; ısınma sorunlarına karşı pasif havalandırma kanalları (baca etkisi) ile desteklenmiş; onarım ve bakım kolaylığı için M3 vidalı sökülüp takılabilir bir montaj sistemiyle tasarlanmıştır. Şeffaflık ilkesi, iç devre topolojisinin gözlemlenmesinin öğrenme açısından anlamlı olduğu merkezi kontrol birimine uygulanmış; sensör ve aktüatör modülleri ise dayanıklılık ve renk kodlamasıyla hızlı tanıma önceliği doğrultusunda opak gövdelerle üretilmiştir (Şekil 8).



Şekil 4. Devrenin iç yapısının gözlemlenmesine imkân tanıyan şeffaf akrilik kapaklı mekanik tasarımın üç boyutlu tasarım görselleştirmesi (render).

Çift Yönlü Kesintisiz Güç Kaynağı (UPS) Alt Sistemi

Kırsal bölgelerdeki elektrik kesintileri ve okullardaki priz yetersizliği göz önünde bulundurularak, sisteme entegre edilen çift yönlü UPS alt yapısı; 220 V şebeke gerilimini, cihaz dışındaki harici bir adaptör aracılığıyla güvenli 5 V seviyesinde almakta; elektrik kesildiğinde ise adaptör varlığını algılayan NPN transistör (2N2222) tabanlı anahtarlama devresi sistemi anında dahili bataryaya yönlendirerek kesintisiz eğitim sunmaktadır (Şekil 5). Batarya modunda MT3608 yükseltici regülatör, 3,7 V hücre gerilimini 5 V çalışma seviyesine yükseltmektedir. Cihaz, prize bağlı kablolu modda şarj olurken aynı zamanda masadan masaya taşınabilir, sınıf içinde tamamen kablosuz modda da çalışabilmektedir; bu özellik hem donanımı voltaj dalgalanmalarından korumakta hem de özellikle küçük yaş gruplarının kullanımı için elektriksel güvenliği artırmaktadır.



Şekil 5. Çift yönlü kesintisiz güç kaynağı (UPS) alt sisteminin ilkesel bağlantı şeması: şebeke/adaptör ve dahili Li-ion batarya arasında otomatik geçiş mekanizması.

Yazılım Mimarisi: Kablosuz Mobil Tasarım ve Akıllı Ağ Yönetimi

Sistem, bilgisayarı bulunmayan veya hızlı prototipleme yapmak isteyen öğrenciler için akıllı telefonlar üzerinden Blynk IoT platformu altyapısı kullanılarak Wi-Fi ile yönetilen, mobil tasarım ve kontrol deneyimi sunacak şekilde tasarlanmıştır. Telefon ile cihaz arasında hiçbir fiziksel OTG kablo bağlantısı kullanılmamakta; tüm iletişim kablosuz IoT mimarisiyle gerçekleşmektedir. NodeMCU'nun ana altyapı yazılımı (firmware) bilgisayara yalnızca bir kez, ilk kurulumda yüklenmektedir. Saha koşullarında Wi-Fi şifresinin değişmesi gibi olası kesintileri önlemek amacıyla sisteme, ESP8266 tabanlı gömülü sistemlerde yaygın olarak kullanılan bir dinamik ağ yapılandırma yöntemi olan WiFiManager (Captive Portal) kütüphanesi entegre edilmiştir [8]. Cihaz, kayıtlı bir ağa bağlanamadığında otomatik olarak Erişim Noktası (AP) moduna geçerek kendi "Modül-IoT-Kurulum" ağını yayınlamakta; kullanıcı telefonuyla bu ağa bağlanıp yeni internet şifresini web tabanlı bir arayüzden tanımlayarak cihazı saniyeler içinde tekrar buluta bağlayabilmektedir. Bu sayede, sabit internet altyapısı bulunmayan bir köy okulunda öğretmenin kendi cep telefonu internetini (hotspot) paylaşması, tüm laboratuvarın çalışması için yeterli olmaktadır. Mobil tasarım, çalışma anındaki izleme ve kontrol paneli Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Kablosuz mobil uygulama üzerinden gerçek zamanlı sensör izleme ve aktüatör kontrol arayüzü (sıcaklık °C, bağıl nem % cinsindendir).

Evrensel Geliştirme Modülü (Universal Port) ve Ölçeklenebilirlik

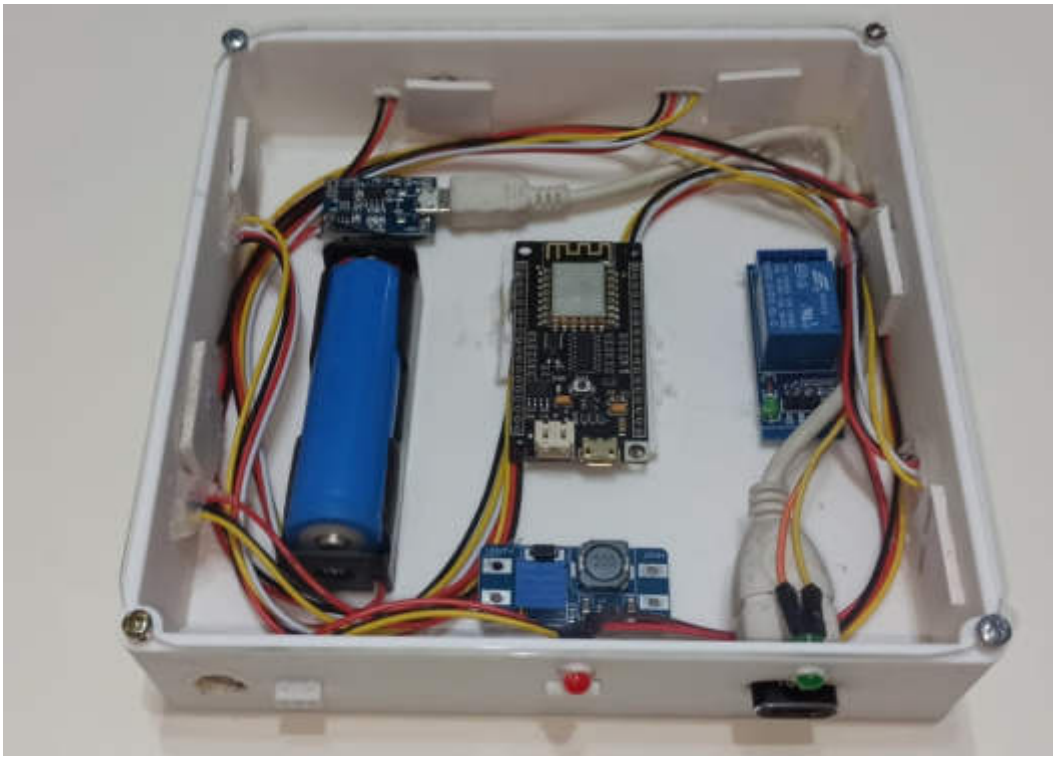
Cihaz üzerinde bulunan, 170 delikli (170 tie-point) mini breadboard içeren manyetik Evrensel Geliştirme Modülü sayesinde sistem kapalı bir kutu olmaktan çıkmaktadır. Öğretmenler ve MYO öğrencileri, kitin standart setinde bulunmayan harici sensörleri (örn. ses sensörü) veya NodeMCU'nun tek başına süremediği yüksek akım çeken DC fan gibi aktüatörleri (BC547 transistör tabanlı sürücü devreleri kurarak) bu evrensel port üzerinden kolayca sisteme dahil edebilmektedir. Böylece donanım, bir ortaokul öğrencisi için basit bir "Akıllı Sera" projesine imkân tanırken; içerdiği sensör çeşitliliği, kablosuz bağlantı altyapısı ve genişletilebilir portu sayesinde bir MYO öğrencisi için karmaşık bir "Endüstriyel IoT" istasyonuna dönüşebilecek kapasitededir.

BULGULAR

Tasarım sürecinin çıktısı olarak geliştirilen fiziksel prototip, kontrol/güç birimi, sensör-aktüatör modül seti ve bütünleşik sistem görünümü olmak üzere üç düzeyde değerlendirilmiş; ardından sistemin tekno-ekonomik konumlandırması karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

Fiziksel Prototip: Kontrol ve Güç Birimi

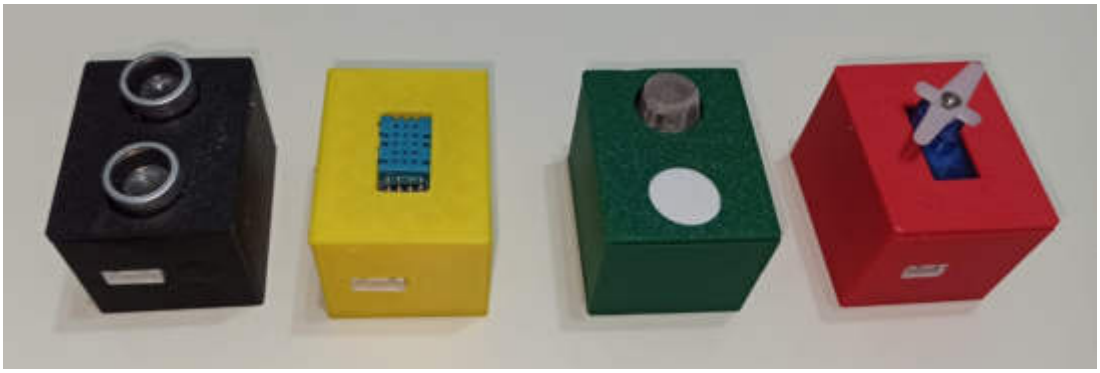
Şekil 7'de gösterilen kontrol biriminin prototip uygulamasında; 18650 Li-ion batarya, TP4056 şarj modülü, MT3608 gerilim regülatörü, NodeMCU ESP8266 kartı ve röle modülü tek bir muhafaza içerisinde derlenmiştir. Prototip aşamasında bileşenler arası bağlantılar geçici olarak kablolarla test edilmiş; bu prototip, tasarımın nihai sürümünde bahsi geçen manyetik JST tak-çalıştır arayüzüne dönüştürülmek üzere doğrulama amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 7. Modül-IoT kontrol ve güç biriminin fiziksel prototipi: batarya, şarj/regülasyon modülleri, NodeMCU ESP8266 ve röle modülü.

Sensör ve Aktüatör Modül Seti

Standart kit içeriğinde yer alan dört temel modül – ultrasonik mesafe sensörü, sıcaklık/nem sensörü, gaz/duman sensörü ve servo motor aktüatörü – Şekil 8'de gösterildiği gibi, her biri kendine özgü renkte kodlanmış bağımsız kutucuklar hâlinde üretilmiştir. Renk kodlaması, özellikle küçük yaş grubundaki öğrencilerin modülleri hızlıca tanımasını ve doğru şekilde yerleştirmesini kolaylaştırmak amacıyla tercih edilmiştir.



Şekil 8. Renk kodlu sensör ve aktüatör modülleri (soldan sağa: ultrasonik mesafe sensörü HC-SR04, sıcaklık/nem sensörü DHT11, gaz/duman sensörü MQ serisi, mikro servo motor SG90).

Bütünleşik Sistem Görünümü

Kontrol birimi ile sensör/aktüatör modüllerinin bir araya getirilmesiyle elde edilen bütünleşik sistem görünümü Şekil 9'da sunulmaktadır. Bu düzenek, sistemin modüler yapısını ve merkezi kontrol biriminin çevresine yerleştirilen bağımsız modüllerin fiziksel organizasyonunu somut biçimde ortaya koymaktadır.



Şekil 9. Modül-IoT sisteminin bütünleşik genel görünümü: merkezi kontrol/güç birimi ve çevresindeki sensör-aktüatör modülleri (Görseldeki geçici kablolama yalnızca merkezi kontrol biriminin iç bileşenleri arasındaki testler için kullanılmış olup, dış sensör modüllerinin ana gövdeye bağlantısı manyetik arayüz ile test edilmiştir).

Maliyet Analizi ve Rekabet Karşılaştırması

Modül-IoT'nin ekonomik konumlandırmasını değerlendirmek amacıyla, piyasada yaygın olarak bulunan ithal eğitim setleri (LEGO/Twin türü sistemler) ve yerli klasik setlerle bağlantı tipi, güç yönetimi, esneklik ve maliyet kriterleri açısından karşılaştırma yapılmıştır (Tablo 1). Bileşen düzeyinde yapılan değerlendirmeye göre Modül-IoT, standart elektronik komponent kullanımı ve modüler gövde tasarımı sayesinde, ithal ticari setlere ve yerli klasik setlere kıyasla belirgin bir maliyet avantajı sunmaktadır. Şekil 10'da bu üç grubun göreceli birim maliyet oranları, ithal set birim maliyeti 1,00 kabul edilerek normalize edilmiş biçimde verilmektedir.

Tablo 1. Modül-IoT'nin ithal ve yerli klasik eğitim setleriyle karşılaştırmalı rekabet analizi.

Özellik	İthal Setler	Yerli Klasik Setler	Modül-IoT
Bağlantı Tipi	Bluetooth / USB (kapalı ekosistem)	USB / OTG (bilgisayar bağımlı)	Bulut Wi-Fi (Blynk) / Manyetik JST
Güç Yönetimi	Şarjlı tescilli batarya	Adaptör / Bilgisayar Gücü	Dahili Çift Yönlü UPS / Şarjlı
Esneklik	Kapalı Sistem	Karmaşık Kablolama	Evrensel Geliştirme Portu
Yaklaşık Maliyet	Yüksek Maliyet	Orta Maliyet	Düşük (Maliyet-Etkin)
Kodlama Arayüzü	Tescilli mobil/masaüstü uygulama	Bilgisayarda metin tabanlı IDE	Telefonda tasarım, Türkçe, kablosuz
Öğrenme Şeffaflığı	Kapalı kutu (kara kutu)	Açık ama dağınık kablolama	Şeffaf kapak + modüler düzen

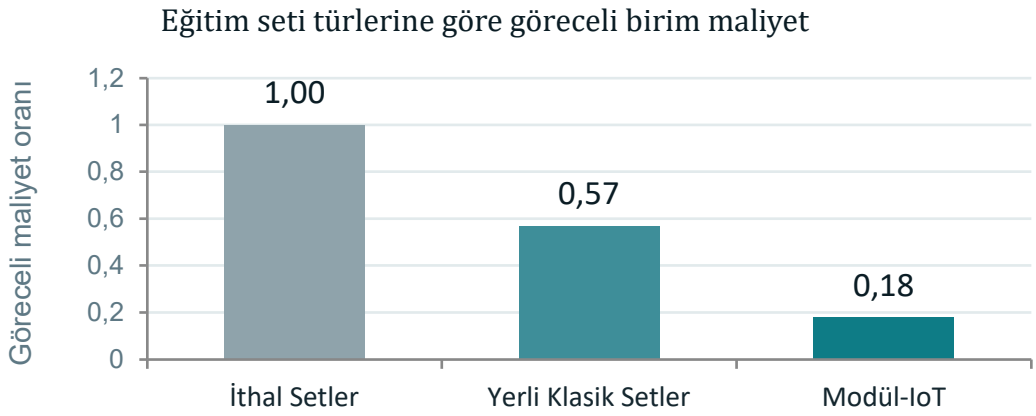
Maliyet iddiasının küresel ölçekte doğrulanabilir ve kur dalgalanmalarına karşı dayanıklı bir temele oturtulması amacıyla, prototipin ana alt sistemleri üzerinden basitleştirilmiş bir bileşen grubu maliyet analizi (yaklaşık global perakende USD değeri üzerinden) gerçekleştirilmiştir. Tablo 2'de Modül-IoT standart kitinin temel blokları ve açık kaynaklı donanım (off-the-shelf) pazarındaki yaklaşık maliyet dağılımı özetlenmektedir. Üretimde ticari amaç güdülmediğinden, montaj işçiliği ve 3B yazıcı amortismanı bu tahmini donanım maliyeti kapsamı dışında bırakılmıştır. Ayrıca, olası bir seri üretim ve ticarileşme senaryosunda ortaya çıkabilecek pazarlama, paketleme ve lojistik gibi dolaylı maliyetler bu hesaba dâhil edilmemiş olup; sunulan değerler salt donanım prototipleme maliyetini yansıtmaktadır.

Tablo 2. Modül-IoT standart kitinin alt sistem bazlı tahmini küresel donanım maliyeti dağılımı.

Alt Sistem / Bileşen Grubu	İçerik Özeti	Yaklaşık Maliyet (USD)
Merkezi Kontrol ve Güç Birimi	NodeMCU ESP8266, 18650 Li-ion batarya, TP4056, MT3608, Röle, Adaptör	~$7.00
Sensör ve Aktüatör Modül Seti	HC-SR04, DHT11, MQ Serisi, Toprak Nem, Işık Sensörü, SG90 Servo, LED, Buzzer	~$5.50
Manyetik Bağlantı Arayüzü	Neodyum mıknatıslar, yaylı pogo-pin kontaklar, JST konnektör ve kablolar	~$3.00
Mekanik Gövde ve Montaj	PETG 3B baskı filamenti, şeffaf akrilik levha, Evrensel Breadboard modülü, vidalar	~$2.50
Toplam Tahmini Donanım Maliyeti	*(Standart bir kit için tekil perakende donanım bileşen bedeli)*	**~$18.00**

Tablo 2'de görüldüğü üzere, Modül-IoT mimarisinin tek bir standart kiti için tahmini donanım maliyeti yaklaşık 18 USD seviyesindedir. Piyasada STEM ve robotik kodlama eğitiminde yaygın olarak kullanılan kapalı ekosistem (proprietary) ithal eğitim setlerinin (örneğin LEGO, Twin Science veya ithal Arduino tabanlı ticari setler) perakende liste fiyatlarının ortalama 100 USD ile 150 USD bandında olduğu bilinmektedir. Temel referans noktası olarak 100 USD (1 birim) kabul edildiğinde, Modül-IoT'nin maliyeti ithal setlerin yaklaşık %18'ine (0,18) tekabül etmektedir. Piyasada bulunan klasik serbest kablolu yerli Arduino setleri ise gövde ve UPS altyapısından yoksun olmalarına rağmen genellikle 50-60 USD bandında (yaklaşık 0,57 oranında) alıcı bulmaktadır.

Şekil 10'da bu üç grubun göreceli birim maliyet oranları, ithal set birim maliyeti 1,00 kabul edilerek normalize edilmiş biçimde verilmektedir. Bu değerler, Modül-IoT'nin açık kaynaklı bileşenler ve yerel 3B baskı yetenekleri kullanılarak dezavantajlı bölgelerdeki okullar için nasıl dramatik bir ekonomik erişilebilirlik (yaklaşık 5'te 1 oranında maliyet avantajı) sağlayabildiğini somutlaştırmaktadır.



Şekil 10. Eğitim seti türlerine göre göreceli birim maliyet karşılaştırması (ithal set birim maliyeti 1,00 olarak normalize edilmiştir).

TARTIŞMA

Modül-IoT'nin tasarım sürecinden elde edilen çıktılar, donanım modülerliğinin ve enerji güvenilirliğinin, dezavantajlı bölgelerdeki STEM eğitimi erişilebilirliği açısından belirleyici tasarım ölçütleri olduğuna işaret etmektedir. Manyetik tak-çalıştır arayüzü, littleBits [5] ve benzeri modüler elektronik platformlarında gözlemlenen "karmaşıklığı azaltarak erişilebilirliği artırma" ilkesini, kablosuz IoT tabanlı bir sisteme taşımakta; bu sayede öğrencinin sınırlı ders süresi, kablolama hatalarını gidermek yerine doğrudan mantıksal problem çözmeye ve algoritmik düşünmeye ayrılabilmektedir. Geliştirilen prototipin dış modül bağlantı arayüzleri üzerinde yapılan pratik test ve teknik gözlemlerde, klasik breadboard ve jumper kablolarla 5 farklı sensörün güç ve veri hatlarının kurulup çalışır hâle getirilmesi ortalama 10-15 dakikalık bir süre ve dikkat gerektirirken; Modül-IoT'nin manyetik pogo-pin arayüzü sayesinde aynı modüllerin sökülüp takılması veya değiştirilmesi yalnızca birkaç saniye sürmüştür. Temas sağlandığı anda pinlerin hemen elektriklenmesi, sensörlerin anında kontrol edilebilmesine olanak tanımış ve breadboard üzerinde sıklıkla yaşanan 'temassızlık ve hat tespiti' gibi kronik zaman kayıplarını tamamen ortadan kaldırmıştır. Bu bulgu, düşük maliyetli açık kaynaklı donanımların kontrol ve otomasyon eğitiminde geleneksel laboratuvar ekipmanlarına ekonomik ve pedagojik olarak rekabetçi bir alternatif sunduğuna dair literatür bulgularıyla örtüşmektedir [6].

Şeffaf mekanik tasarım tercihi, Papert'in yapılandırmacı öğrenme kuramında vurgulanan, öğrencinin bir sistemi "inşa ederek ve gözlemleyerek" öğrenmesi ilkesiyle doğrudan örtüşmektedir [2]. Kapalı kutu ticari setlerin aksine, devrenin iç yapısının görünür kılınması, öğrencide yalnızca "ne olduğunu" değil "neden ve nasıl olduğunu" anlama motivasyonu yaratmayı hedeflemektedir. Bu yaklaşımın, DIY (kendin yap) açık kaynaklı eğitim robotlarında gözlemlenen katılımcı motivasyon artışı bulgularıyla [7] tutarlı olduğu değerlendirilmektedir; ancak bu ilişkinin nicel olarak doğrulanması, bu bölümün sonunda belirtildiği gibi gelecekteki pilot uygulama çalışmalarını gerektirmektedir.

Enerji güvenilirliği açısından, çift yönlü UPS alt yapısı, kırsal bölgelerdeki elektrik kesintisi sorununu doğrudan hedef almaktadır. Bu özellik, sistemin yalnızca şehir merkezlerindeki donanımlı laboratuvarlarla sınırlı kalmayıp, altyapısı zayıf köy okullarında da kesintisiz biçimde kullanılabilmesini sağlamaktadır. Benzer şekilde, WiFiManager tabanlı akıllı ağ yönetimi [8], IoT cihazlarının saha koşullarında yeniden programlama gerektirmeden ağ yapılandırmasını değiştirebilmesini sağlayan, literatürde de kullanılabilirlik ve dağıtım verimliliği açısından avantajlı bulunan bir yaklaşımdır.

Eğitimsel esneklik açısından değerlendirildiğinde, Evrensel Geliştirme Modülü'nün kite kazandırdığı ölçeklenebilirlik, sistemin yalnızca ortaokul düzeyinde değil, MYO'nun mikroişlemciler, dijital elektronik ve endüstriyel otomasyon derslerinde de kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Bu çok katmanlı kullanım potansiyeli, ürünün B2G (Millî Eğitim Bakanlığı, belediyeler), B2B (özel okullar, MYO'lar, üniversite laboratuvarları) ve B2C (bireysel tüketici) olmak üzere geniş bir pazar segmentine hitap edebilmesine imkân tanımaktadır; bu da projenin yalnızca sosyal etki odaklı değil, aynı zamanda sürdürülebilir bir teknoloji girişimi olarak ölçeklenme potansiyeline işaret etmektedir.

Çalışmanın temel kısıtı, mevcut aşamada gerçek sınıf ortamında yürütülmüş bir pilot kullanım testinin veya kontrollü bir deney/kontrol grubu karşılaştırmasının bulunmamasıdır; bu nedenle burada sunulan bulgular, sistemin teknik tasarım özellikleri ve maliyet avantajıyla sınırlı kalmaktadır. Gelecek çalışmalarda, farklı yaş gruplarındaki öğrencilerle yürütülecek kontrollü pilot uygulamalar aracılığıyla, cihazın devre kurma süresi, kavramsal anlama düzeyi ve motivasyon üzerindeki etkisinin nicel olarak ölçülmesi planlanmaktadır. Ayrıca, sistemin uzun vadeli dayanıklılığının (batarya çevrim ömrü, mıknatıslı konnektörlerin mekanik yorulma testleri) saha koşullarında doğrulanması da ileriye dönük çalışma kapsamındadır.

SONUÇ

Bu çalışmada, dezavantajlı bölgelerdeki öğrencilerin STEM eğitim teknolojilerine erişimindeki maliyet bariyerini ve ortaöğretim/MYO düzeyindeki teknik derslerde yaşanan donanım karmaşasını tek bir bütünleşik mimariyle çözmeyi hedefleyen Modül-IoT adlı eğitim kitinin tasarım ve geliştirme süreci sunulmuştur. NodeMCU ESP8266 tabanlı merkezi işlem birimi; manyetik JST tak-çalıştır modüler bağlantı sistemi, çift yönlü kesintisiz güç kaynağı (UPS) alt yapısı, şeffaf mekanik tasarımı ve WiFiManager tabanlı akıllı ağ yönetimiyle bütünleştirilen kablosuz mobil tasarım arayüzü sayesinde, hem ekonomik hem de pedagojik açıdan yenilikçi bir çözüm ortaya konmuştur. Yapılan tekno-ekonomik değerlendirmeler, Modül-IoT mimarisinin, ithal ve yerli ticari setlere kıyasla yüksek bir maliyet-etkinlik sunduğunu ve dezavantajlı okullar için ekonomik erişilebilirliği artırma potansiyeli taşıdığını göstermiştir. Evrensel Geliştirme Modülü sayesinde sistem, bir ortaokul projesinden karmaşık bir endüstriyel IoT istasyonuna dönüşebilecek ölçeklenebilirliğe sahiptir; bu özellik, projenin B2G, B2B ve B2C segmentlerini kapsayan geniş bir pazara hitap etmesini mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak Modül-IoT, "Millî Teknoloji Hamlesi" vizyonuyla uyumlu biçimde, köy okullarından üniversite laboratuvarlarına kadar uzanan geniş bir yelpazede, teknoloji üreten insan kaynağının yerli imkânlarla yetiştirilmesine katkı sağlayabilecek bir referans niteliği taşımaktadır. Gelecek çalışmalarda, sistemin farklı öğrenci gruplarıyla yürütülecek kontrollü pilot uygulamalar aracılığıyla nicel olarak değerlendirilmesi ve uzun vadeli saha dayanıklılık testlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

[1] J.M. Wing, "Computational thinking", Communications of the ACM, 49(3), 33–35, 2006.

[2] S. Papert, Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas, Basic Books, New York, 1980.

[3] M. Resnick, J. Maloney, A. Monroy-Hernández, N. Rusk, E. Eastmond, K. Brennan, A. Millner, E. Rosenbaum, J. Silver, B. Silverman, Y. Kafai, "Scratch: Programming for all", Communications of the ACM, 52(11), 60–67, 2009.

[4] UNESCO, "UNESCO spotlights how digital learning can promote equity in low-resource contexts", UNESCO haber bülteni, 31 Mart 2025. [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.unesco.org/en/articles/unesco-spotlights-how-digital-learning-can-promote-equity-low-resource-contexts (Erişim tarihi: 14 Eylül 2026).

[5] A. Bdeir, P. Rothman, "Electronics as material: littleBits", Proceedings of the 6th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI '12), 371–374, 2012, doi: 10.1145/2148131.2148220.

[6] P. Reguera, D. García, M. Domínguez, M.A. Prada, S. Alonso, "A low-cost open source hardware in control education. Case study: Arduino-Feedback MS-150", IFAC-PapersOnLine, 48(29), 117–122, 2015.

[7] E. Li, A.T. Lam, T. Fuhrmann, L. Erikson, M. Wirth, M.L. Miller, P. Blikstein, I.H. Riedel-Kruse, "DIY liquid handling robots for integrated STEM education and life science research", PLOS ONE, 17(11), e0275688, 2022.

[8] Nisa, R., Suryanto, E. D., Sipahutar, E., Budiansyah, A., & Candra, R. A. (2026). Design and Implementation of a WiFi Manager System on the ESP8266 Module for IoT Applications. Global Advances in Science, Engineering & Technology (GASET), 1(2), 51-60.

AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ MODERN DERİN ÖĞRENME MİMARİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASIYLA OKÜLER HASTALIKLARIN SINIFLANDIRMASI

Öğr. Gör. Muharrem BALCI
Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü
ORCID: 0000-0002-5478-1856

Prof. Dr. Ahmet ALKAN
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Lodz University of Technology, Institute of Electronics
ORCID: 0000-0003-0857-0764

ÖZET
İnsan sağlığını tehdit eden görme kayıplarının önemli bir bölümü, zamanında konulacak bir tanıyla önlenebilir özelliktedirler. Dünya Sağlık Örgütü, dünya genelinde 2,2 milyardan fazla bireyin görme bozukluğu yaşadığını ve bu vakaların yaklaşık yarısının önlenebilir ya da hâlâ giderilmemiş nitelikte olduğunu raporlamıştır. Bu çalışmada, Diyabetik Retinopati (DR), Glokom ve Katarakt gibi en sık görülen oküler hastalıkları Sağlıklı grubuyla birlikte dört kategoride ayırt edebilen güncel derin öğrenme yöntemleri birlikte değerlendirilmektedir. Analizde, Mendeley'de yer alan "Eye Disease Image Dataset" kaynaklı 4.920 özgün fundus görüntüsü çeşitli veri artırma yöntemleriyle 16.717 örneğe genişletilmiştir. Genişletilen toplam veri seti, görüntü bazlı ve tabakalı bir ayırma stratejisiyle %85 eğitim, %10 doğrulama ve %5 test şeklinde bölünmüş, veri sızıntısı riskini en aza indirmek amacıyla doğrulama ve test kümelerinde yalnızca orijinal görüntülere yer verilmiştir. ConvNeXtV2-Base, Swin Transformer-Tiny ve EfficientNetV2-S gibi güncel üç mimari karşılaştırılarak özdeş bir deney düzeneğinde eğitilmiş ve başarımları için hem performans metrikleri hesaplanmış hem de Grad-CAM tabanlı açıklanabilirlik analizleriyle test edilmiştir. Deneysel sonuçlarda elde edilen bulgular, ConvNeXtV2-Base mimarisinin %97,14 doğruluk ve %96,92 Makro F1 değeriyle en üstün genel başarımı yakaladığını göstermiştir. Swin-Tiny modelinin ise DR teşhisinde %100 F1 skorunu 11,26 ms gibi son derece kısa bir çıkarım süresiyle bir arada sunduğunu ortaya koymaktadır. Yürütülen ablasyon deneyleri, veri artırma uygulamasının Makro F1 metriğini %5,22 oranında yükselttiğini göstermiştir. Grad-CAM tabanlı görselleştirmeler, modellerin kararlarını mikroanevrizma, optik disk çukurlaşması ve lens opasitesine bağlı bulanıklaşma gibi klinik açıdan anlamlı bulgulara dayandırdığını göstermektedir. Bu bulgular ışığında, geliştirilen çerçevenin klinik karar destek süreçlerinde güvenilir bir yardımcı destek birimi olarak konumlandırılabileceği değerlendirilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Oküler Hastalık Sınıflandırması, Fundus Görüntüleri, ConvNeXtV2, Swin Transformer, Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI).

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

CLASSIFICATION OF OCULAR DISEASES BY COMPARING EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED MODERN DEEP LEARNING ARCHITECTURES

ABSTRACT
A significant portion of vision loss, which threatens human health, is preventable with timely diagnosis. The World Health Organization reports that more than 2.2 billion individuals worldwide live with a vision impairment and that in roughly half of these cases the impairment could have been prevented or has yet to be addressed. This study evaluates current deep learning methods that can differentiate between the most common ocular diseases, such as Diabetic Retinopathy (DR), Glaucoma, and Cataract, and the Healthy group, across four categories. In the analysis, 4,920 original fundus images from Mendeley's "Eye Disease Image Dataset" were expanded to 16,717 samples using various data augmentation methods. The expanded total dataset was divided into 85% training, 10% validation, and 5% testing using an image-based, stratified separation strategy; to minimize the risk of data leakage, only the original images were included in the validation and test sets. Three current architectures ConvNeXtV2-Base, Swin Transformer-Tiny, and EfficientNetV2-S were compared, trained in an identical experimental setup, and their performance metrics were calculated and tested using Grad-CAM-based explainability analyses. Experimental results showed that the ConvNeXtV2-Base architecture achieved superior overall performance with 97.14% accuracy and a Macro F1 value of 96.92%. The Swin-Tiny model, on the other hand, demonstrated a 100% F1 score in DR diagnosis with an extremely short inference time of 11.26 ms. Ablation experiments showed that data enhancement increased the Macro F1 metric by 5.22%. Grad-CAM-based visualizations indicate that the models based their decisions on clinically significant findings such as microaneurysms, optic disc cupping, and the blurring caused by lens opacity. In light of these findings, it is considered that the developed framework can be positioned as a reliable supporting unit in clinical decision support processes.
Keywords: Ocular Disease Classification, Fundus Images, ConvNeXtV2, Swin Transformer, Explainable Artificial Intelligence (XAI).

GİRİŞ
Görme duyusu, çevresel algının %80'inden fazlasını oluşturan kritik bir biyolojik mekanizmadır. Retinada meydana gelen patolojik değişimler, fotoreseptör hücrelerin beslenmesini bozarak geri dönüşü olmayan görme kayıplarına yol açabilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre dünya genelinde 2,2 milyardan fazla insan görme bozukluğundan etkilenmekte olup bu vakaların yaklaşık 1 milyarı erken tanı ile önlenebilir veya tedavi edilebilir niteliktedir [1,2]. Fundus fotoğrafçılığı, retinal damar yapılarını ve pigmenter değişimleri ortaya koyarak klinisyenlere önemli bir rehberlik sağlayan, maliyet etkin bir görüntüleme yöntemidir.
Diyabet prevalansındaki artış ve nüfusun yaşlanması, Katarakt, Diyabetik Retinopati (DR) ve Glokom gibi yaygın göz hastalıklarını önemli birer halk sağlığı sorunu hâline getirmiştir. DR, diyabetin mikrovasküler bir komplikasyonu olarak retinal damarlarda hasara yol açar; ileri evrelerde mikroanevrizma, sert eksüda ve kanamalar gözlenir [3]. "Sessiz görme hırsızı" olarak bilinen Glokom, artan göz içi basıncına bağlı optik sinir hasarı ile karakterizedir ve geç evreye kadar belirti vermediği için erken tanısı güçtür [4]. Katarakt ise göz merceğinin saydamlığını kaybetmesiyle oluşur; fundus görüntülerinde oluşturduğu opaklık ve kontrast kaybı nedeniyle diğer patolojik bulguları maskeleyerek derin öğrenme modelleri için gürültülü bir veri problemi oluşturur [5].

Klinik gerçeklikte hastalar çoğunlukla birden fazla oküler patoloji taşıyabildiğinden, yalnızca ikili (hasta/sağlıklı) sınıflandırmaya dayanan sistemler yanlış negatif sonuçlar üretebilmektedir. Bu nedenle çoklu sınıflandırma yaklaşımları, ayırıcı tanı kapasitesini artırarak klinik karar destek mekanizmalarının kapsamını genişletmekte ve güvenilirliğini artırmaktadır [6]. Literatürdeki mevcut çalışmaların büyük bir kısmı sınırlı veri setleri üzerinde tekil patolojilere odaklanmakta, veri artırma stratejilerinin etkisini kontrollü bir ablasyon çalışmasıyla analiz etmemekte ve elde edilen başarıları genel geçer performans metrikleriyle doğrulamamaktadır. Ayrıca çalışmaların önemli bir kısmı klasik CNN mimarilerine dayanmakta; ConvNeXt ve Swin/ViT gibi küresel bağlamı yakalayabilen modernize edilmiş mimarilerin karşılaştırmalı analizleri sınırlı kalmaktadır.

İlgili Çalışmalar

Retinal hastalıkların otomatik teşhisine yönelik ilk nesil çalışmalar, genellikle Glokom veya DR gibi tek bir hastalığın hasta/sağlıklı şeklinde ikili sınıflandırılmasına odaklanmıştır. Ting ve arkadaşları [7], etnik açıdan geniş bir dağılım gösteren popülasyonlarda DR'yi ve ilişkili göz hastalıklarını tespit eden derin öğrenme sistemini sunarak bu alandaki öncü çalışmalardan birini ortaya koymuştur. Li ve arkadaşlarının [8] kapsamlı derleme çalışması, CNN tabanlı modellerin tekil hastalık tespitinde uzman düzeyine ulaştığını göstermiştir; ancak bu tür çalışmalar, hastaların klinik ortamda birden fazla patoloji taşıyabildiği gerçeğini göz ardı etmesi nedeniyle çoklu sınıflandırma yaklaşımlarının gerisinde kalmıştır.

Çoklu sınıflandırmada karşılaşılan veri dengesizliği ve sınıflar arası görsel benzerlik sorunlarını aşmak amacıyla, Abbasi ve arkadaşları [9] 2025 yılında sınırlı veri setlerinde öğrenme esnekliğini artıran uyarlanabilir bir CNN mimarisi önermiştir. Benzer şekilde Al-Fahdawi ve arkadaşları [10], çoklu-etiketli bir sistem olarak tasarladıkları Fundus-DeepNet modeliyle birden fazla patolojinin eş zamanlı tespitine odaklanmıştır. Bu çalışmalar, çoklu hastalık senaryolarının klinik gerçekliğe daha yakın bir modelleme sağladığını doğrulamakla birlikte, istatistiksel doğrulama ve ablasyon analizleri açısından sınırlı kalmıştır.

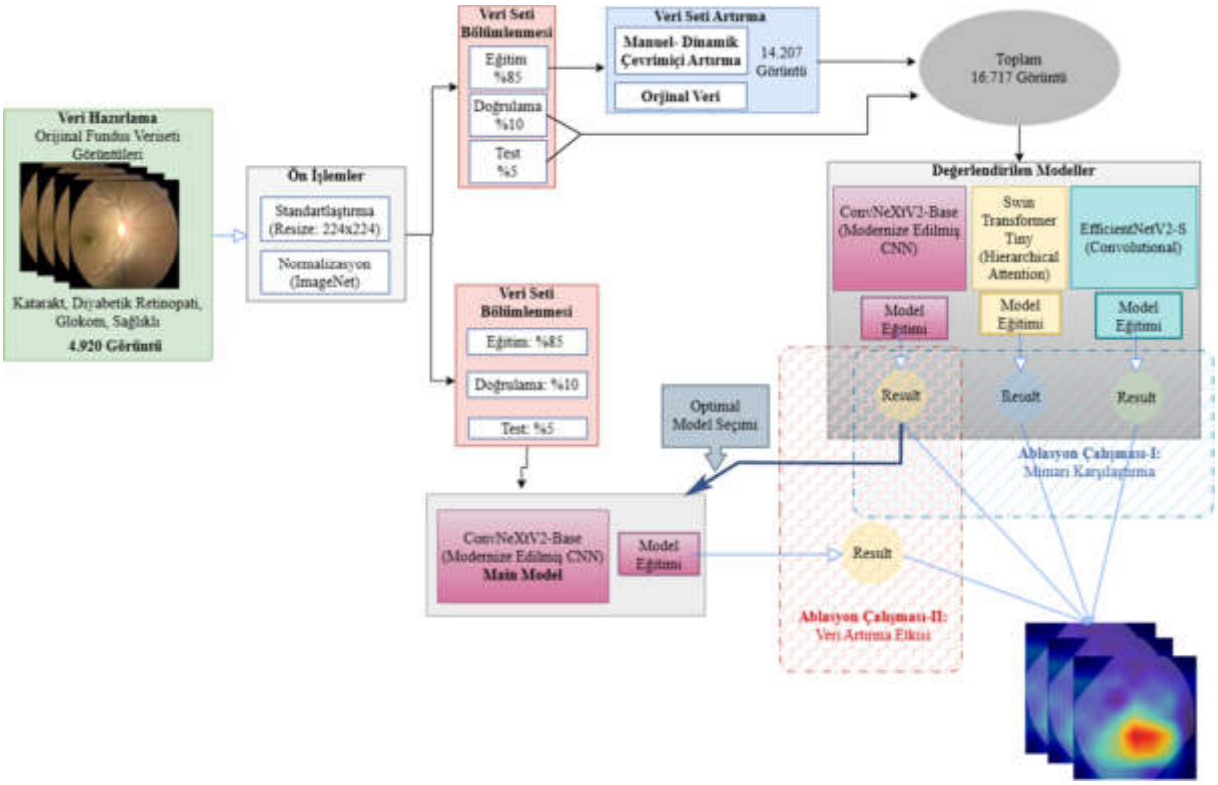
Modern mimari paradigmalar açısından incelendiğinde, EfficientNet ailesinin retinal hastalık sınıflandırmasında dengeli bir performans sunduğu bildirilmiştir: Ramis Uulu ve arkadaşları [11], EfficientNet türevleriyle Glokom, DR ve Katarakt sınıflandırmasında daha az parametreyle rekabetçi sonuçlar elde etmiş; Fitriatuzzahra ve arkadaşları [12] ise EfficientNet-B0 mimarisini Sağlıklı, Katarakt, DR ve Glokom sınıflarına uygulayarak yüksek başarım bildirmiştir. Sivaz ve Aykut [13], EfficientNet mimarisini ML-Decoder gibi gelişmiş sınıflandırma başlıklarıyla birleştirmenin modelin ayırt edicilik gücüne katkısını ortaya koymuştur.

Küresel bağlamı yakalama konusunda, Haque ve arkadaşları [14] önerdikleri SwinMedNet modeliyle Swin Transformer mimarisinin DR sınıflandırmasında klasik CNN'lere kıyasla daha kararlı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Son olarak, Addya ve arkadaşları [15], ConvNeXt mimarisini Kolmogorov-Arnold Ağları (KAN) gibi yeni nesil aktivasyon fonksiyonlarıyla güçlendirerek çoklu sınıflı retinal patoloji tespitinde literatürdeki en yüksek başarım oranlarından birini bildirmiştir. Bu çalışmalar bütüncül olarak değerlendirildiğinde, modernize CNN ve Transformer tabanlı mimarilerin karşılaştırmalı ve istatistiksel olarak doğrulanmış bir çerçevede ele alınmasına yönelik literatürdeki boşluk, bu çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu metodolojik boşlukları gidermeyi amaçlayan kapsamlı, çoklu sınıflı ve istatistiksel olarak güvenilir bir derin öğrenme çerçevesi sunmaktadır. Çalışmanın temel katkıları şu şekilde özetlenebilir: (i) EfficientNetV2-S (saf evrişimli), Swin Transformer-Tiny (tam dikkat tabanlı) ve ConvNeXtV2-Base (modernize hibrit) mimarileri aynı deneysel protokol altında karşılaştırılmıştır; (ii) 16.717 fundus görüntüsü kullanılarak dört sınıflı bir sınıflandırma görevi gerçekleştirilmiş ve veri artırmanın katkısı kontrollü ablasyon çalışmalarıyla ölçülmüştür; (iii) Grad-CAM tabanlı XAI yöntemleriyle modellerin karar verme süreçleri klinik prensiplerle ilişkilendirilerek şeffaflaştırılmıştır. Bu çalışma, yazarların oküler hastalıkların otomatik tespiti üzerine yürüttüğü ve daha önce yayımlanan [26] numaralı araştırmasının temel metodolojik altyapısını baz almaktadır. Mevcut çalışmada, ilgili altyapı kullanılarak özellikle modern derin öğrenme mimarilerinin karşılaştırmalı performanslarına, ablasyon deneylerine ve Grad-CAM tabanlı açıklanabilirlik (XAI) analizlerine odaklanılmış ve bulgular bu eksende detaylandırılmıştır.

YÖNTEM

Bu çalışmada, Katarakt, DR ve Glokom gibi en yaygın retinal hastalıkların fundus görüntüleri üzerinden otomatik ve çoklu sınıflandırılması için CNN, Transformer ve Hibrit mimarilerin adaptasyonunu içeren kapsamlı bir yöntem sunulmuştur. Yöntemin genel iş akışı Şekil 1'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. Şekil 1. Çoklu sınıflı oküler hastalık sınıflandırması için önerilen derin öğrenme metodolojisi ve iş akışı (Yazarların [26] numaralı çalışmasından uyarlanmıştır).

Veri Seti

Araştırmada, Bangladeş'te Faridpur ilinde bulunan Anwara Hamida Göz Hastanesi ve BNS Zahrul Haque Göz Hastanesi'nden toplanan ve uzman oftalmologlar gözetiminde etiketlenen "Eye Disease Image Dataset" kullanılmıştır [16].

Orijinal veri setindeki geniş hastalık yelpazesinden çalışmanın amacına uygun olarak Diyabetik Retinopati, Glokom ve Sağlıklı sınıfları seçilmiş; ayrıca aynı veri setinin Kaggle deposunda yer alan Katarakt sınıfı da bu kümeye dâhil edilerek dört temel sınıf oluşturulmuştur. Orijinalde 4.920 fundus görüntüsü içeren veri seti, sınıf dengesini sağlamak amacıyla her sınıf için hedef sayı belirlenmiş ve azınlık sınıflarına daha yüksek oranda uygulanarak çeşitli artırma teknikleriyle toplam 16.717 görüntüye çıkarılmıştır. Veri setinde hasta bilgileri yer almadığından, ayrım işlemi hasta temelli değil görüntü bazlı gerçekleştirilmiştir. Toplam 16.717 görüntüden oluşan nihai veri havuzu, sınıf oranları korunacak şekilde tabakalı (stratified) olarak %85 eğitim (14.207 orijinal ve artırılmış görüntü), %10 doğrulama (1.670 orijinal görüntü) ve %5 bağımsız test (840 orijinal görüntü) kümelerine ayrılmıştır. Veri sızıntısı (data leakage) riskini en aza indirmek amacıyla, doğrulama ve test kümelerine ayrılan görüntülerin tamamı yalnızca orijinal verilerden seçilmiştir. Sınıf bazlı dağılım Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Eğitim, doğrulama ve test kümeleri için sınıf bazlı orijinal ve artırılmış görüntü dağılımı.

Sınıf	Orijinal	Eğitim (Orijinal)	Eğitim (Artırılmış)	Eğitim (Toplam)	Doğrulama (Orijinal)	Test (Orijinal)	Genel Toplam
Katarakt	1.038	357	3.500	3.857	453	228	4.538
Diyabetik Retinopati	1.509	827	3.033	3.860	454	228	4.542
Glokom	1.349	765	2.538	3.303	388	196	3.887
Sağlıklı (Normal)	1.024	461	2.726	3.187	375	188	3.750
Toplam	**4.920**	**2.410**	**11.797**	**14.207**	**1.670**	**840**	**16.717**

Ön İşleme ve Veri Artırma Stratejisi

Görüntü Standartlaştırma ve Normalizasyon

Mendeley Data platformundan elde edilen görüntüler, farklı fundus kameralarına bağlı olarak değişken çözünürlük ve renk dağılımı sergilemektedir. Bu değişkenliği gidermek amacıyla tüm görüntüler önce merkezi kırpma (center-crop) ile dairesel fundus alanına odaklanacak şekilde işlenmiş, ardından bikübik enterpolasyon kullanılarak 224×224 piksele yeniden boyutlandırılmıştır. Piksel değerleri [0,1] aralığına ölçeklendirildikten sonra, ImageNet istatistikleri (ortalama [0,485; 0,456; 0,406], standart sapma [0,229; 0,224; 0,225]) ile kanal bazında normalize edilmiştir. Bu adım, aktarımlı öğrenme (transfer learning) sürecinde ön eğitimli ağırlıkların istikrarını korumak ve iç kovaryans kaymasını (internal covariate shift) azaltmak açısından kritik önem taşımaktadır.

Manuel (Klasik) Veri Artırma

Manuel artırma aşamasında, eğitim kümesindeki her görüntüye rastgele döndürme (±15°), genişlik/yükseklik kaydırma (%10'a kadar), öteleme, yatay/dikey çevirme ve yakınlaştırma (0,9-1,1 kat) dönüşümleri uygulanarak veri seti fiziksel olarak genişletilmiş ve 11.797 yeni görüntü üretilmiştir. Sınıf dengesizliğini (class imbalance) gidermek amacıyla her hastalık sınıfı için hedef bir görüntü sayısı belirlenmiş ve azınlık sınıflarına (örneğin Katarakt) daha yüksek oranda veri artırımı (oversampling) uygulanmıştır.

Bu aşamada, sınıf etiketlerinin dönüşüm sonrası değişmediğinden emin olmak amacıyla yalnızca geometrik ve fotometrik dönüşümler tercih edilmiş; hastalığa özgü lezyon bölgelerinin (örneğin mikroanevrizma, optik disk sınırları) bozulmasını önlemek için aşırı distorsiyon içeren dönüşümlerden (elastik deformasyon, kesme/shearing) kaçınılmıştır.

Çevrimiçi (Dinamik) Veri Artırma

Statik artırmaya ek olarak, eğitim sırasında PyTorch torchvision.transforms modülü üzerinden her bir mini-yığın (mini-batch) için anlık olarak üretilen dinamik artırma uygulanmıştır. Bu kapsamda, Rastgele Yatay Çevirme (p=0,5) ile retinanın sol-göz/sağ-göz simetrisi ve doğal anatomik varyasyonu modellenmiş; ±10° Rastgele Döndürme ile hasta başı hareketlerine karşı dayanıklılık kazandırılmış; 0,2 oranında parlaklık/kontrast bozulması (color jitter) ile farklı kamera kalibrasyonları ve ortam ışığı koşulları simüle edilmiştir. Dinamik artırma yalnızca eğitim veri yükleyicisi (DataLoader) içerisinde, her epokta farklı bir rastgele tohum ile yeniden örneklenerek gerçekleştirilmiş; bu sayede modelin aynı görüntünün birebir aynı varyasyonunu birden fazla kez görmesi engellenmiştir.

Veri Sızıntısının Önlenmesi

Veri artırma stratejisinin performans metriklerini yapay olarak şişirmesini önlemek amacıyla, hem klasik hem de dinamik artırma teknikleri yalnızca eğitim kümesine uygulanmıştır. Doğrulama ve bağımsız test kümeleri, herhangi bir artırma dönüşümüne tabi tutulmadan yalnızca orijinal görüntülerden oluşturulmuştur. Bu önlem, modellerin gerçek dünya klinik koşullarındaki genelleme performansının gerçekçi biçimde ölçülmesini sağlamıştır [17].

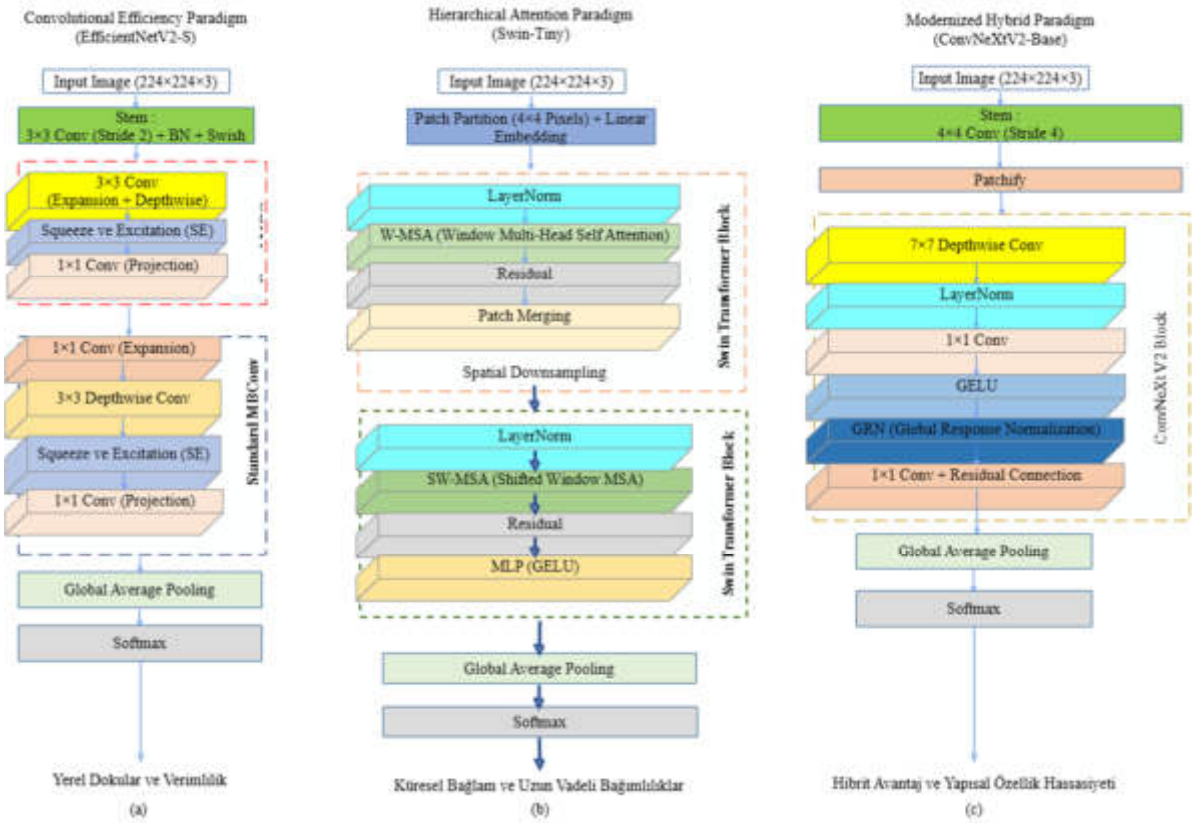
Derin Öğrenme Mimarileri

Çalışmada üç farklı tasarım paradigmasını temsil eden modeller ImageNet-21k ön eğitimli ağırlıklarla timm kütüphanesi üzerinden kullanılmıştır: (i) EfficientNetV2-S, bileşik ölçeklendirme ile parametre verimliliğini önceleyen saf evrişimli bir mimaridir [18]; (ii) Swin Transformer-Tiny, kaydırmalı pencere (shifted window) mekanizmasıyla hiyerarşik küresel bağlamı yakalayan tam dikkat tabanlı bir mimaridir [19]; (iii) ConvNeXtV2-Base, 7×7 büyük çekirdekli derinlemesine evrişimler ve Global Yanıt Normalizasyonu (GRN) katmanı ile Vision Transformer tasarım ilkelerini modernize edilmiş CNN yapılarıyla birleştiren hibrit bir mimaridir ve Maskeli Otokodlayıcı (MAE) ile ön eğitilmiştir [20]. Üç mimarinin özellik çıkarım şemaları Şekil 2'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

EfficientNetV2-S'in en belirgin özelliği, derinlik-genişlik-çözünürlük boyutlarını sabit bir katsayı ile birlikte ölçeklendiren "bileşik ölçeklendirme" (compound scaling) stratejisidir. Eğitimin ilk aşamalarında Fused-MBConv bloklarının kullanılması, evrişim ve genişletme işlemlerini tek adımda birleştirerek eğitim hızını artırmakta; bu da modeli, sınırlı hesaplama kaynağına sahip ortamlarda (örneğin mobil sağlık uygulamaları) dağıtım için cazip kılmaktadır. Bu çalışmada EfficientNetV2-S, düşük parametre sayısıyla ulaşılabilecek performansın alt sınırını belirlemek amacıyla verimlilik odaklı bir referans model olarak seçilmiştir.

Swin Transformer-Tiny'nin öne çıkan özelliği, standart Vision Transformer'ın (ViT) aksine görüntüyü sabit boyutlu global bir dizi olarak değil, hiyerarşik ve yerel pencereler hâlinde işlemesidir. Kaydırmalı pencere (shifted window) mekanizması, ardışık katmanlarda pencereler arası bilgi akışını sağlayarak hesaplama karmaşıklığını görüntü boyutuyla doğrusal tutarken küresel bağlamı da yakalayabilmektedir. Bu özellik, Swin-Tiny'yi özellikle retina yüzeyine dağılmış mikroanevrizma ve eksüda gibi uzak lezyonlar arasındaki ilişkisel örüntüleri modellemede diğer iki mimariye kıyasla avantajlı kılmaktadır ve bu çalışmada dikkat tabanlı paradigmanın temsilcisi olarak tercih edilmiştir.

ConvNeXtV2-Base'in ayırt edici özelliği, klasik CNN'lerin güçlü indüktif önyargı (inductive bias) avantajını, Vision Transformer'lardan esinlenen büyük çekirdekli (7×7) derinlemesine evrişimler ve Global Yanıt Normalizasyonu (GRN) katmanıyla birleştirmesidir. GRN katmanı, kanal bazlı özellik rekabetini artırarak modelin nadir görülen ancak klinik açıdan kritik patolojik örüntüleri (örneğin erken evre optik disk çukurlaşması) öğrenme kapasitesini güçlendirmektedir. Ayrıca Maskeli Otokodlayıcı (MAE) tabanlı öz-denetimli ön eğitim stratejisi, modelin sınırlı etiketli tıbbi görüntü verisiyle dahi hızlı yakınsama sağlamasına imkân tanımaktadır. Bu nedenlerle ConvNeXtV2-Base, çalışmada hem yerel hem küresel özellik duyarlılığını bir arada sunması beklenen ana (merkezi) mimari olarak konumlandırılmıştır.



Şekil 2. Şekil 2. Kullanılan model mimarilerinin özellik çıkarım paradigmaları ve yapısal şemaları (Yazarların [26] numaralı çalışmasından uyarlanmıştır): (a) EfficientNetV2-S, (b) Swin Transformer-Tiny, (c) ConvNeXtV2-Base.

Deneysel Kurulum

Tüm deneyler NVIDIA Tesla T4 GPU üzerinde PyTorch ortamında yürütülmüştür. Modeller AdamW optimizasyon algoritması (öğrenme oranı = 1×10^{-4}, ağırlık azalması = 1×10^{-4}) ile eğitilmiş, öğrenme oranı CosineAnnealingLR (Tmax = 10) ile dinamik olarak ayarlanmıştır. Kayıp fonksiyonu olarak Çapraz Entropi Kaybı kullanılmış, eğitim 32'lik yığın (batch) boyutuyla 15 epoklu sabit bir sınır içinde ve 10 epok sabırlı erken durdurma mekanizmasıyla gerçekleştirilmiştir; Şekil 4'te görüldüğü üzere her iki eğitimde de sabır sınırı aşılmadığından eğitim 15 epokun tamamında sürdürülmüştür. Bellek verimliliği için Otomatik Karma Hassasiyet (AMP) teknolojisi kullanılmıştır.

Deneyler PyTorch 2.1 ve timm 0.9 kütüphane sürümleri kullanılarak, 16 GB VRAM bellek kapasitesine sahip tek bir NVIDIA Tesla T4 GPU üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Tüm deneylerde sonuçların tekrarlanabilirliğini sağlamak amacıyla rastgelelik tohumu (random seed = 42) sabitlenmiş; PyTorch, NumPy ve Python'un yerleşik rastgele sayı üreteçleri eş zamanlı olarak bu tohumla başlatılmıştır. Veri yükleyici (DataLoader), 4 paralel işçi (num_workers = 4) ve bellek sabitleme (pin_memory = True) ayarlarıyla yapılandırılarak G/Ç darboğazları en aza indirilmiştir. Sınıf dengesizliğinin sınırlı düzeyde olması nedeniyle (Tablo 1) ayrı bir sınıf ağırlıklandırma stratejisi uygulanmamış, ancak Makro-Ortalama metrikler tercih edilerek azınlık sınıflarının değerlendirmede yeterince temsil edilmesi sağlanmıştır. Her modelin en iyi doğrulama kaybına sahip ağırlıkları (checkpoint) otomatik olarak kaydedilmiş ve test aşamasında bu ağırlıklar kullanılmıştır.

Performans Metrikleri

Modellerin sınıflandırma başarımı Doğruluk (Accuracy), Kesinlik (Precision), Duyarlılık (Recall) ve F1-Skoru metrikleriyle değerlendirilmiş; her hastalık sınıfının klinik önemi eşit kabul edildiğinden Makro-Ortalama değerler birincil değerlendirme ölçütü olarak benimsenmiştir. Ayrıca, modellerin karar verme süreçlerini şeffaflaştırmak amacıyla Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping) algoritması kullanılarak ısı haritaları üretilmiştir [21]. Bu analizde, ısı haritalarının oluşturulması için her modelin en son özellik çıkarıcı evrişim katmanından (örneğin ConvNeXtV2-Base için son Global Yanıt Normalizasyonu - GRN katmanından) elde edilen gradyanlar ve aktivasyon haritaları kullanılmıştır.

BULGULAR

Genel Performans Karşılaştırması

840 görüntülük bağımsız test kümesi üzerinde elde edilen genel performans sonuçları Tablo 2'de sunulmaktadır. ConvNeXtV2-Base modeli, %97,14 doğruluk ve 0,9692 Makro F1 skoru ile tüm metriklerde en yüksek performansı göstermiştir. Swin-Tiny modeli %96,67 doğruluk ile çok yakın bir performans sergilemiş ve DR tanısında 1,0000 F1 skoruyla kusursuz bir sınıflandırma başarısı göstermiştir. Buna karşın EfficientNetV2-S, özellikle Glokom sınıfında 0,7473 F1 skoru ile belirgin biçimde daha düşük bir performans sunmuştur.

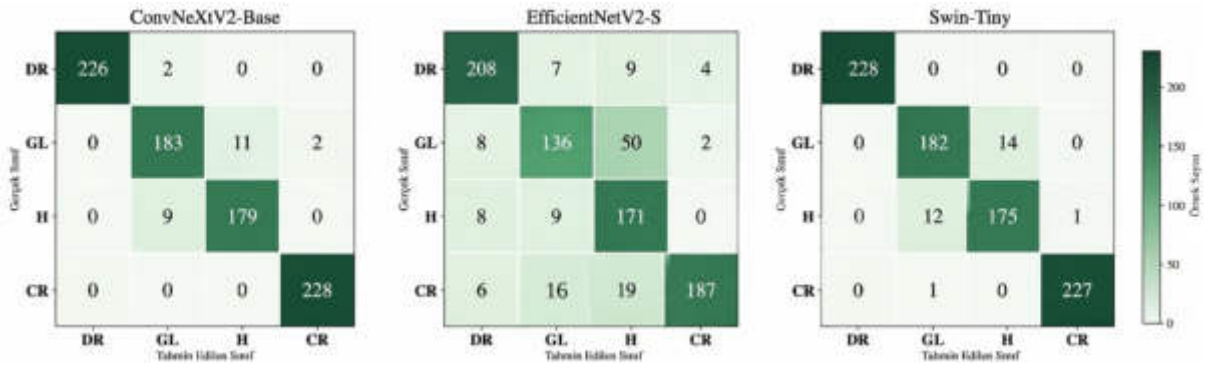
Tablo 2. Modellerin test kümesi üzerindeki genel performans karşılaştırması.

Model	Doğruluk	Makro Kesinlik	Makro Duyarlılık	Makro F1	Katarakt (F1)	DR (F1)	Glokom (F1)	Sağlıklı (F1)
ConvNeXtV2-Base	0,9714	0,9692	0,9693	0,9692	0,9956	0,9956	0,9385	0,9471
EfficientNetV2-S	0,8357	0,8424	0,8340	0,8316	0,8884	0,9083	0,7473	0,7826
Swin-Tiny	0,9667	0,9637	0,9638	0,9637	0,9956	1,0000	0,9310	0,9284

Karmaşıklık Matrisleri ve Sınıf Bazlı Analiz

Sınıf bazlı ayırt edici performans, Şekil 3'te sunulan karmaşıklık matrisleriyle incelenmiştir. EfficientNetV2-S, Katarakt sınıfında %18'lik bir hata oranıyla düşük kararlılık gösterirken; Swin-Tiny DR sınıfındaki 228 vakanın tamamını, ConvNeXtV2-Base ise Katarakt sınıfındaki 228 vakanın tamamını doğru sınıflandırarak bu sınıflarda %100 duyarlılığa ulaşmıştır.

Modeller arasındaki en belirgin performans farkı, klinik olarak birbirinden ayırt edilmesi en zor yapılar olan Glokom ve Sağlıklı sınıfları arasında görülmüştür. ConvNeXtV2-Base, 196 Glokom vakasından 183'ünü doğru sınıflandırarak (11 YP, 13 YN) en yüksek duyarlılığı göstermiş; hataların büyük kısmı Glokom'un Sağlıklı olarak yanlış sınıflandırılmasından (11 vaka) kaynaklanmıştır. Aynı patolojide Swin-Tiny 14 yanlış negatifle daha yüksek bir klinik risk payı taşırken, EfficientNetV2-S 50 Glokom vakasını Sağlıklı olarak yanlış sınıflandırarak en düşük duyarlılığı sergilemiştir.



Şekil 3. Tüm modellerin karmaşıklık matrislerinin karşılaştırılması. (DR: Diyabetik Retinopati, GL: Glokom, H: Sağlıklı, CR: Katarakt).

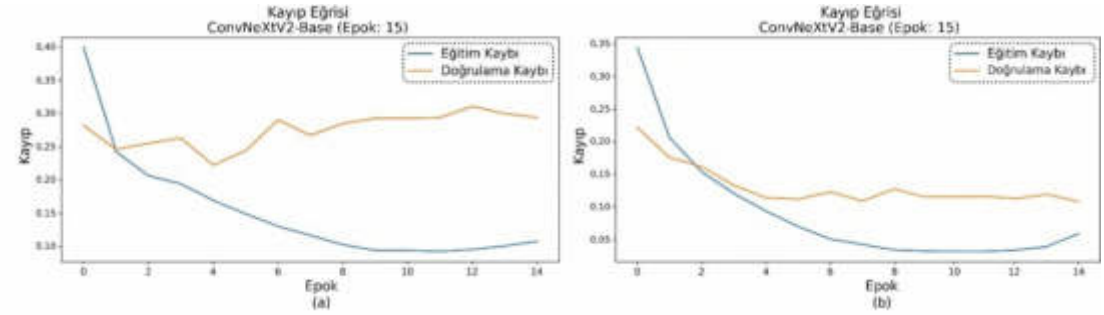
Ablasyon Çalışmaları

Mimari bileşenlerin etkisini incelemek amacıyla yapılan ilk ablasyon çalışmasında model kapasitesi ile tanısal doğruluk arasında doğrudan bir ilişki gözlemlenmiştir: 87,70 M parametreye sahip ConvNeXtV2-Base en yüksek doğruluğu (0,9714) sağlarken, en düşük parametre sayısına (20,18 M) sahip EfficientNetV2-S en düşük performansı (0,8357) sergilemiştir; 27,52 M parametreli Swin-Tiny ise 0,9667 doğrulukla bu ikisi arasında konumlanmıştır (Tablo 4). İkinci ablasyon çalışmasında, en iyi performans gösteren ConvNeXtV2-Base mimarisi hem orijinal hem de artırılmış veri setiyle ayrı ayrı eğitilerek veri artırmanın genelleme kapasitesine katkısı ölçülmüştür (Tablo 3). Sonuçlara göre, model parametre sayısı sabit kalmasına rağmen, veri artırma stratejisi doğruluğu %4,64, Makro F1 skorunu ise %5,22 oranında artırmıştır; en yüksek göreli kazanım %5,70 ile Duyarlılık (Recall) metriğinde elde edilmiştir.

Tablo 3. ConvNeXtV2-Base modelinde orijinal ve artırılmış verinin performansa etkisi.

Metrik	Orijinal	Orijinal + Artırılmış	Göreli Kazanım (%)
Doğruluk	0,9283	0,9714	+4,64
Makro Kesinlik	0,9350	0,9692	+3,66
Makro Duyarlılık	0,9170	0,9693	+5,70
Makro F1-skoru	0,9211	0,9692	+5,22

Bu bulgular, eğitim ve doğrulama kayıp eğrileriyle de doğrulanmıştır (Şekil 4). Artırma uygulanmadığında doğrulama kaybı düzensiz salınımlar göstererek eğitim kaybından uzaklaşmakta ve aşırı öğrenmeye (overfitting) işaret etmektedir; dinamik veri artırma uygulandığında ise kayıp eğrileri çok daha düzenli bir azalma göstermekte ve doğrulama kaybı eğitim kaybıyla uyumlu bir şekilde ilerlemektedir.



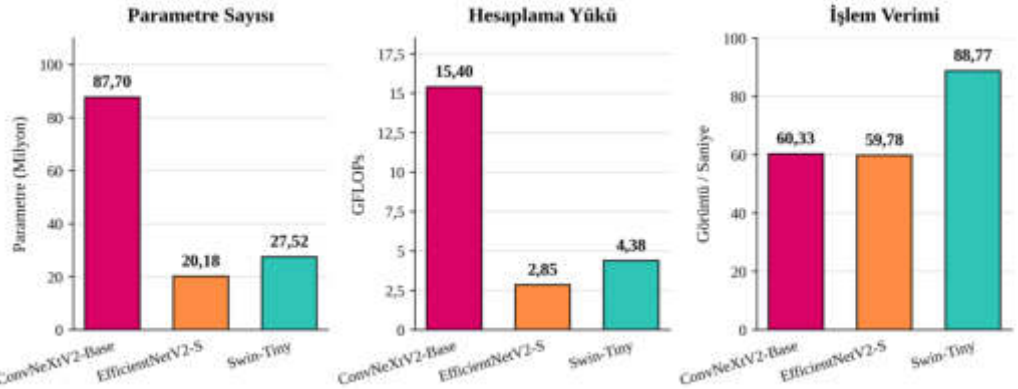
Şekil 4. ConvNeXtV2-Base modeli eğitim ve doğrulama kayıp eğrileri. (a) orijinal veri, (b) orijinal + artırılmış veri.

Hesaplama Karmaşıklığı ve Klinik Uygulanabilirlik

Gerçek zamanlı klinik tarama sistemlerine uygunluğu değerlendirmek amacıyla modellerin hesaplama yükü (GFLOPs), verim (Throughput) ve çıkarım süresi (Inference Time) karşılaştırılmıştır (Tablo 4, Şekil 5). Swin-Tiny, en düşük çıkarım süresi (~11,26 ms) ve en yüksek verim (88,77 görüntü/sn) ile gerçek zamanlı tarama sistemleri için en uygun mimari olarak öne çıkmıştır. Dikkat çekici bir bulgu olarak, ConvNeXtV2-Base yaklaşık dört kat daha fazla parametreye (87,70 M) ve beş kat daha yüksek GFLOPs değerine sahip olmasına rağmen, EfficientNetV2-S'e (16,73 ms) neredeyse eşit, hatta marjinal olarak daha hızlı bir çıkarım süresi (16,57 ms) sunmuştur; bu durum, modern GPU donanımında ConvNeXtV2 mimarisinin yüksek paralelleştirme ve çekirdek optimizasyon kabiliyetlerini ortaya koymaktadır.

Tablo 4. Sunulan modellerin karmaşıklık ve işlem hızı analizi.

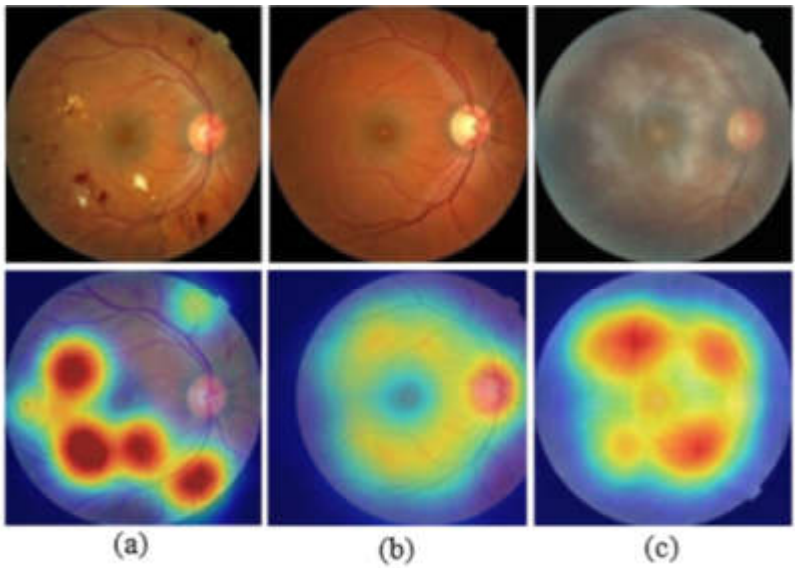
Model	GFLOPs	Verim (görüntü/sn)	Çıkarım Süresi (ms)	Parametre (M)
ConvNeXtV2-Base	15,40	60,33	16,57	87,70
EfficientNetV2-S	2,85	59,78	16,73	20,18
Swin-Tiny	4,38	88,77	11,26	27,52



Şekil 5. Modellerin mimari karmaşıklığı (parametre sayısı, GFLOPs) ve işlemsel performansının (görüntü/sn) karşılaştırılması.

Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI) ve Grad-CAM Analizi

Modellerin karar verme süreçlerini şeffaflaştırmak amacıyla üretilen Grad-CAM ısı haritaları, sınıflandırma kararlarının klinik olarak anlamlı biyobelirteçlere dayandığını doğrulamaktadır (Şekil 6). DR vakalarında aktivasyonların retina yüzeyindeki mikroanevrizma ve sert eksüda gibi mikro-lezyonlar üzerinde; Katarakt vakalarında ise aktivasyonun, lens opasitesinin fundus görüntüsüne yansıttığı bulanıklık ve kontrast kaybı bölgelerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Nitel hata analizinde, en sık karıştırılan sınıf çiftinin Glokom ile Sağlıklı olduğu (toplam 20 hatalı tahmin) belirlenmiştir; ConvNeXtV2-Base modeli 11 Glokom vakasını Sağlıklı (yanlış negatif), 9 Sağlıklı vakayı ise Glokom (yanlış pozitif) olarak sınıflandırmıştır. Bu durum, sınırda kalan Glokom örneklerinin optik disk çukurlaşmasını taklit eden fizyolojik varyasyonlar sergilediğini ve iki boyutlu fundus görüntülemenin uzamsal çözünürlük sınırlarını zorladığını; dolayısıyla uzman oftalmologların da tanı konsensüsünde benzer güçlüklerle karşılaştığı senaryoyu yansıttığını göstermektedir.



Şekil 6. ConvNeXtV2 modelinin Tanısal biyobelirteçlere odaklanan Grad-CAM tabanlı ısı haritaları için (a) Diyabetik Retinopati (b) Glokom ve (c) Katarakt sınıflarına ait örnekler; üst sıra orijinal fundus görüntüsü, alt sıra karşılık gelen Grad-CAM ısı haritasıdır.

TARTIŞMA

Bu çalışmanın en çarpıcı bulgularından biri, modernize edilmiş bir evrişimli yapı olan ConvNeXtV2-Base'in %97,14 doğruluk ve %96,92 Makro F1 skoruyla en yüksek genel performansı sunmasıdır. Bu başarı, ViT tarzı büyük çekirdekli evrişimler ve katman normalizasyonu gibi tasarım ilkelerinin, CNN'lerin yerel özellik çıkarımındaki güçlü indüktif önyargı avantajıyla optimize edilmiş bir şekilde birleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. ConvNeXtV2 modelinin, klinik açıdan en zorlayıcı sınıflar olan Glokom (%93,85) ve Sağlıklı (%94,71) sınıflarında en kararlı F1 skorlarına ulaşması, modelin optik disk çukurlaşması gibi mikroskobik morfolojik değişimleri ayırt etmedeki güçlü performansını doğrulamaktadır. Bu sonuçlar, literatürde klasik evrişimli modeller (örneğin ResNet vb.) kullanılarak elde edilen nispeten daha düşük (çoğunlukla %90-93 bandındaki) doğruluk düzeylerinin [22,23] belirgin şekilde üzerine çıkmaktadır.

Çalışmanın bir diğer özgün bulgusu, tam dikkat tabanlı bir Swin Transformer olan Swin-Tiny modelinin özellikle DR sınıfında %100 F1 skoruyla kusursuz bir performans sergilemesidir. Bu sonuç, hiyerarşik kaydırmalı pencere mekanizmasının, retina yüzeyine dağılmış mikroanevrizma ve eksüdalar arasındaki küresel uzamsal ilişkileri modellemedeki üstün yeteneğini kanıtlamaktadır ve Transformer tabanlı yapıların karmaşık patolojik örüntüler içeren fundus görüntülerinde CNN'lere kıyasla daha geniş bir alım alanında genelleme yapabildiğine ilişkin literatür bulgularını desteklemektedir [24]. Ayrıca Swin-Tiny'nin 11,26 ms'lik en düşük çıkarım süresi, hiyerarşik ViT yapılarının operasyonel verimlilik avantajlarıyla tutarlıdır [25].

Ablasyon çalışmaları, dinamik veri artırma stratejilerinin modellerin genelleme yeteneklerine Makro F1 skorunda %5,22'lik bir artışla katkı sağladığını göstermiştir. Orijinal fundus görüntülerinin stratejik veri artırma teknikleriyle 4.920'den 16.717'ye çıkarılması, özellikle nadir patolojik varyasyonların tespit oranındaki duyarlılık kazanımını (Recall için +%5,70) artırmıştır. Bu bulgu, veri çeşitliliğinin yapay sinir ağlarının karar sınırlarını istikrara kavuşturduğunu ortaya koyan önceki çalışmalarla örtüşmektedir [17]. Görsel olarak, kayıp eğrileri de bu artırmanın etkisini doğrulamış; artırma uygulanmadığında modelin sınırlı veri setine aşırı uyum sağlama eğilimi gösterdiği, artırma ile birlikte ise doğrulama kaybının eğitim kaybıyla uyumlu ve düzenli bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

Tıp alanında, özellikle patoloji tespitine yönelik yapay zeka çalışmalarında yalnızca yüksek doğruluk değerlerinin raporlanması, tanısal güvenilirlik için yeterli bir ölçüt olarak kabul edilmemektedir. Bu çalışmada, en kritik klinik bulgularından biri hata analizidir: modellerin yaptığı hataların büyük çoğunluğunun Glokom ve Sağlıklı sınıfları arasında kümelenmesi, derin öğrenme mimarilerinin, uzman klinisyenler için de en zorlayıcı yönü olan erken evre glokomatöz değişiklikler ile fizyolojik optik disk varyasyonları arasındaki ince çizgiyi yansıttığını göstermektedir.

Çalışmanın temel kısıtlarından biri, bağımsız bir kamuya açık retinal veri seti ile harici doğrulamanın yapılmamış olmasıdır; bu durum önerilen çerçevenin doğrulanabilir klinik genellenebilirliğini sınırlamaktadır. Ayrıca 224×224 piksele küçültme işleminin bir tür alçak geçiren filtre etkisi yaratarak mikro optik disk çukurlaşması gibi ince yapısal detayları gizleyebileceği ve bunun Glokom-Sağlıklı ayrımındaki hatalara katkıda bulunmuş olabileceği değerlendirilmektedir. Gelecek çalışmalarda, optik sinire odaklanan segmentasyon tabanlı hibrit mimarilerin ve çok etiketli (multi-label) sınıflandırma yaklaşımlarının incelenmesi, ayrıca modellerin daha geniş spektrumlu klinik veri setleri üzerinde genelleme kapasitesinin test edilmesi planlanmaktadır [6].

SONUÇ

Bu çalışma, oftalmolojik alanda güçlü potansiyele sahip güncel derin öğrenme mimarilerinin kapsamlı bir karşılaştırmalı analizini sunmaktadır. Vision Transformer ilkeleriyle modernize edilmiş ConvNeXtV2-Base, CNN'lerin yerel özellik yakalama kabiliyetini (indüktif önyargı) Transformer'ların küresel bağlam kapasitesiyle güçlü biçimde bütünleştirerek %97,14 doğrulukla en kararlı mimari olarak öne çıkmıştır. Hiyerarşik dikkat mekanizmasına sahip Swin Transformer, DR vakalarında %100 F1 skoruyla hastalığa özgü optimizasyonda üstünlük göstermiş; Katarakt tanısında ise her iki model de %99'un üzerinde performansla bu patolojinin dijital biyobelirteçlerinin yüksek doğrulukla temsil edilebildiğini kanıtlamıştır. Grad-CAM görselleştirmeleri, modellerin kara kutu olmaktan ziyade opasite alanları ve eksüdalar gibi klinik açıdan doğru anatomik bölgelere odaklandığını doğrulamıştır. Son olarak, Swin-Tiny'nin 88,77 görüntü/sn'lik verimi ve 11,26 ms'lik çıkarım süresi gerçek zamanlı tarama uygulamaları için, ConvNeXtV2-Base'in %97,14'lük doğruluğu ise tanısal kesinliğin öncelikli olduğu merkezi değerlendirme senaryoları için optimal bir denge sunmaktadır. Sonuç olarak bu çalışma, modern derin öğrenme modellerinin, istatistiksel titizlik ve açıklanabilirlikle desteklendiğinde retinal hastalıkların otomatik tanısında uzman klinisyenlere birincil düzeyde yardımcı olabilecek bir referans niteliği taşıdığını göstermektedir.

KAYNAKÇA

[1] Dünya Sağlık Örgütü (WHO), World Report on Vision, World Health Organization, Cenevre, 2019.

[2] S.R. Flaxman, R.R.A. Bourne, S. Resnikoff, et al., "Global causes of blindness and distance vision impairment 1990–2020: a systematic review and meta-analysis", Lancet Global Health, 5(12), e1221–e1234, 2017.

[3] J.W.Y. Yau, S.L. Rogers, R. Kawasaki, et al., "Global prevalence and major risk factors of diabetic retinopathy", Diabetes Care, 35(3), 556–564, 2012.

[4] H.A. Quigley, A.T. Broman, "The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020", British Journal of Ophthalmology, 90(3), 262–267, 2006.

[5] H. Hashemi, R. Pakzad, A. Yekta, et al., "Global and regional prevalence of age-related cataract: a comprehensive systematic review and meta-analysis", Eye, 34(8), 1357–1370, 2020.

[6] Z. Lu, J. Miao, J. Dong, et al., "Automatic Multilabel Classification of Multiple Fundus Diseases Based on Convolutional Neural Network With Squeeze-and-Excitation Attention", Translational Vision Science & Technology, 12(1), 22, 2023.

[7] D.S.W. Ting, C.Y.L. Cheung, G. Lim, et al., "Development and Validation of a Deep Learning System for Diabetic Retinopathy and Related Eye Diseases Using Retinal Images From Multiethnic Populations With Diabetes", JAMA, 318(22), 2211–2223, 2017.

[8] T. Li, W. Bo, C. Hu, H. Kang, H. Liu, K. Wang, H. Fu, "Applications of deep learning in fundus images: A review", Medical Image Analysis, 69, 101971, 2021.

[9] R. Abbasi, F. Amin, A. Alabrah, G.S. Choi, S. Khan, M.B. Bin Heyat, M.S. Iqbal, H. Chen, "Diabetic retinopathy detection using adaptive deep convolutional neural networks on fundus images", Scientific Reports, 15, 24647, 2025.

[10] S. Al-Fahdawi, A.S. Al-Waisy, D.Q. Zeebaree, R. Qahwaji, H. Natiq, M.A. Mohammed, J. Nedoma, R. Martinek, M. Deveci, "Fundus-DeepNet: Multi-label deep learning classification system for enhanced detection of multiple ocular diseases through data fusion of fundus images", Information Fusion, 102, 102059, 2024.

[11] A. Ramis Uulu, G. Gimaletdinova, Z. Orozakhunov, "Eye Disease Classification Using Deep Learning Approaches: A Case Study on Retinal Images", Preprints, 2024. doi:10.20944/preprints202412.1996.v2.

[12] A. Fitriatuzzahra, N. Rosmawarni, P. Hamonangan Kinantan, "Implementation of EfficientNet-B0 CNN Architecture for Classification of Eye Diseases Based on Fundus Image: Normal, Cataract, Diabetic Retinopathy, and Glaucoma", Proceedings of the International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Information System (ICIMCIS), 543–546, 2024.

[13] O. Sivaz, M. Aykut, "Combining EfficientNet with ML-Decoder classification head for multi-label retinal disease classification", Neural Computing and Applications, 36(23), 14251–14261, 2024.

[14] M.M. Haque, S. Akter, A.F. Ashrafi, "SwinMedNet: Leveraging Swin Transformer for Robust Diabetic Retinopathy Classification from the RetinaMNIST2D Dataset", Proceedings of the 6th International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT), 1286–1291, 2024.

[15] R.K. Addya, S. Banerjee, R.K. Ghosh, H. Taherdoost, "KAN-Augmented ConvNeXt Model for Robust Multi-Class Diabetic Retinopathy Detection", SSRN Preprint, 2025. doi:10.2139/SSRN.5375893.

[16] M.R. Rashid, S. Sharmin, T. Khatun, M.Z. Hasan, M.S. Uddin, "Eye disease image dataset", Mendeley Data, V1, 2024.

[17] C. Shorten, T.M. Khoshgoftaar, "A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning", Journal of Big Data, 6, 60, 2019.

[18] Tan, M., & Le, Q. (2021, July). Efficientnetv2: Smaller models and faster training. In International conference on machine learning (pp. 10096-10106). PMLR.

[19] Z. Liu, Y. Lin, Y. Cao, et al., "Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer using Shifted Windows", Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 10012–10022, 2021.

[20] S. Woo, S. Debnath, R. Hu, et al., "ConvNeXt V2: Co-Designing and Scaling ConvNets With Masked Autoencoders", Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 16133–16142, 2023.

[21] R.R. Selvaraju, M. Cogswell, A. Das, R. Vedantam, D. Parikh, D. Batra, "Grad-CAM: Visual Explanations From Deep Networks via Gradient-Based Localization", Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 618–626, 2017.

[22] Aslam, J., Arshed, M. A., Iqbal, S., & Hasnain, H. M. (2024). Deep Learning Based Multi-Class Eye Disease Classification: Enhancing Vision Health Diagnosis. *Technical Journal of University of Engineering & Technology Taxila*, *29*(1), 7.

[23] K.S. Babu, G. Saranya, K. Santhoshkumar, T. Babu, M.V. Thirumala, D. Venkatareddy, "Optimized Deep Learning for Multi-Class Retinal Disease Classification Using ResNet-101", Proceedings of the First International Conference for Women in Computing (InCoWoCo), 1–6, 2024.

[24] A. Sayğılı, Ö.M. Atıcı, "Enhancing Retinal Disease Detection With the Swin Transformer: A Comprehensive Comparative Analysis", Concurrency and Computation: Practice and Experience, 37(27-28), e70366, 2025.

[25] P. Song, Y. Wu, "DR-ConvNeXt: DR classification method for reconstructing ConvNeXt model structure", Journal of X-Ray Science and Technology, 33(2), 448–460, 2025.

[26] Balcı, M., & Alkan, A. (2026). A Comparative Analysis of Modern CNN and Transformer Architectures for Multi-Class Retinal Disease Classification with Statistical Validation and Explainability. *Neurocomputing*, 134387.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ARIZA ÖRNEKLERİ VE ALGILAMA SİMÜLASYONU İLE DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE TEMAS GERİLİMİ TESPİTİ

Barış Görkem ASLAN
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
ORCID: 0009-0005-9042-5962

Prof. Dr. Murat AKSOY
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
ORCID: 0000-0002-6980-5902

ÖZET
Bu çalışmada, elektrik dağıtım şebekelerinde işletme güvenliği ve kamu sağlığını tehdit eden kaçak gerilim ve temas gerilimi olguları teorik, saha tespitleri ve simülasyon çalışmalarıyla bütüncül olarak incelenmiştir. Normal işletim şartlarındaki nötr/toprak empedansından kaynaklanan zararsız kaçak gerilimlerin aksine; temas gerilimlerinin kablo yalıtım bozulmaları, hatalı montajlar, kaza veya araç çarpmaları ve vandalizm gibi aktif sistemsel arızalar sonucu oluştuğu ve insan/hayvan sağlığı için ölümcül seviyelere ulaşabildiği vurgulanmıştır.
Saha analizlerinde; aydınlatma direkleri, sokak panoları ve trafik levhalarının altyapı kablolarına hasar vermesi gibi durumlarda erişilebilir metal yüzeylerin şebeke gerilimi seviyesine çıkabildiği gösterilmiştir. Ölçüm ve tespit süreçlerinde kapasitif kuplaj kaynaklı yanıltıcı "hayali gerilimleri" engellemek için insan vücudu empedansını simüle eden 3000 Ω şönt direnç kullanımının önemi değerlendirilmiştir. Arıza kaynağının doğru teşhisi için Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD) kriterleri sunulmuştur: THD oranının %5'in altında olması doğrudan bir faz yalıtım arızasını (tehlikeli temas gerilimini) gösterirken, %10'un üzerindeki değerler nötr dönüş yolu veya nötr-toprak gerilimi (NEV) problemlerini doğrulamaktadır.
Ayrıca, geniş kentsel alanlarda tarama yapan araç üstü veya el tipi temassız algılama sistemlerini modellemek amacıyla, enerjilenmiş yüzeylerin 2 metre mesafeden elektrik alan değişimiyle tespiti üzerine simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Yüzen toprak referanslı bu sistemlerde, çok düşük giriş akımına sahip opamp (LMC6001) mimarisi kullanılarak yüksek empedanslı algılama hatlarında gerilim çökmesi engellenmiş, kararlı ve yüksek doğrulukta sinyal tespiti sağlanmıştır. Çalışmanın sunduğu teorik ve deneysel çıktılar, elektrik dağıtım şebekelerinde kamu güvenliğini artıracak proaktif erken uyarı ve taşınabilir tespit teknolojilerinin geliştirilmesine önemli bir altyapı oluşturmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Temas gerilimi, Kaçak gerilim, Temassız gerilim tespiti, Yüzer toprak.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

CONTACT VOLTAGE DETECTION IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH FAULT EXAMPLES AND SENSING SIMULATION

ABSTRACT

In this study, stray voltage and contact voltage phenomena, which threaten operational safety and public health in electrical distribution networks, have been investigated comprehensively through theoretical analysis, field findings, and simulation studies. In contrast to harmless stray voltages resulting from the impedance of the neutral/earth network under normal operating conditions, it has been emphasized that contact voltages arise from active system faults—such as cable insulation failures, improper installations, accidents or vehicle impacts, and vandalism—and can reach lethal levels for humans and animals.

In field analyses, it has been shown that accessible metal surfaces can rise to grid voltage levels in cases such as insulation issues on lighting poles, damage to underground cables caused by traffic signs, and damaged street cabinets. The importance of using a 3000 Ω shunt resistor, which simulates human body impedance, has been evaluated to eliminate misleading "ghost voltages" caused by capacitive coupling during measurement and detection processes. Total Harmonic Distortion (THD) criteria have been presented for the accurate diagnosis of the fault source: a THD ratio below 5% directly indicates a phase insulation fault (dangerous contact voltage), whereas values above 10% confirm neutral return path or neutral-to-earth voltage (NEV) problems.

Furthermore, to model vehicle-mounted or handheld non-contact detection systems scanning large urban areas, simulation studies were conducted on the detection of energized surfaces from a distance of 2 meters using electric field variations. In these floating ground reference systems, an op-amp architecture with a very low input current (LMC6001) was utilized to prevent voltage collapse in high-impedance sensing circuits, enabling stable and highly accurate signal detection. The theoretical and experimental outputs provided by this study establish an important foundation for the development of portable detection technologies and proactive early warning systems that will enhance public safety in electrical distribution networks.

Keywords: Contact voltage, Stray voltage, Non-contact voltage detection, Floating ground.

GİRİŞ

Elektrik dağıtım şebekelerinin işletimi sırasında, insanların ve hayvanların erişebileceği noktalarda meydana gelen gerilim potansiyelleri, şebeke işletme güvenliği ve kamu sağlığı açısından kritik bir araştırma konusudur. Bu bağlamda, teknik literatürde ve standartlarda sıklıkla karıştırılan iki temel olgunun kesin sınırlarla ayrılması gerekmektedir: kaçak gerilim (stray voltage) ve temas gerilimi (contact voltage). Kaçak gerilim, herhangi bir elektriksel arıza olmaksızın, elektrik enerjisinin normal iletimi ve kullanımı esnasında nötr/toprak ağının empedansından kaynaklanan, genellikle canlılar için hissedilemez seviyedeki düşük gerilim potansiyellerini ifade eder. Buna karşın temas gerilimi, kablo yalıtımının bozulması, açık veya yüksek dirençli nötr iletkeni gibi doğrudan aktif bir sistemsel arıza (hata) sonucunda, insanların veya hayvanların aynı anda dokunabileceği yüzeyler arasında meydana gelen ve ölümcül seviyelere ulaşabilen tehlikeli gerilimlerdir[1].

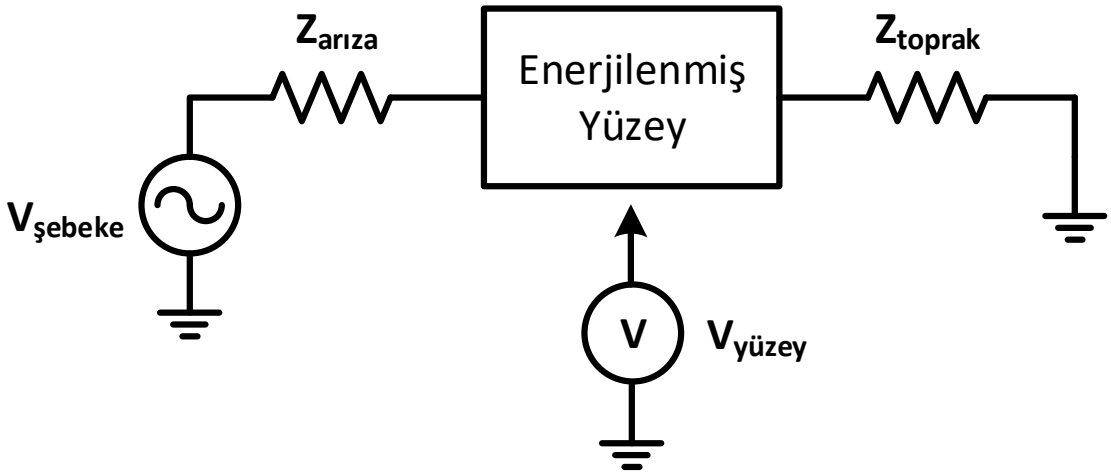
Elektrik şebekelerinde ortaya çıkan gerilim potansiyellerinin tespiti ve ölçümü kamu güvenliği açısından hayati olup; geniş kentsel alanlar elektrik alan algılama sistemleriyle taranırken, noktasal doğrulamalarda el tipi elektrik alan detektörleri ve düşük empedans üzerinden ölçüm özellikli voltmetreler kullanılmaktadır[1].

Ölçümlerde kapasitif kuplaj kaynaklı yanıltıcı hayali gerilimleri engellemek amacıyla devrelere paralel olarak insan vücudunu simüle eden (temas gerilimi doğrulamalarında kararlı sonuç veren 3000Ω) şönt dirençler de bağlanmaktadır[2].
Tespit edilen potansiyelin kaynağını teşhis etmek için yapılan harmonik analizlerde, Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD) oranının %5'in altında olması faz hattı yalıtım arızasını (tehlikeli temas gerilimini) gösterirken, %10'un üzerindeki değerler doğrusal olmayan yüklerin baskın olduğu nötr dönüş yolu veya nötr-toprak gerilimi (NEV) problemlerini doğrulamaktadır[3].

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

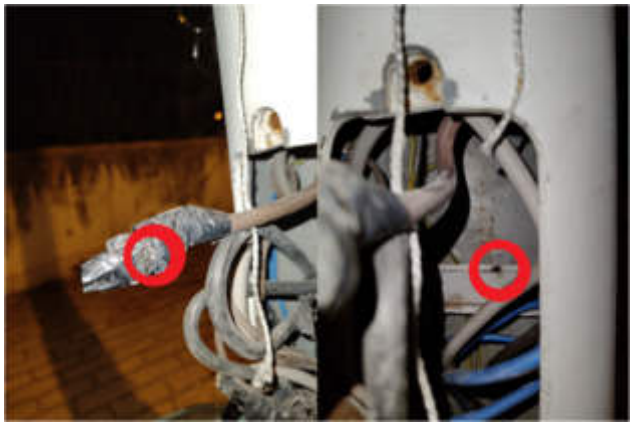
Temas Gerilimi Oluşturan Arızalar

Temas gerilimi, sistemdeki yalıtım hataları veya fiziki hasarlar sonucu normalde enerjisiz olması gereken iletken yüzeylerin enerjilenmesiyle oluşur. Başlıca nedenleri şunlardır:
Çevresel Etkenler: Nem, korozyon, titreşim ve yıldırımın yalıtımı ve nötr dönüş hatlarını bozması.
Tasarım ve Montaj Hataları: Yetersiz koruma, yanlış bileşen seçimi ve standartlara uyulmadan yapılan hatalı montajlar.
Fiziki ve Dış Hasarlar: Kazı, kaza ve yangınlar; hayvanların kablolara zarar vermesi.
Vandalizm ve Hırsızlık: Nötr/toprak iletkenlerinin çalınması, koruma kapaklarının sökülmesi ve kaçak bağlantılar.
İşletme Hataları: Bakım/test sonrası yetersiz izolasyon ve usulüne uygun yapılmayan geçici hat bağlantıları[1].



Şekil 1: Temas gerilimi kaynaklı arızalara ilişkin eşdeğer devre.

Şekil 1'de gösterildiği gibi temas gerilimlerinin oluşması durumunda enerjilenmiş yüzeydeki gerilim, toprak empedansı üzerindeki gerilim ile aynı olmaktadır. Şebekedeki bileşenlerin standartlara uygun bir şekilde topraklanması temas gerilimindeki riskleri de düşürmektedir.
Arıza empedansının düşük olması ise enerjilenmiş yüzeyin neredeyse şebeke gerilimi seviyelerine çıkmasını sağlamaktadır.



Şekil 2: Aydınlatma direğinde, direk gövdesine faz teması örneği.

Şekil 2'de aydınlatma direğindeki faz kablolarının bağlantısında yaşanan izolasyon sorunu sebebiyle direk gövdesine faz teması gösterilmiştir.



Şekil 3: Trafik levhasının alçak gerilim kablosuna hasar vermesi sonucu oluşan arıza örneği.

Şekil 3'de trafik levhasının hatalı montajı sonucunda yeraltı alçak gerilim kablosuna verdiği hasar gösterilmiştir. Arıza empedansı çok düşük olduğundan trafik levhası üzerinde şebeke gerilimine yakın bir gerilim görülmüştür.

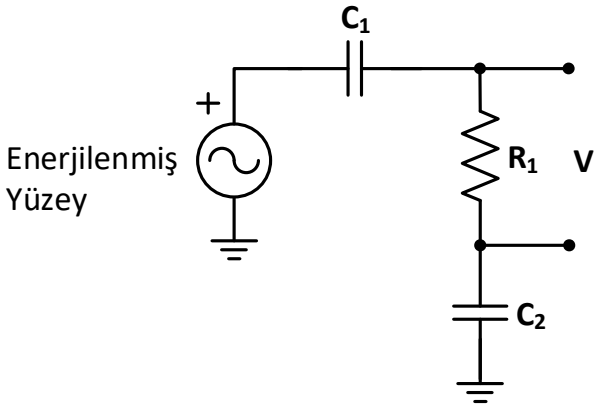


Şekil 4: Sokak panosunda gövdeye faz teması örneği.

Şekil 4'te sokak panosuna araç çarpması sonucu, panonun kaidesinden ayrılıp yan dönmesi ve bunun sonucunda kabloların gerilerek hasar gördüğü bir arıza örneği verilmiştir. Gerilme sonrası pano içerisindeki faz kablosunda izolasyon hatası meydana gelmiş ve tüm pano yüzeyi enerjilenmiştir.

Temas Gerilimi Tespiti

Temas geriliminin tespit ve doğrulama süreçleri, elektrik dağıtım sistemlerindeki kamu güvenliği risklerinin proaktif olarak yönetilmesinde son derece kritik bir aşamayı temsil etmektedir. Kentsel alanlarda aydınlatma direkleri, menhol kapakları ve kaldırımlar gibi geniş yüzeylerin taranmasında, araç üstü mobil elektrik alan algılama sistemlerinden etkin bir şekilde yararlanılmaktadır[1]. Elektrik alanı algılamasında kullanılan araç üstü ve el tipi bataryalı cihazlar, yüzen toprak referansına sahip olup doğrudan bir toprak bağlantısına ihtiyaç duymadan taşınabilir bir yapıda çalışmaktadır[4, 5, 6].



Şekil 5: Elektrik alan ölçümü eşdeğer devresi.

Temas gerilimi tespitinde kullanılan sensörün algılama metodu kapasitif kuplaj prensibine dayanmaktadır. Şekil 5'te verilen eşdeğer devre şemasında C1 kapasitörünün bir plakası enerjilenmiş metal yüzeyi, diğer plakası ise elektrik alan sensörünü temsil etmektedir.

C2 kapasitörünün bir plakası sensör devresinin referansını, diğer plakası ise toprağı temsil etmektedir. R1 direnci üzerine düşen gerilim vasıtasıyla ölçüm yapılmaktadır[3, 5, 6].

Temassız Elektrik Alan Ölçümü Simülasyon Çalışmaları

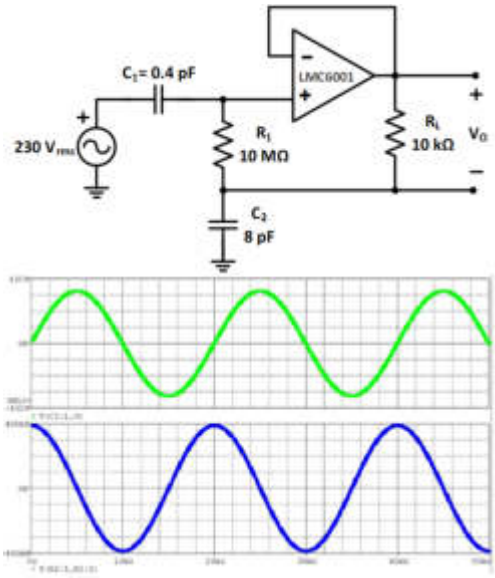
30cm x 30cm boyutlarında enerjilenmiş bir ekipman yüzeyi ve 30cm x 30cm sensör içeren sistem için 2m mesafeden tespit yapıldığında enerjilenmiş yüzey ve sensör arasında oluşan kapasitör;

$$C_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{0.3\ X\ 0.3}{2} = 0.398pF \qquad (1)$$

Yine 30cm x 30cm boyutlarında ve toprağa 10cm uzaklıktaki toprak referansı (yüzen toprak) kapasitörü;

$$C_2 = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{0.3\ X\ 0.3}{0.1} = 7.97pF \qquad (2)$$

olarak elde edilir.



Şekil 6: Elektrik alan ölçümü simulasyon devresi ve çıktıları.

Şebeke geriliminde (230V RMS) enerjilenmiş bir yüzey için elde edilen simülasyon çıktıları (Vp=400mV) Şekil 6'da verilmiştir.

Opamp girişindeki 10MΩ direnç, yüksek empedansa sahip giriş devresindeki gerilimi ölçülebilir hale getirmiştir. Devrede çok düşük giriş akımlı LMC6001 opamp kullanılarak giriş kısmındaki yüksek empedanslı kısımdan akım çekilmesi ve gerilimin çökmesi engellenerek ölçüm doğruluğu artırılmıştır[4].

Devrede ADA4530-1 gibi daha yüksek giriş empedanslı ve yeni nesil entegrelerin kullanımının da ölçüm hassasiyetini ve doğruluğunu artıracağı öngörülmektedir.

SONUÇ

Elektrik dağıtım şebekelerinde kamu sağlığı ile işletme güvenliğini tehdit eden kaçak gerilim ve temas gerilimi olguları; teorik temelleri, saha bulguları ve simülasyon modelleriyle bütüncül bir yaklaşımla incelenmiştir.

Çalışmada, kaçak gerilimlerin normal şebeke işletimi sırasındaki nötr/toprak empedansından kaynaklanan düşük potansiyeller olduğu, buna karşın temas gerilimlerinin yalıtım bozulmaları ve dış hasarlar sonucu meydana gelen hayati riskli aktif arızalardan türediği açıkça ortaya konmuştur. Aydınlatma direkleri, sokak panoları ve alçak gerilim kabloları üzerinde gerçekleştirilen saha analizleri; araç çarpması, yanlış montaj ve altyapı müdahaleleri gibi fiziksel etkenlerin erişilebilir metal yüzeylerde şebeke gerilimi seviyelerine varan tehlikeli potansiyeller oluşturduğunu doğrulamıştır.

Arıza tespiti ve ölçüm güvenliği süreçlerinde karşılaşılan en büyük zorluklardan biri olan kapasitif kuplaj kaynaklı hayali gerilimlerin elenmesi amacıyla, insan vücudu empedansını simüle eden (3000Ω) şönt dirençlerin teşhis süreçlerindeki kritik rolü değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, potansiyel kaynağının tipini ayrıştırmak üzere sunulan harmonik analiz kriterlerinde, Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD) %5'in altında kaldığında arızanın doğrudan faz yalıtım hatası kaynaklı temas gerilimi olduğu; THD'nin %10'u aştığı durumlarda ise sorunun nötr dönüş yolu veya nötr-toprak gerilimi (NEV) problemlerinden doğduğu belirlenmiştir.

Son olarak, geniş kentsel alanlarda taşınabilir temassız algılama sistemlerini modellemek üzere gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında, 2 metre mesafeden yapılan elektrik alan ölçümlerinin başarısı gösterilmiştir. Çok düşük giriş akımına sahip opamp mimarisi sayesinde, yüksek empedanslı algılama hatlarında gerilim çökmesi yaşanmaksızın kararlı ve yüksek doğrulukta sinyal tespiti sağlanabileceği doğrulanmıştır. Elde edilen bu teorik ve deneysel çıktılar, elektrik dağıtım şebekelerinde kamu güvenliğini artıracak taşınabilir arıza tespit teknolojilerinin ve proaktif erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine önemli bir altyapı sunmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] IEEE Guide for Understanding, Diagnosing, and Mitigating Stray and Contact Voltage, IEEE Std 1695-2024, Ara. 2024.

[2] IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Std 80-2013, May. 2015.

[3] Stray and Contact Voltage Advancements in Measurement and Diagnostics: 2011 Research Update, EPRI Tech. Rep. 1022003, Ara. 2011.

[4] A. Pouryazdan, J. C. Costa, R. J. Prance, H. Prance ve N. Münzenrieder, "Non-contact long range AC voltage measurement", 2019 IEEE SENSORS, Montreal, QC, Canada, 2019, pp. 1-4.

[5] C. Suo, M. He, G. Zhou, X. Shi, X. Tan ve W. Zhang, "Research on non-invasive floating ground voltage measurement and calibration method", Electronics, cilt 12, sayı 8, ss. 1858, Nis. 2023.

[6] P. S. Shenil ve B. George, "Nonintrusive AC voltage measurement unit utilizing the capacitive coupling to the power system ground", IEEE Trans. Instrum. Meas., cilt 70, ss. 1-8, 2021

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

WIND FARM LAYOUT OPTIMISATION APPROACH BASED ON WAKE FIELDS AND MACHINE LEARNING

Güven NERGİZ
Dokuz Eylül University, Institute of Marine Sciences and Technology, Naval Architecture
ORCID: 0000-0002-0415-0431

Prof. Dr. Kadri Turgut GÜRSEL
Dokuz Eylül University, Institute of Marine Sciences and Technology, Naval Architecture
ORCID: 0000-0002-9681-680X

ABSTRACT
Layout optimisation of floating offshore wind farms requires jointly assessing aerodynamic wakes between turbines, waves, currents, and platform motions. This study proposes a physically constrained layout optimisation framework that integrates OpenFAST-based turbine response models into OpenFOAM flow simulations through machine learning. Initially, parametric analyses will be conducted using the IEA 15 MW reference turbine and a suitable floating platform model to establish a database containing power, rotor thrust, platform motions and selected load indicators. A surrogate model trained on these data will inform a two-dimensional horizontal wake simulation in which turbines are represented by square porous regions. Wake contours, turbine-level production losses, site boundaries and spacing constraints will guide candidate position updates. The extended research scope will examine current-induced hydrodynamic wakes, wave scattering between platforms and motion-induced wave radiation. The paper presents the proposed methodology, validation plan and applicability limits for investigating whether accounting for inter-platform hydrodynamic interactions changes turbine layouts selected on aerodynamic grounds.
Keywords: Floating wind farm, layout optimisation, wake, hydrodynamic interaction, machine learning, OpenFOAM, OpenFAST, FAST.Farm.

1. INTRODUCTION
Wind farm layout optimization must account for wake interactions, as each turbine alters the flow conditions experienced by neighbouring turbines. Thus, the optimal position for an individual turbine may not correspond to the optimal overall farm configuration. Chowdhury et al. [1] treat turbine coordinates as optimization variables while considering wake effects on power production (Figure 1). In floating offshore wind farms, platform motions and marine environmental conditions introduce additional complexities into the layout optimization problem.

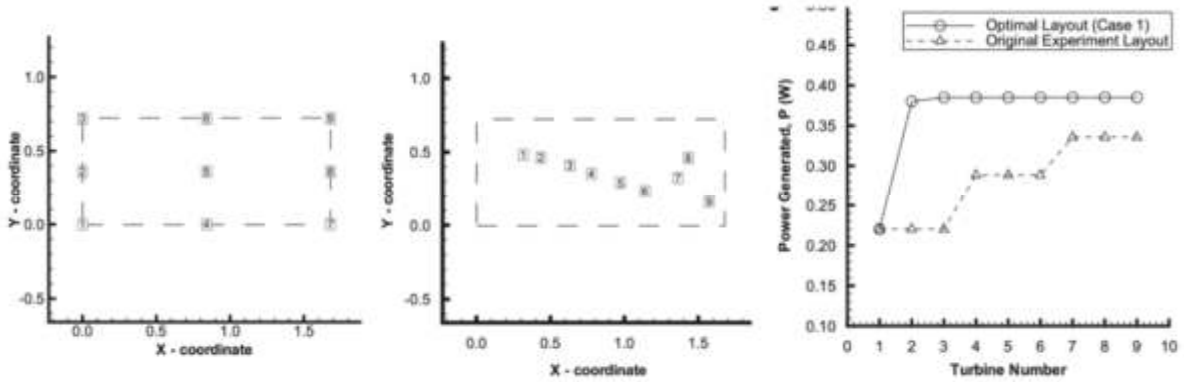


Figure 1. Original experimental turbine layout, optimised layout and comparison of power outputs, respectively [1].

The rotor inflow of floating wind turbines is affected by atmospheric wind, platform translations and rotations, as well as wave and current loads. These factors interact with the mooring and control systems, influencing turbine performance and energy production. Fontanella et al. [2] showed that results based on simplified prescribed platform motions may not represent realistic operating conditions. Therefore, platform dynamics and energy production should be considered within a consistent physical framework for floating wind farm layout optimisation (Figure 2).

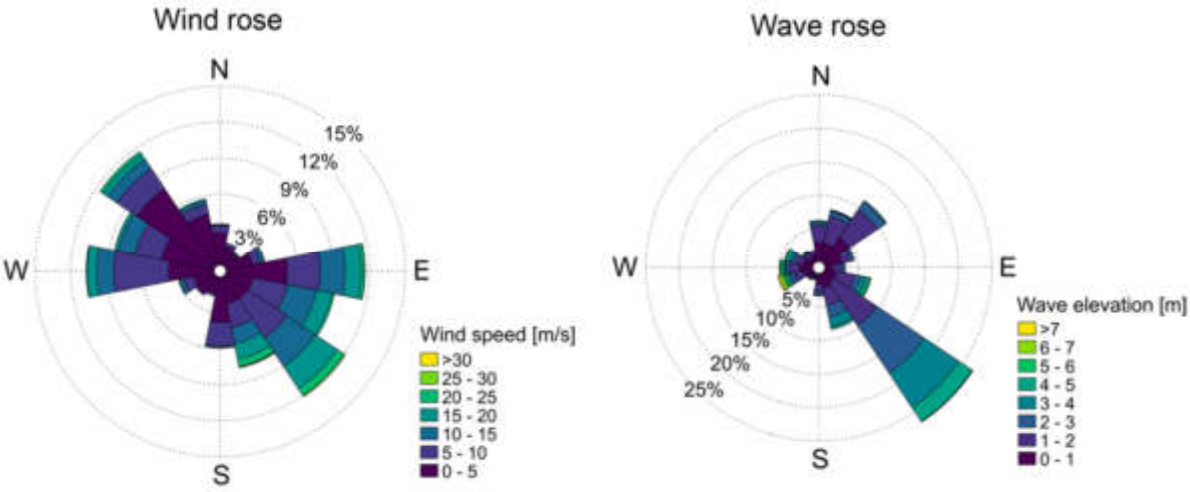


Figure 2. Directional distributions of wind speed extrapolated to 150 m and of waves, derived from hourly data for the reference site [2].

The study investigates whether inter-platform hydrodynamic interactions can alter the optimal floating wind farm layout identified solely from aerodynamic wake effects. Aerodynamic and hydrodynamic wakes, together with wave diffraction and radiation, are considered as distinct interaction mechanisms affecting energy production, platform motions, loads, and efficiency. The initial two-dimensional layout-screening framework, supported by an OpenFAST-based surrogate model, is retained and extended to include hydrodynamic interactions in a phased approach. Since numerical results are not yet available, the study establishes a methodological framework with comparable cases, data exchange procedures, and testable hypotheses rather than presenting validated results.

2. RESEARCH AND FINDINGS

Floating wind farm layout optimisation requires the combined assessment of energy production and dynamic responses to wind, waves, and currents. The study therefore reviews existing modelling tools and defines their roles within the proposed framework. The reference system, environmental conditions, model–machine learning data exchange, and comparison cases are established to distinguish aerodynamic and hydrodynamic effects. Optimisation criteria, physical constraints, and a numerical benchmarking, validation, and uncertainty-assessment plan are then defined to evaluate the reliability of the proposed approach.

2.1. Modelling Tools

OpenFAST provides an integrated time-domain framework that couples aerodynamic, hydrodynamic, structural, and control models for wind turbine response analysis. FAST.Farm extends this capability to multiple turbines by incorporating farm-scale wake interactions and is therefore applicable to layout assessment [3]. Its wake modelling includes transport, deflection, merging, and wake-added turbulence based on dynamic wake meandering concepts, rather than relying on a single steady, axisymmetric wake assumption [4]. Comparisons with large-eddy simulations further indicate that FAST.Farm should be evaluated not only for power prediction but also for its ability to represent structural loads (Figure 3) [5].

FAST.Farm can represent a coherent incident wave field across a wind farm but does not currently model direct radiation–diffraction coupling between separate floating platforms [6,7]. Therefore, hydrodynamic interactions should be evaluated through their effects on mean loads, load-cycle amplitudes and frequencies, power production, and fatigue life. OpenFOAM is proposed to provide detailed viscous-flow solutions and a common farm flow field, with porous-media models used to reduce computational cost. Their accuracy will be assessed through calibration and independent comparisons, while recognising that porous representations alone cannot fully capture rotor aerodynamics or platform motions [8]. Potential-flow tools such as Capytaine can address linear radiation–diffraction effects, whereas the OpenFOAM-based approach offers additional capability for viscous separation, current-induced wakes, and selected nonlinear wave–structure interactions [9].

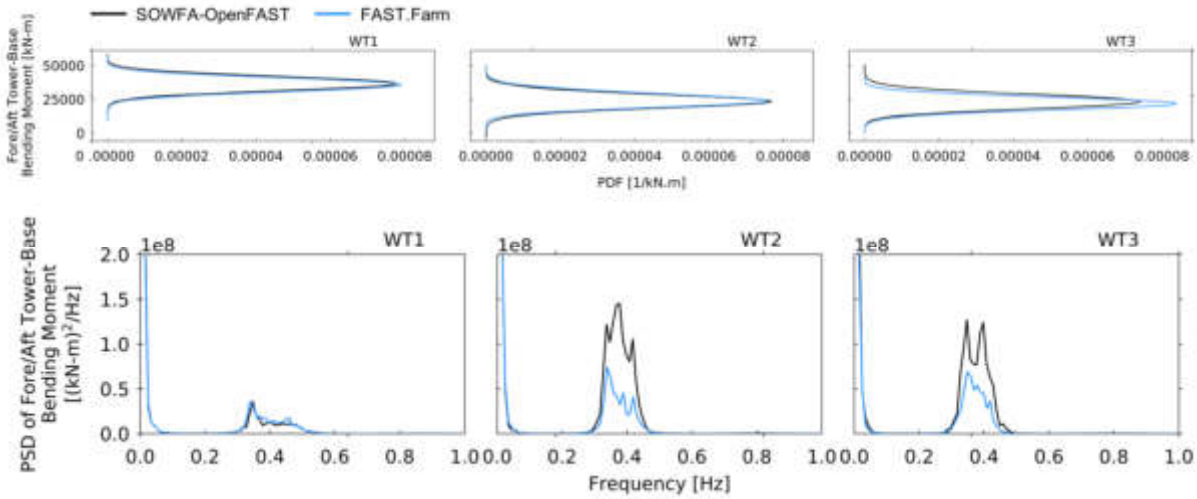


Figure 3. Probability density function and power spectral density of the tower-base bending moment for a wind speed of 8 m/s and high inflow turbulence [5].

2.2. Reference System and Atmospheric–Oceanographic Scenarios

The initial analysis will employ the IEA 15 MW reference wind turbine and the UMaine VolturnUS-S semi-submersible platform as the baseline system, owing to their publicly available reference data and suitability for model comparisons [10,11]. The platform, controller, and mooring configurations will be verified for consistency to ensure that differences in mass, inertia, stiffness, or control settings do not influence the comparison of flow models (Figure 4).

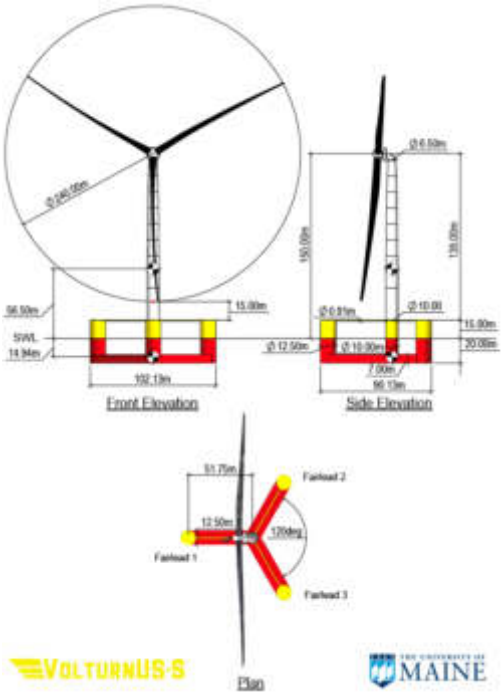


Figure 4. IEA-15-240-RWT turbine and UMaine VolturnUS-S semi-submersible platform [11].

Environmental scenarios will account for wind, wave, current, water depth, and platform heading, with their statistical relationships preserved where site data are available. The analysis will progress from controlled regular-wave conditions to irregular waves and turbulent inflow, while rare but plausible conditions will be evaluated separately against load and motion limits. Identical external conditions will be maintained across all comparison cases, with wave phases assigned according to wave direction and turbine position rather than using identical surface-elevation time series. This approach ensures consistent and physically representative environmental conditions for comparing layout effects.

$$\eta(x,y,t) = a\cos[k(x\cos\beta + y\sin\beta) - \omega t + \varphi_0],\ \omega^2 = gk\tanh(kh) \quad (1)$$

Here, a is the wave amplitude, k the wavenumber, β the propagation direction, ω the angular frequency, h the water depth and φ_0 the initial phase. The variable η denotes the free-surface elevation relative to the still-water level, and g is gravitational acceleration. The equation describes a single regular linear wave component in the absence of a current. It represents the incident wave and excludes additional waves scattered or radiated by the platforms. Where wave–current interaction is considered, wave-generation and propagation relationships will be formulated consistently with the hydrodynamic model used. This separates the common external forcing from inter-platform hydrodynamic interaction.

2.3. Computational Methodology and Model Description

The proposed methodology consists of two coupled computational levels: rapid layout optimisation and detailed physical modelling. The first level combines OpenFAST response data with a low-cost two-dimensional OpenFOAM model to assess horizontal wake fields and layout performance. The second level applies three-dimensional multi-body hydrodynamic simulations to selected spacings and environmental conditions, providing corrections for power, motions, and loads through surrogate models or correction relationships. The two-dimensional model is explicitly limited in scope, as it does not resolve vertical flow effects, the full three-dimensional rotor wake, or the air–water interface. Detailed simulations will instead employ VOF-based free-surface modelling and platform motion calculations incorporating hydrodynamic and mooring forces (Figure 5) [12].

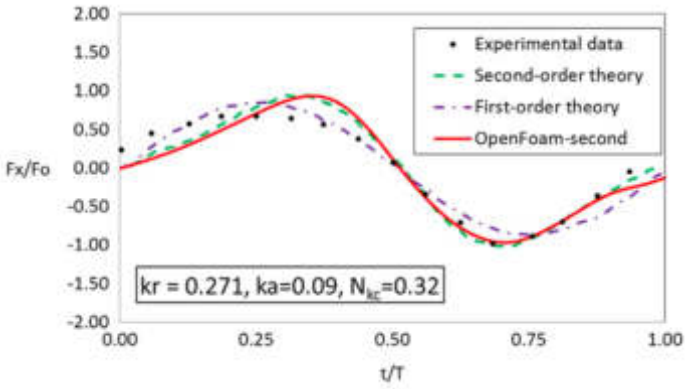


Figure 5. Comparison of the normalised horizontal force on a cylinder over one wave period [12].

The overall data flow between the computational levels is shown in Figure 6. The coordinate systems, exchange frequency and allocation of computational tasks among the tools for force and motion transfer will be specified during model implementation.

2.4. Porous-Region Turbine Representation and Response Surrogate Model

Each rotor will be represented by a square region that introduces a momentum sink in the horizontal plane. The square defines the horizontal support of the equivalent momentum source applied to the flow, rather than the actual rotor geometry. Equivalence between rotor thrust and the force applied within this region will be the fundamental condition for transferring three-dimensional thrust to the two-dimensional model. For an effective thickness h_e and horizontal source-region area A_p, the equivalent volume is defined as $V_e = A_p h_e$. The volumetric force density will be adjusted so that it's integral over this volume equals the target rotor thrust.

$$T = \tfrac{1}{2}\rho_a A_r C_t U_{ref}{}^2, \quad f_m = -(T/V_e)n \quad (2)$$

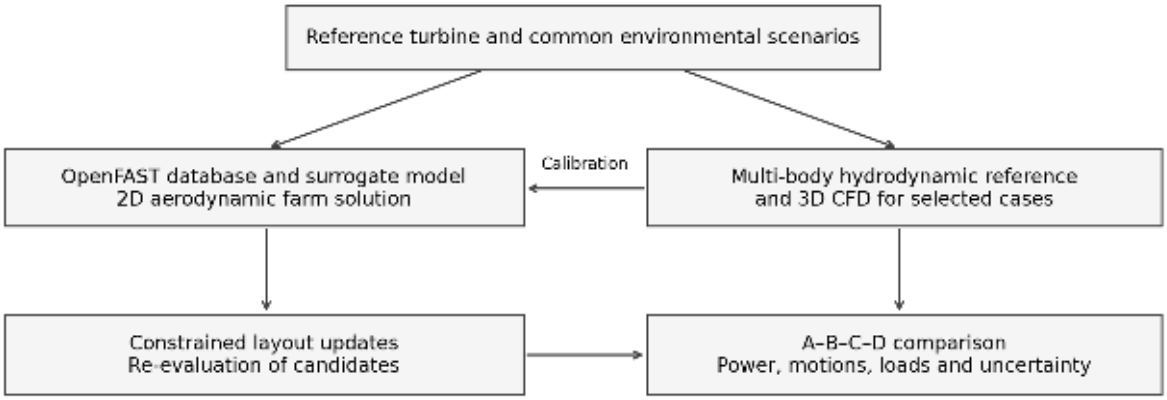


Figure 6. Proposed two-level research framework. Detailed hydrodynamic simulations will be conducted for selected cases and model development.

Equation (2) expresses the proposed force equivalence for a uniformly distributed volumetric force. Here, ρ_a is the air density, A_r the rotor area, C_t the thrust coefficient, Uref the reference velocity used to define that coefficient, and n the unit vector along the rotor axis. The source term f_m/ρ_a is expressed per unit mass. The reduced velocity within the source region will be distinguished from the upstream reference velocity; the thrust-coefficient definition and velocity-sampling method will be calibrated together. Electrical power will not be inferred directly from the mechanical energy removed within the porous region but will instead be obtained from a model representing the turbine and controller response.

The database will include transient-free time series and statistical measures such as means, standard deviations, and selected extremes. The initial surrogate model will predict power, thrust, and response statistics from local inflow and environmental conditions, while dynamic models will be introduced when motion phase or transient force effects are significant. To capture inter-platform hydrodynamic interactions, the extended surrogate model will incorporate platform positions, headings, spacing relative to wavelength, and interaction-dependent response data. Training and test datasets will be separated by environmental scenarios and layout groups to avoid data leakage between highly correlated simulation samples (Table 1).

Table 1. Planned database and model outputs.

Data group	Example variables	Purpose
Environment	Wind speed/direction and turbulence; wave height/period/direction; current; water depth	Scenario and probability definition
System and layout	Turbine/platform type, control settings, nominal position, neighbour spacing and bearing	Applicability domain and interaction inputs
Energy and force	Electrical power, rotor thrust, tower-base moments, mooring forces	Performance assessment and load limits
Dynamic response	Six-degree-of-freedom motions; means, standard deviations and spectral measures	Motion constraints and dynamic comparisons

Surrogate models will be selected by jointly considering power and thrust prediction accuracy, preservation of the ranking of candidate layouts, and evaluation time. Models predicting stationary response statistics will be assessed separately from dynamic models representing time-dependent force–motion relationships.

2.5. Comparison Cases

Four comparison cases will be evaluated using the same reference system and environmental conditions. The term "Absent" indicates the exclusion of neighbouring-system effects rather than the suppression of the turbine or platform's own response. Incident-wave phases will remain position-dependent in all cases. Independent mooring systems will initially be employed to isolate hydrodynamic interactions from mechanical effects transmitted through shared mooring lines.

Table 2. Controlled comparison cases.

Case	Inter-turbine aerodynamic interaction	Inter-platform hydrodynamic interaction	Computational arrangement
A — Reference	Absent	Absent	Separate turbine and water domains; position-dependent inputs from a common environment
B — Aerodynamic	Present	Absent	Shared airflow domain; separate hydrodynamic models; FAST.Farm benchmarking
C — Hydrodynamic	Absent	Present	Separate aerodynamic inflows; shared water domain and platform motions
D — Combined	Present	Present	Coupled airflow, water flow, motions and force transfer

In Case B, wave-induced platform motions remain active; only the modification of the water field by neighbouring platforms is excluded. In Case C, each rotor receives inflow free of neighbouring rotor wakes, while responding to motions arising from the shared water field.

In Case D, platform motions are allowed to modify rotor inflow, and aerodynamic and hydrodynamic loads jointly influence platform response. Placing all platforms in the same water domain and merely changing a case label is insufficient to disable hydrodynamic interaction. The comparisons must instead be implemented through the computational domains and the interactions exchanged between models.

For each scalar output Y, the aerodynamic and hydrodynamic contributions can be evaluated as $\Delta Y_a = Y^B - Y^A$ and $\Delta Y_h = Y^c - Y^A$, respectively. Equation (3) will quantify the departure of the combined change from the sum of the changes produced by the two effects separately. It will be applied to matched scenarios; differences arising from unmatched random realisations will not be interpreted as interaction effects.

$$I_Y = Y^D - \Delta Y_a - \Delta Y_h - Y^A \quad (3)$$

A non-zero I_γ indicates that, on the selected output scale, the total change cannot be explained by the sum of the separate effects. It does not by itself establish whether the interaction is beneficial or detrimental. An increase is desirable for power, whereas the same sign may be undesirable for loads or motions. The observed difference must also exceed numerical and statistical uncertainty. Where hydrodynamic effects are significant, Cases C and D will be subdivided to distinguish current-induced wake effects from radiation–diffraction effects.

2.6. Hydrodynamic Scope and Limitations of Two-Dimensional Representation

Initial screening of hydrodynamic interaction will involve two platforms rather than an entire wind farm. The ratios s/B, s/λ and B/λ will be examined, where s is the inter-platform distance, B a characteristic platform dimension and λ the wavelength. The relationship between wave direction and platform alignment, together with excitation periods near the natural motion periods, will also be considered.

Two-dimensional models are considered suitable only for exploratory analysis, as they cannot fully represent three-dimensional wave–platform interactions, oblique wave incidence, lateral scattering, or complex farm layouts. The three-dimensional approach will couple aerodynamic and hydrodynamic forces with six-degree-of-freedom platform motions, while ensuring consistent force transfer and avoiding double counting of hydrodynamic loads. Initial analyses will employ one-way coupling before introducing two-way force–motion feedback. If hydrodynamic interactions prove negligible under specific conditions, high-fidelity simulations can be reduced; significant interactions will instead be investigated selectively to limit the computational cost of farm-scale optimisation.

2.7. Layout Optimisation and Physical Constraints

The design variables are the nominal horizontal turbine positions, represented by $X = (x_1, y_1, \ldots, x_n, y_n)$. These nominal positions will be distinguished from instantaneous platform positions under environmental loading. Turbine number, rotor type and platform type will be fixed in the initial application; selection among different system types will be considered as a subsequent design variable. This limits the number of parameters varied simultaneously and enables the effect of layout to be identified more clearly.

Where the joint occurrence frequencies of site wind, wave and current conditions are known, the total electrical power calculated for each scenario will be weighted accordingly. Layouts will thus be compared using a mean total power representative of the site's environmental conditions. Where these data are unavailable, predefined scenario weights will be used, and Equation (4) will serve only to compare layouts under the conditions considered.

$$J(X) = \sum_s w_s \sum_i P_{i,s}(X), \quad w_s \geq 0, \quad \sum_s w_s = 1 \quad (4)$$

Here, w_s is the environmental scenario weight, and $\bar{P}_{i,s}$ is the mean electrical power of the corresponding turbine. Feasibility conditions will comprise site boundaries, minimum nominal spacing, platform motion envelopes, mooring-line layouts and selected load limits. As changes in cable and mooring configurations are outside the scope of the initial study, no claim of a complete economic optimum will be made on the basis of aerodynamic or hydrodynamic gains alone.

The position-update procedure in Equation (5) will generate candidate search directions from velocity contours and turbine-level losses. Because a position change that improves the local performance of one turbine does not necessarily increase total farm power, each candidate will be re-evaluated. Candidates violating motion or load limits will be rejected, and a step that improves the objective function in Equation (4) will be accepted among feasible candidates. Multi-scenario assessment will limit overfitting to a single wind direction as preferred layouts vary with environmental conditions.

$$X^{(k+1)} = \Pi_\Omega[X^{(k)} + \alpha_k \, d^{(k)}] \quad (5)$$

Equation (5) gives the proposed general update form. Here, d denotes the candidate search direction, α the step size and ΠΩ a mapping to the feasible design region. Spacing and motion constraints will be checked again after this operation. Stopping criteria will be defined in terms of changes in the objective function in Equation (4), changes in position and the computational budget. Thresholds will be selected after evaluating numerical uncertainty; no convergence rate is claimed before it has been established.

2.8. Numerical Benchmarking, Validation and Uncertainty Assessment

The assessment will be conducted in three stages: single-turbine and single-platform verification, validation of interacting and non-interacting two-platform cases, and evaluation of the four farm cases and selected layouts. Numerical benchmarking will be performed against FAST.Farm only for the physical interactions it represents, while independent references and experimental data will be used for other interactions. Mesh, time-step, domain-size, wave-reflection, and force–motion coupling sensitivities will be examined, with transients excluded from statistical analyses and uncertainty quantified through adequate sampling. Surrogate models will be evaluated based on both prediction errors and their ability to preserve layout rankings, while extrapolation beyond the training range will be avoided. The overall computational cost will include data generation, model training, calibration, and layout optimisation.

Table 3. Planned performance and reliability criteria.

Objective	Measure	Interpretation limit
Production	Mean farm and turbine-level power; ranking of candidates	Annual production is not inferred without occurrence probabilities.
Motions and loads	Motion amplitudes/spectra; moments and line forces	Large motions alone do not establish loss of stability.
Fatigue	Damage-equivalent loads or relevant stress cycles	A single regular-wave case cannot establish design life.
Model reliability	Mesh/time-step sensitivity, independent test error and uncertainty intervals	A non-interacting benchmark does not validate interaction physics.
Computational cost	Total processing time and resource use	Offline data generation is included in the cost.

2.9. Performance, Loads and Future Scope

Hydrodynamic interaction does not necessarily reduce power production or service life; its significance must be evaluated in terms of changes in power, platform motions, and structural and mooring loads. Since a layout optimised for mean power may violate motion or load constraints, these effects will be assessed jointly. Service-life estimation will be introduced only after sufficient load data are available, using fatigue analysis and long-term environmental probabilities [13]. Future extensions may address atmospheric blockage and vertical momentum exchange through higher-fidelity LES results [14]. Model transferability will also be tested across different turbines, rotor sizes, platforms, and interaction regimes, without assuming that a surrogate model developed for one configuration is universally applicable.

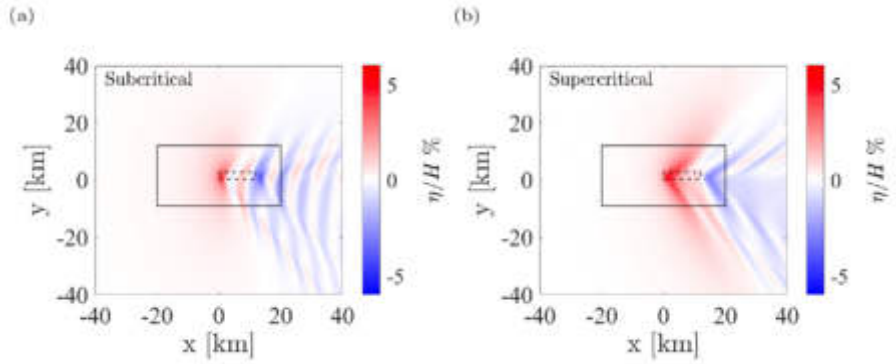


Figure 7. Inversion-layer displacement as a percentage of boundary-layer height for (a) subcritical and (b) supercritical conditions. The solid rectangle denotes the LES domain, and the dashed rectangle denotes the wind farm [14].

3. CONCLUSIONS

The study proposes a wake- and machine-learning-based layout optimisation framework for floating offshore wind farms, integrating OpenFAST for turbine response data, OpenFOAM for common flow-field and physical source-term modelling, and machine learning for computationally efficient repeated evaluations. Aerodynamic farm interactions and position-dependent wave phases represented by FAST.Farm are distinguished from inter-platform radiation–diffraction interactions requiring separate hydrodynamic analysis.

Building on Zhang et al. [16], the study investigates whether hydrodynamic interactions can influence layout selection by comparing non-interacting, aerodynamic-only, hydrodynamic-only, and combined cases under identical environmental conditions. A two-dimensional horizontal model is retained for rapid screening, while three-dimensional modelling is introduced progressively through two-platform studies. Since the research is ongoing, no quantitative performance improvement is claimed. Subsequent work will establish the reference system, conduct verification and validation, quantify hydrodynamic effects and uncertainties, and incorporate significant interaction effects into the surrogate-based constrained optimisation framework.

REFERENCES

[1] Chowdhury, S., Zhang, J., Messac, A. and Castillo, L. (2012). Unrestricted wind farm layout optimization (UWFLO): Investigating key factors influencing the maximum power generation. Renewable Energy, 38(1), 16–30. https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.033

[2] Fontanella, A., Colpani, G., De Pascali, M., Muggiasca, S. and Belloli, M. (2024). Assessing the impact of waves and platform dynamics on floating wind-turbine energy production. Wind Energy Science, 9, 1393–1417. https://doi.org/10.5194/wes-9-1393-2024

[3] OpenFAST (n.d.). FAST.Farm User's Guide and Theory Manual: Introduction. https://openfast.readthedocs.io/en/main/source/user/fast.farm/Introduction.html (accessed 29 September 2026).

[4] OpenFAST (n.d.). FAST.Farm Theory. https://openfast.readthedocs.io/en/main/source/user/fast.farm/FFarmTheory.html (accessed 29 September 2026).

[5] Shaler, K. and Jonkman, J. (2021). FAST.Farm development and validation of structural load prediction against large eddy simulations. Wind Energy, 24, 428–449. https://doi.org/10.1002/we.2581

[6] Jonkman, J. (2025, 1–2 April). Question regarding FAST.FARM SeaState generation, Discussion #2716. OpenFAST developer response. https://github.com/OpenFAST/openfast/discussions/2716 (accessed 29 September 2026).

[7] Jonkman, J. (2026, 29 July). Multi-body PotFile for shared mooring systems in FAST.Farm. NLR Forum, developer response. https://forums.nlr.gov/t/multi-body-potfile-for-shared-mooring-systems-in-fast-farm/9795 (accessed 29 September 2026).

[8] OpenCFD (n.d.). OpenFOAM Documentation: Explicit porosity. https://doc.openfoam.com/2212/tools/processing/numerics/fvoptions/sources/rtm/explicitPorosity/ (accessed 29 September 2026).

[9] Capytaine (n.d.). Cookbook: Multiple floating bodies. Capytaine 2.2 documentation. https://capytaine.org/v2.2/user_manual/cookbook.html (accessed 29 September 2026).

[10] Gaertner, E. et al. (2020). Definition of the IEA 15-Megawatt Offshore Reference Wind Turbine. NREL/TP-5000-75698. https://docs.nlr.gov/docs/fy20osti/75698.pdf

[11] Allen, C., Viselli, A., Dagher, H., Goupee, A., Gaertner, E., Abbas, N., Hall, M. and Barter, G. (2020). Definition of the UMaine VolturnUS-S Reference Platform Developed for the IEA Wind 15-Megawatt Offshore Reference Wind Turbine. NREL/TP-5000-76773. https://docs.nlr.gov/docs/fy20osti/76773.pdf

[12] Hu, Z. Z., Greaves, D. and Raby, A. (2016). Numerical wave tank study of extreme waves and wave-structure interaction using OpenFoam®. Ocean Engineering, 126, 329–342. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.09.017

[13] Liu, D. P., Ferri, G., Heo, T., Marino, E. and Manuel, L. (2023). On long-term fatigue damage estimation for a floating offshore wind turbine using a surrogate model. Preprint, arXiv:2311.15411. https://arxiv.org/abs/2311.15411

[14] Stipa, S., Ahmed Khan, M., Allaerts, D. and Brinkerhoff, J. (2024). A large-eddy simulation (LES) model for wind-farm-induced atmospheric gravity wave effects inside conventionally neutral boundary layers. Wind Energy Science, 9, 1647–1668. https://doi.org/10.5194/wes-9-1647-2024

[15] Nergiz, G. (2026, 22 January). A Thursday Morning Read: Some of My Observations on Offshore Wind Energy and the Need for Advanced Modelling – Part 3. LinkedIn, technical commentary. https://www.linkedin.com/pulse/thursday-morning-read-some-my-observations-offshore-wind-g%C3%BCven-nergi%CC%87z-9igaf/ (accessed 29 September 2026).

[16] Zhang, D., Yuan, Z.-M., Du, J. and Li, H. (2022). Hydrodynamic modelling of large arrays of modularized floating structures with independent oscillations. Applied Ocean Research, 129, 103371. https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103371.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BEĞENİNİN EKONOMİ POLİTİĞİ: GENÇLERİN SOSYAL MEDYA KULLANIMI VE ÜCRETSİZ İÇERİK ÜRETİMİNİN METALAŞMASI

Dr. Öğr. Üyesi Hasan BATAR
Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bölümler Fakültesi, Yeni Medya ve İletişim Bölümü
ORCID: 0000-0003-4245-0168

ÖZET
Dijital platformların gündelik yaşamın temel iletişim ve etkileşim alanlarından biri hâline gelmesi, sosyal medya kullanımının yalnızca bir tüketim pratiği olarak değerlendirilmesini yetersiz kılmaktadır. Özellikle gençler açısından sosyal medya; iletişim, eğlence, bilgi edinme, kendini ifade etme ve sosyal ilişkileri sürdürme işlevlerinin yanı sıra platformların ekonomik değer üretim süreçlerine kullanıcı emeği aracılığıyla eklemlenilen bir alan hâline gelmiştir. Bu çalışmanın amacı, gençlerin sosyal medya tüketim alışkanlıklarını bedelsiz emek kavramı çerçevesinde ele almak ve gündelik dijital faaliyetlerin platform ekonomisi içerisinde nasıl ekonomik ve enformasyonel değere dönüştürüldüğünü tartışmaktır. Çalışma, içerik üretimi, beğeni, yorum, paylaşım, takip, çevrimiçi etkileşim, platformda geçirilen zaman ve kişisel veri üretimi gibi faaliyetleri yalnızca tüketim davranışları olarak değil, platformların değer üretim mekanizmalarına katkıda bulunan emek biçimleri olarak değerlendirmektedir. Bu doğrultuda Terranova'nın (2000) "free labor" yaklaşımı, Fuchs'un (2014) dijital emek tartışmaları, Marx'ın emek ve metalaşma yaklaşımı ile platform kapitalizmine ilişkin çalışmalar temel alınarak kavramsal bir çerçeve oluşturulmaktadır. Çalışmanın temel varsayımı, gençlerin görünürde gönüllü ve karşılıksız sosyal medya kullanımının platformlar açısından ekonomik değer üreten bir kullanıcı emeğine dönüşmesidir. Kullanıcılar içerik tüketirken veri üretmekte, algoritmik öğrenme süreçlerine katkıda bulunmakta ve platformların reklam hedefleme kapasitesini artırmaktadır. Böylece tüketim ile üretim arasındaki ayrım belirsizleşmektedir.
Sonuç olarak çalışma, gençlerin sosyal medya tüketim alışkanlıklarının dijital emek, veri metalaşması, dikkat ekonomisi ve platform kapitalizmi bağlamında değerlendirilmesi gerektiğini ileri sürmektedir. Bu yaklaşımın, gençlerin dijital platformlarla kurduğu ilişkinin ekonomik ve toplumsal boyutlarının anlaşılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.
Anahtar Kelimeler: Sosyal Medya, Gençler, Bedelsiz Emek, Dijital Emek, Platform Kapitalizmi, Veri Metalaşması, Dikkat Ekonomisi.

THE POLITICAL ECONOMY OF LIKES: YOUTH SOCIAL MEDIA USE AND THE COMMODIFICATION OF FREE CONTENT PRODUCTION

ABSTRACT
The increasing integration of digital platforms into everyday life has made it insufficient to conceptualize social media use solely as a form of consumption. For young people in particular, social media serves not only as a space for communication, entertainment, information seeking, self-expression, and maintaining social relationships, but also as an environment in which users become incorporated into the economic value-production processes of platforms through their everyday activities. This study aims to examine young people's social media consumption habits within the framework of free labor and to discuss how everyday digital activities are transformed into economic and informational value within the platform economy.

The study conceptualizes activities such as content creation, liking, commenting, sharing, following, online interaction, time spent on platforms, and the production of personal data not merely as forms of consumption but also as forms of labor contributing to platform value-generation mechanisms. The conceptual framework draws on Terranova's (2000) notion of "free labor," Fuchs's (2014) discussions of digital labor, Marxist approaches to labor and commodification, and contemporary studies of platform capitalism.

The central assumption is that young people's seemingly voluntary and unpaid social media use constitutes a form of user labor that generates economic value for platforms. While consuming content, users simultaneously produce data, contribute to algorithmic learning processes, and enhance platforms' capacity for targeted advertising. Consequently, the distinction between consumption and production becomes increasingly blurred.

The study argues that young people's social media consumption habits should be examined through the interconnected concepts of digital labor, data commodification, the attention economy, and platform capitalism. This approach is expected to contribute to understanding the economic and social dimensions of young people's relationship with digital platforms.

Keywords: Social Media, Youth, Free Labor, Digital Labor, Platform Capitalism, Data Commodification, Attention Economy

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

KOALİSYONSUZ KOALİSYON SİYASETİ: TÜRKİYE'DE KOALİSYONCU BAŞKANLIĞIN ORTAYA ÇIKIŞI

Dr. Öğr. Üyesi Yunus ŞAHBAZ
Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü
ORCID: 0000-0003-0911-7654

ÖZET
Türkiye'de Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sistemi'ne geçiş sürecindeki temel tartışmalardan biri, yeni hükümet sisteminin siyasal istikrar üzerindeki muhtemel etkileriydi. Parlamenter sistem döneminde hükümet istikrarsızlığının başlıca kaynaklarından biri olarak görülen koalisyonların yeni sistemle birlikte ortadan kalkacağı ileri sürülmüştür. Bununla birlikte 2018 sonrasında ortaya çıkan siyasal pratik, koalisyon siyasetinin sona ermesinden ziyade farklı bir biçimde yeniden üretilip üretilmediği sorusunu gündeme getirmektedir. Özellikle cumhurbaşkanının seçilebilmesi için gerekli yüzde 50+1 şartının çok partili ve giderek parçalanan bir parti sistemiyle etkileşimi, seçim ittifaklarını siyasal rekabetin temel unsurlarından biri haline getirmiştir.
Bu çalışma, Türkiye'de 2018 sonrasında ortaya çıkan ittifak siyasetini karşılaştırmalı siyaset literatüründeki "koalisyoncu başkanlık" (coalitional presidentialism) tartışmaları çerçevesinde ele almaktadır. Koalisyoncu başkanlık literatürü, özellikle Latin Amerika örneklerinden hareketle, başkanların parçalanmış parti sistemlerinde yasama desteğini sağlamak amacıyla farklı partilerle koalisyonlar kurmasına odaklanmaktadır. Türkiye örneğinde ise koalisyon ihtiyacı yalnızca yasama çoğunluğunun oluşturulmasından değil, öncelikle cumhurbaşkanlığı seçiminin çoğunlukçu niteliğinden kaynaklanmaktadır.
Çalışmanın temel argümanı, Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sistemi'nin koalisyon siyasetini ortadan kaldırmaktan ziyade onun niteliğini değiştirdiğidir. 2018 ve 2023 seçimlerinden hareketle çalışma, parlamenter sistemde ağırlıklı olarak seçim sonrasında ortaya çıkan koalisyon pazarlıklarının yeni sistemde önemli ölçüde seçim öncesi ittifaklara taşındığını ileri sürmektedir. Bu çerçevede Türkiye'nin, koalisyon hükümetinin bulunmadığı ancak siyasal rekabetin partiler arası iş birliğine giderek daha fazla bağımlı hale geldiği özgün bir koalisyoncu başkanlık örneği oluşturup oluşturmadığı tartışılacaktır.
Anahtar Kelimeler: Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sistemi, koalisyoncu başkanlık, seçim ittifakları, parti sistemi.

COALITION POLITICS WITHOUT COALITION GOVERNMENT: THE EMERGENCE OF COALITIONAL PRESIDENTIALISM IN TURKEY

ABSTRACT
One of the main debates surrounding Turkey's transition to the Presidential Government System concerned its possible effects on political stability. It was argued that the new system would eliminate coalition governments, which had often been regarded as a major source of governmental instability under the parliamentary system. However, political developments since 2018 raise the question of whether coalition politics has disappeared or has instead re-emerged in a different form. In particular, the interaction between the 50+1 percent requirement for presidential elections and an increasingly fragmented multiparty system has made electoral alliances a central feature of political competition.

This study examines alliance politics in Turkey since 2018 through the comparative politics literature on "coalitional presidentialism." This literature, drawing particularly on Latin American cases, focuses on how presidents build coalitions with different parties to secure legislative support in fragmented party systems. The Turkish case, however, may represent a different form of coalition politics. The need for alliances arises not only from the search for a legislative majority but primarily from the majoritarian nature of presidential elections. Coalition building has therefore largely shifted to the pre-electoral stage.

The study argues that the Presidential Government System has not eliminated coalition politics but has transformed its nature. Drawing on the 2018 and 2023 elections, it suggests that coalition bargaining, which under the parliamentary system mainly occurred after elections, has increasingly shifted towards pre-electoral alliances. From this perspective, the study discusses whether Turkey represents a distinctive form of coalitional presidentialism in which there is no coalition government, yet political competition has become increasingly dependent on inter-party cooperation.

Keywords: Presidential Government System, coalitional presidentialism, electoral alliances, party system.

1. GİRİŞ

Türkiye'de 16 Nisan 2017 halk oylamasıyla kabul edilen ve 2018 seçimleriyle yürürlüğe giren Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sistemi'ne geçiş sürecindeki temel tartışmalardan biri, yeni sistemin siyasal istikrar üzerindeki muhtemel etkileriydi. Parlamenter sistem döneminde, özellikle 1970'ler ve 1990'larda yaşanan kısa ömürlü koalisyon hükümetleri hükümet istikrarsızlığının başlıca kaynaklarından biri olarak görülmüş, yürütmenin doğrudan halk tarafından seçilmesinin koalisyon hükümetlerini ve bunların yol açtığı pazarlık siyasetini ortadan kaldıracağı ileri sürülmüştü.

Ne var ki 2018 sonrasında ortaya çıkan siyasal pratik, koalisyon siyasetinin sona ermesinden çok farklı bir biçimde yeniden üretilip üretilmediği sorusunu gündeme getirmektedir. Cumhurbaşkanının seçilebilmesi için geçerli oyların salt çoğunluğunun (yüzde 50+1) aranması, çok partili ve giderek parçalanan bir parti sistemiyle birleştiğinde seçim ittifaklarını siyasal rekabetin kurucu unsurlarından biri hâline getirmiştir (Miş, 2018). 2018 ve 2023 seçimleri, tek bir partinin cumhurbaşkanlığı seçimini kazanmasının güçleştiği bir rekabet ortamında, kurumsal yapının partiler arası iş birliğini güçlü biçimde teşvik ettiğini göstermektedir.

Bu çalışma, Türkiye'de 2018 sonrasında ortaya çıkan ittifak siyasetini karşılaştırmalı siyaset literatüründeki "koalisyoncu başkanlık" tartışmaları çerçevesinde ele almaktadır. Çalışmanın temel argümanı, Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sistemi'nin koalisyon siyasetini ortadan kaldırmaktan ziyade onun niteliğini ve zamanlamasını değiştirdiğidir. Parlamenter sistemde ağırlıklı olarak seçim sonrasında yürütülen koalisyon pazarlıkları, yeni sistemde büyük ölçüde seçim öncesi ittifaklara taşınmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE KOALİSYONCU BAŞKANLIK

Başkanlık sistemine ilişkin klasik literatür, uzun süre bu sistemin çok partililikle bir arada işleyemeyeceği varsayımına dayanmıştır. Linz (1990), başkanlık sisteminin "çifte demokratik meşruiyet" ve katılık sorunları nedeniyle demokratik istikrar açısından riskli olduğunu ileri sürmüştür. Mainwaring (1993) ise başkanlık sistemi ile çok partililik birleşimini "zor bir kombinasyon" olarak nitelendirmiştir. Bu yaklaşıma göre parçalı bir mecliste azınlıkta kalan başkan, yasama ile sürekli bir tıkanıklık yaşayacaktır.

Latin Amerika üzerine yapılan sonraki çalışmalar bu kötümser beklentiyi önemli ölçüde sorgulamıştır. Abranches (1988), Brezilya'daki sistemi "koalisyoncu başkanlık" kavramıyla tanımlamış ve başkanların parçalı meclislerde yasama desteği sağlamak için parlamenter sistemlerdekine benzer biçimde çok partili koalisyonlar kurduğunu göstermiştir. Chaisty, Cheeseman ve Power (2018) da başkanların koalisyonları ayakta tutmak için kabine ve bürokrasi paylaşımı, bütçe kaynakları ve gündem belirleme yetkileri gibi araçlara başvurduğunu ortaya koymuştur. Bu literatürün ortak noktası, koalisyon ihtiyacının esas olarak yasama çoğunluğu arayışından doğduğu ve koalisyonların ağırlıklı olarak seçim sonrasında, başkan tarafından kurulduğudur.

Türkiye literatüründe ise 2018 sonrası dönem daha çok seçim ittifakları üzerinden tartışılmaktadır. Bu çalışmalar ittifakların hükümet sistemi değişikliğiyle birlikte bir tercih olmaktan çıkıp genel seçimlerde bir zorunluluğa dönüştüğünü (Savut, 2020), koalisyon pazarlığının seçim öncesine kaydığını (Aydoğan Ünal, 2019) ve 2018 sonrasında ittifakların Türk siyasetinin kurumsal bir özelliği hâline geldiğini (Gezgüç Kaya, 2024) vurgulamaktadır. Bu çalışma, söz konusu iki literatürü bir araya getirerek Türkiye örneğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

3. KARŞILAŞTIRMALI BİR REFERANS NOKTASI OLARAK BREZİLYA

Brezilya, 1988 Anayasası ile kurulan kurumsal çerçeve ve aşırı parçalı parti sistemi nedeniyle koalisyoncu başkanlığın en tipik örneği olarak kabul edilmektedir. Ülkede 1985'ten bu yana hiçbir başkanın partisi Temsilciler Meclisi'nde yüzde 20'nin üzerinde sandalye kazanamamış, hükümetler en az dört partili koalisyonlara dayanmış ve koalisyon ortaklarının sayısı zamanla artmıştır (Yıldırım, 2020). Açık listeli nispi temsil sisteminin etkisiyle mecliste etkin parti sayısı 10 civarındadır ve 2022 seçimlerinde 23 parti sandalye kazanmıştır (Yunus, 2025).

Brezilya'da seçim ittifakları programatik bir anlaşma içermemekte ve seçim sonrasında bir hükümet koalisyonu kurmayı gerektirmemektedir. Hükümet koalisyonları asıl olarak seçim sonrasında kurulmakta, bakanlıklar ve bürokrasideki siyasi atamalar başkanın partisi ile ortakları arasında sürekli bir pazarlık konusu olmaktadır. Başkanın kararname yetkileri ve bütçe üzerindeki önceliği bu yapıyı yönetilebilir kılsa da koalisyon yönetimi süreklilik arz eden bir pazarlık sürecine dayanmakta ve küçük partiler ağırlıklarının ötesinde etki elde edebilmektedir (Yunus, 2025).

4. TÜRKİYE'DE KOALİSYONSUZ KOALİSYON SİYASETİ

4.1. Yüzde 50+1 Şartı ve İttifak Siyasetinin Kurumsallaşması

Türkiye örneğini Brezilya'dan ayıran temel nokta, koalisyon ihtiyacının kaynağıdır. Brezilya'da koalisyonları zorunlu kılan esas olarak parçalı bir mecliste yasama çoğunluğu arayışı iken, Türkiye'de ittifak ihtiyacı öncelikle cumhurbaşkanlığı seçiminin çoğunlukçu niteliğinden kaynaklanmaktadır. Hiçbir partinin tek başına yüzde 50'nin üzerinde oy alamadığı bir parti sisteminde, cumhurbaşkanlığını kazanma gerekliliği partileri seçim öncesi ittifaklara yöneltmektedir (Savut, 2020; Gezgüç Kaya, 2024).

Bu ihtiyaç, 2018 seçimleri öncesinde 13 Mart 2018 tarihli 7102 sayılı Kanun'la seçim ittifaklarının yasal bir zemine kavuşturulmasıyla kurumsallaşmıştır (Barın, 2019; Nişancı ve Doğan, 2022). Düzenleme, ittifak içindeki partilerin seçim barajını ittifakın toplam oyu üzerinden aşabilmesine imkân tanımıştır (Barın, 2019). Böylece Türkiye'de daha önce de görülen geçici seçim iş birliklerinden farklı olarak, 2018 ittifakları yasal bir zemine oturmuş ve seçimden sonra da siyasal hayatı biçimlendirmeye devam etmiştir (Nişancı ve Doğan, 2022).

2018'de AK Parti ve MHP'den oluşan Cumhur İttifakı ile CHP, İYİ Parti, Saadet Partisi ve Demokrat Parti'den oluşan Millet İttifakı yarışmış ve Erdoğan ilk turda yüzde 52,6 oyla seçilmiştir (Miş, 2018). 2023'te ise ittifaklar daha da genişlemiş, cumhurbaşkanlığı seçimi ikinci tura kalmış ve Erdoğan ilk turda yüzde 49,5, ikinci turda yüzde 52,2 oy alarak seçilmiştir. Her iki seçimde de cumhurbaşkanlığı yarışı iki büyük blok arasında geçmiş ve ittifaklar siyasal rekabetin kalıcı bir unsuru hâline gelmiştir (Gezgüç Kaya, 2024).

4.2. Koalisyon Pazarlığının Seçim Öncesine Taşınması

Parlamenter sistemde koalisyon pazarlıkları seçim sonuçları belli olduktan sonra, mecliste oluşan sandalye dağılımına göre yürütülürdü. Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sistemi'nde ise bu pazarlıklar büyük ölçüde seçim öncesine taşınmıştır (Aydoğan Ünal, 2019). Partiler artık seçim sonrası kabine pozisyonları için değil, seçim öncesinde ortak aday, ortak liste, milletvekili kontenjanı ve olası yürütme pozisyonları üzerinde müzakere etmektedir.

Bu dönüşümün en açık örneği, 2023 seçimleri öncesinde muhalefetteki altı partinin oluşturduğu "Altılı Masa" sürecidir. Ortak aday belirlenmesine ilişkin uzun müzakereler ile parti liderlerinin cumhurbaşkanı yardımcısı olmasına ve yürütme pozisyonlarının ortaklar arasında paylaşılmasına ilişkin taahhütler, seçim kazanılması hâlinde ortaya çıkacak yapının fiilen bir koalisyon kabinesi olacağına işaret etmiştir. Bunun yanında küçük partilerin adaylarının büyük partinin listelerinden seçime girmesi, oy oranları düşük olan partilerin mecliste temsil edilmesini sağlamıştır. Cumhur İttifakı tarafında da yeni partilerin ittifaka katılımı benzer bir eğilime işaret etmektedir. Kısacası koalisyon hükümeti bulunmamakta, ancak koalisyon siyaseti varlığını seçim öncesi ittifaklar biçiminde sürdürmektedir.

4.3. Parti Sisteminin Parçalanması ve Küçük Partilerin Pazarlık Gücü

Sistemin bu özelliği parti sistemi açısından da önemli sorular doğurmaktadır. Cumhurbaşkanlığı seçiminde birkaç puanlık oy farkının belirleyici olabilmesi, küçük partilerin seçim rekabetindeki stratejik önemini artırmaktadır. Bugün Türkiye'de 190'ın üzerinde kayıtlı siyasi parti bulunmakta, bunların 41'i seçime girme yeterliliğine sahip bulunmakta ve TBMM'de 15 farklı parti temsil edilmektedir. Bu tablo, mevcut seçim ve ittifak düzenlemelerinin küçük partilerin siyasal sistem içerisindeki pazarlık imkânlarını artırıp artırmadığı sorusunu gündeme getirmektedir.

Brezilya deneyimi, küçük partilerin artan pazarlık gücünün ittifak yönetimini zorlaştırabileceğini ve parti sistemindeki parçalanmayı daha da önemli bir sorun hâline getirebileceğini göstermektedir. Türkiye'de 2018 sonrasında ortaya çıkan ittifak siyaseti de küçük partilerin seçim rekabetindeki stratejik öneminin arttığına işaret etmektedir.

Bu eğilimin bir koalisyon kabinesine dönüşüp dönüşmeyeceği büyük ölçüde seçim sonuçlarına bağlıdır. Cumhur İttifakı içindeki stratejik ortaklık ve MHP'nin cumhurbaşkanını bir kabine pazarlığına zorlamadan desteklemesi, bu ihtimali şimdiye kadar ertelemiştir. Ancak cumhurbaşkanının partisi ile meclis çoğunluğunun farklılaştığı ya da geniş ve heterojen bir ittifakla kazanılan bir seçim senaryosunda, seçim öncesinde verilen taahhütler kalıcı bir koalisyon kabinesine dönüşebilir. Anayasa değişikliğini halk oylamasına götürebilmek için gerekli 360 milletvekili çoğunluğuna hiçbir bloğun tek başına ulaşamaması da sistemin bu yapısal özelliğinin kısa vadede değişmesini zorlaştırmaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışma, Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sistemi'nin koalisyon siyasetini ortadan kaldırmadığını, aksine onun niteliğini ve zamanlamasını değiştirdiğini ileri sürmektedir.

Türkiye'de koalisyon hükümeti bulunmamakla birlikte, yüzde 50+1 şartı ile parçalı parti sisteminin etkileşimi siyasal rekabeti partiler arası iş birliğine giderek daha bağımlı hâle getirmiştir. Bu yönüyle Türkiye, klasik koalisyoncu başkanlık örneklerinden ayrılmakla birlikte, koalisyoncu başkanlık literatürü çerçevesinde değerlendirilebilecek özgün bir ittifak siyaseti örneği ortaya koymaktadır. Koalisyon ihtiyacının yasama çoğunluğundan çok cumhurbaşkanlığı seçiminden doğması ve pazarlığın seçim öncesine taşınması, bu örneği bir "koalisyonsuz koalisyon siyaseti" olarak tanımlamayı mümkün kılmaktadır.

Bu durum, siyasal partiler ve seçim kanunlarının yeni hükümet sisteminin mantığıyla ne ölçüde uyumlu olduğu sorusunu öne çıkarmaktadır. Bu çerçevede seçim çevrelerinin daraltılması, ittifak içi aday paylaşımına ilişkin düzenlemeler ve parti kurma ile seçime katılma koşulları tartışmaya açılabilecek başlıca konulardır. Seçim çevrelerinin daraltılması bir yandan merkez partileri güçlendirerek parçalanmayı sınırlayabilecek, öte yandan seçmen ile temsilci arasındaki bağı güçlendirebilecektir. Böyle bir reformun kalıcı olabilmesi ise iktidar ve muhalefetin siyasal sistemin geleceği konusunda asgari bir uzlaşıya varmasına bağlıdır.

KAYNAKÇA

Abranches, S. (1988). Presidencialismo de coalizão: O dilema institucional brasileiro. Dados, 31(1), 5-34.

Aydoğan Ünal, B. (2019). Türkiye'nin yeni sisteminde seçim öncesi ittifaklar. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi, 10(2), 321-328.

Barın, T. (2019). Cumhurbaşkanlığı hükümet sisteminde temsilde adalet ilkesi ve "seçim ittifakı" düzenlemesinin değerlendirilmesi. Yıldırım Beyazıt Hukuk Dergisi, (1), 1-34. https://doi.org/10.33432/ybuhukuk.537629

Chaisty, P., Cheeseman, N., & Power, T. J. (2018). Coalitional presidentialism in comparative perspective: Minority presidents in multiparty systems. Oxford University Press.

Gezgüç Kaya, G. M. (2024). Türkiye'de seçim ittifakları dönemi: 2018'den günümüze bir değerlendirme. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 26(3), 1288-1315. https://doi.org/10.16953/deusosbil.1430262

Linz, J. J. (1990). The perils of presidentialism. Journal of Democracy, 1(1), 51-69.

Mainwaring, S. (1993). Presidentialism, multipartism, and democracy: The difficult combination. Comparative Political Studies, 26(2), 198-228.

Miş, N. (2018). Yeni siyasal sistemin ilk seçimleri ve sonuçlarının karşılaştırmalı analizi. Muhafazakâr Düşünce, 15(54), 323-355.

Nişancı, Ş., & Doğan, S. (2022). Türkiye'de 2018 yılında gerçekleştirilen seçim ittifaklarının kurumsal yönden tahlili. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 36(2), 183-194. https://doi.org/10.54614/TBE.2022.1018247

Savut, E. (2020). Geçmişten bugüne Türkiye siyasetinde seçim ittifakları: Tercih mi? Zorunluluk mu? Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 39, 33-48. https://doi.org/10.30794/pausbed.660099

Yıldırım, Y. (2020). Lula da Silva'dan Bolsonaro'ya Brezilya'da siyasal dönüşüm. Mülkiye Dergisi, 44(3), 515-542.

Yunus, M. A. (2025). Brezilya deneyimi: Koalisyonel başkanlık sistemi, parti sistemi ve siyasi ittifaklar. Özgür Yayınları. https://doi.org/10.58830/ozgur.pub767.c3154

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

TÜRKİYE'DE ULUSLARARASI HUKUK EĞİTİMİ: TEK DİSİPLİN İKİ YAKLAŞIM*

Seçil KAYA
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Hukuk
ORCID: 0009-0007-0180-3760

Doçent Sezai ÇAĞLAYAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Milletlerarası Kamu Hukuku
ORCID: 0000-0002-8101-4660

ÖZET
Uluslararası hukuk, uluslararası toplumun düzenini sağlar. Klasik dönemde devletlerarası ilişkilere odaklanan bu sistem, bugün gelinen noktada uluslararası örgütleri, sivil toplum kuruluşlarını ve bireyleri dahi kapsar hale geldi. Bu gelişime koşut olarak uluslararası hukuk eğitiminin kurumsallaşması da önemli bir konu haline gelmiştir. Bu konudaki ilk sistematik girişimler geçen yüzyılın ilk yarısında ABD, Polonya ve Singapur'da hayata geçirilmiştir. Türkiye'deki uluslararası hukuk eğitimine yönelik çalışmalar ise İkinci Dünya Savaşı'nın akabinde yapılmıştır. Lakin uluslararası hukuk eğitimine ilişkin çalışmalar süreklilik arz etmemiş, dönem dönem kesintiye uğramıştır.
Türkiye'deki uluslararası hukuk eğitimi hukuk fakülteleri ile uluslararası ilişkiler bölümlerinde zorunlu olarak verilmektedir. Her iki birimdeki uluslararası hukuk dersleri aynı isimli müstakil anabilimdalları altında yürütülmektedir. Bu araştırma Türkiye'deki hukuk fakülteleri ile uluslararası ilişkiler bölümlerinde okutulan uluslararası hukuk derslerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini konu edinir. Derslerin içerikleri, kapsamları ve özellikle derslerde istihdam edilen öğretim yöntemleri değerlendirme kapsamındadır. Bu bağlamda Türkiye'deki hukuk fakülteleri ile uluslararası ilişkiler bölümlerinin tamamı araştırmanın evreni olabilecek mahiyettedir. Lakin araştırma evreni Türkiye'deki araştırma üniversiteleri ile sınırlı tutulmuştur. Zira ülke genelindeki üniversitelerin ilgili fakülte ve bölüm müfredatlarının gelişmişlik düzeyleri, erişilebilirlikleri ve sahip olunan akademik kadrolar arasında önemli farklar bulunmaktadır. Bu sebeple, belirli kriterler üzerinden seçilmiş araştırma üniversitelerindeki hukuk fakülteleri ve uluslararası ilişkiler bölümlerinin evren olarak belirlenmesi yerinde görülmüştür. 2025 sonu itibariyle Türkiye'deki 23 araştırma üniversitesi bünyesindeki 12 hukuk fakültesi ile 17 uluslararası ilişkiler bölümü bu araştırmada mercek altına alındı. İlgili fakülte ve bölümlerin resmi web siteleri üzerinden uluslararası hukuk dersleri için hazırlanan açık kaynaklı ders izlencelerine erişilerek değerlendirmeler yapıldı. Farklı parametreler üzerinden yapılan değerlendirmelerde hukuk fakülteleri ile uluslararası ilişkiler bölümleri bünyesindeki eğitimlere dair benzerlik ve farklılıklar saptandı. Bu farklılıkların temelinde bu derse yönelik iki farklı birimdeki yaklaşım tarzları etkili olmuştur.
Anahtar Kelimeler: uluslararası hukuk, uluslararası hukuk eğitimi, hukuk eğitim metodu, hukuk eğitimi, uluslararası ilişkiler.

* Bu bildiri özeti 1919B012464665 numaralı TÜBİTAK 2209A projesinin sonuç raporundan üretilmiştir.

INTERNATIONAL LAW EDUCATION IN TÜRKİYE: ONE DISCIPLINE, TWO APPROACHES

ABSTRACT

International law provides order for the international community. While in the classical period this system focused on interstate relations, today it encompasses international organisation and individuals. Parallel to this development, the institutionalisation of international law education has become a crucial issue. The initial systematic initiatives were implemented in the first half of the last century in the USA, Poland, and Singapore. In Türkiye, efforts towards this area began after the Second World War. However, such efforts have not been continuous.

In Türkiye, international law education is compulsory in law faculties and international relations departments. International law courses in both units are conducted under standalone departments with the same name. This research focuses on a comparative evaluation of international law courses taught in law faculties and international relations departments in Türkiye. The content, scope, and particularly the teaching methods employed in these courses are within the scope of the evaluation. In this context, all law faculties and international relations departments in the country constitute the universe of this research. However, the research universe was limited to research universities. This is because there are significant differences in the level of development, accessibility, and academic staff of the relevant units in universities across the country. Therefore, it was deemed appropriate to define the universe as law faculties and international relations departments in research universities selected based on specific criteria. As of late 2025, 12 law faculties and 17 international relations departments within 23 research universities were examined. Evaluations were made by accessing open-source course syllabi prepared for international law courses from the official websites of the units. Similarities and differences in the education within law faculties and international relations departments were identified in evaluations conducted through different parameters. The main factor influencing these differences was the different approaches to this course in the two units.

Keywords: International law, international law education, legal education method, legal education, international relations

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

TAKİP HUKUKUNDA İTİRAZIN İPTALİ DAVASI VE HUKUKİ NİTELİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Mesut ERTANHAN
Antalya Bilim Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu Hukuk Bölümü
ORCID: 0000-0003-3665-7533

ÖZET
Türk İcra ve İflas Hukukunda borçlunun gönderilen ödeme emrine itiraz etmesi üzerine duran takibin ilerletilebilmesi, dolayısıyla takibe yapılan itirazın hükümden düşürülebilmesi için iki hukuki imkân tanınmıştır. Bunlardan biri icra mahkemesinden itirazın kaldırılmasının istenmesi (İİK m. 68, 68/a) diğeri de genel mahkemelerde itirazın iptali davası (İİK m. 67) açılmasıdır. Diğer taraftan elinde İİK m. 68 ve 68/a'da belirtilen belgelerden biri olmayan ya da olsa bile kendi seçimine bağlı olarak alacaklı, genel hükümlere göre borçlunun takibe yaptığı itirazı hükümden düşürmek ve takibini ilerletmek için itirazın iptali davası açabilir (İİK m. 67). İtirazın iptali davası sonucunda, hâkim itirazın iptali davasının kabul veya reddine karar verebilir. Bu dava sonucunda hâkim doğrudan icra takibinin iptaline veya talikine karar vermez. Zira itirazın iptali davası takip kesinleşmeden önceki evrede açılabilen ve takibe yapılan itiraz nedeniyle durmuş olan takibin devamını sağlayan bir davadır.
İcra hukukuna özgü bir dava olmakla birlikte, itirazın iptali davası genel hükümlere göre ve genel mahkemelerde görülür. İtirazın iptali davasının hukuki niteliği konusunda hem yargı kararlarında hem de öğretide farklı görüşler ileri sürülmüştür. Davanın niteliğinin belirlenmesi, özellikle dava sonucunda verilecek kararın icrası bakımından önemli olduğu gibi, icra takibi ile dava arasındaki bağlılığın nitelendirilmesinde de önem arz eder. İtirazın iptali davasının icra takibi ve takip sebebi ile organik bir bağlılığı vardır. İtirazın iptali davası, bir eda davası veya tespit davası ya da inşai davada olduğu gibi, hukuki korunma isteminin temelinde yer alan hakkın elde edilmesi veya tanınması amacıyla açılabilen bağımsız bir dava değildir. Bir alacak hakkının elde edilmesi amacıyla başlatılan ve borçlunun itirazı ile duran takip nedeniyle alacaklının harekete geçip takibini devam ettirme arzusunu ortaya koyarak bu takibe yapılan itirazın hükümden düşürülmesine aracılık eden bir davadır. İşte itirazın iptali davası ile icra takibi arasındaki bu bağlılık nedeniyle bu dava icra hukukuna özgü bir davadır.
Anahtar Kelimeler: İtirazın İptali Davası, İptal Davası, Hukuki Nitelik, Takip Hukukuna Özgü, Takibin Devamı

LITIGATION FOR THE ANNULMENT OF AN OBJECTION IN ENFORCEMENT LAW AND ITS LEGAL NATURE

ABSTRACT
Turkish Enforcement and Bankruptcy Code, two legal remedies have been provided in order that proceedings which have been stayed upon the debtor's objection to the payment order sent to him may be advanced, and thus in order that the objection raised against the proceedings may be deprived of effect. One of these is to request the enforcement court to set aside the objection (EBC arts. 68, 68/a), and the other is to bring an action for the annulment of the objection before the general courts (EBC art. 67). On the other hand, a creditor who does not hold one of the documents specified in arts. 68 and 68/a of the EBC — or who, even if he does hold one, so elects — may, in accordance with the general provisions, bring an action for the annulment of the objection in order to deprive of effect the objection raised by the debtor against the proceedings and, by advancing his proceedings, to obtain his claim (EBC art. 67).

As a result of the action for the annulment of the objection, the judge may decide to grant or to dismiss the action. As a result of this action, the judge does not directly decide upon the annulment or the postponement of the enforcement proceedings. For the action for the annulment of the objection is an action that may be brought in the phase prior to the proceedings becoming final, and that procures the deprivation of effect of the objection so that proceedings which have been stayed by reason of the objection raised against them may continue.

Although it is an action peculiar to enforcement law, the action for the annulment of the objection is heard in accordance with the general provisions and before the general courts. Because it is an action brought within a process that begins with an enforcement proceeding, differing views have been put forward, both in judicial decisions and in doctrine, concerning the legal nature of the action for the annulment of the objection. The determination of the nature of the action is important particularly with regard to the execution of the decision to be rendered at the conclusion of the action, and it is likewise important in characterizing the connection between the enforcement proceeding and the action.

The action for the annulment of the objection has an organic connection with the enforcement proceeding and with the cause of the proceeding. The meaning of the organic connection is that, in a situation where there is no enforcement proceeding, there is likewise no action for the annulment of the objection. That is to say, the action for the annulment of the objection is not — as is the case with an action for performance, a declaratory action, or a constitutive action regulated in the Code of Civil Procedure — an independent action that may be brought for the purpose of obtaining or of having recognized the right that lies at the basis of the request for legal protection. The action for the annulment of the objection is an action that serves as an instrument for depriving of effect the objection raised against the proceedings only where a valid enforcement proceeding without judgment has been initiated for the purpose of obtaining a claim right, where the proceeding thus initiated has been stayed by the debtor's objection, and where, by reason of the stayed proceeding, the creditor takes action and manifests his desire to continue his proceedings. It is precisely because of this connection between the action for the annulment of the objection and the enforcement proceeding that this action is an action peculiar to enforcement law.

Keywords: Action for the Annulment of an Objection, Action for Annulment, Legal Nature, Peculiar to Enforcement Law, Continuation of the Proceedings

GİRİŞ

İcra hukukumuzda, para veya teminat alacaklısı, alacağını elde edemediği takdirde, kural olarak bütün borçlulara karşı icra takibi yaparak alacağını elde edebilir. Kanun koyucu, hukuk politikaları doğrultusunda, herhangi bir belge veya senet olmaması halinde dahi, alacaklının, borçlusuna karşı icra takibi yoluyla alacağının ödenmesini talep etme hakkı tanımıştır. Başka bir ifadeyle, hukukumuzda, alacağını tevsik eden bir belgenin olup olmadığına bakılmaksızın, alacaklıya icra takibi yaparak alacağına kavuşma imkânı verilmiştir. Bununla birlikte para ve teminat alacakları için kendisine karşı takip başlatıldığında, hak arama özgürlüğü çerçevesinde hukuki dinlenilme hakkının bir unsuru ve icra iflas hukukuna yansıyan bir temel hak olarak, borçluya savunma yapma hakkı tanınmıştır. Bunun sonucu olarak borçlunun da, borcu olmadığını veya sona erdiğini ileri sürme hakkı vardır. Böylece borçlu, bu hak sayesinde kendisine karşı yapılan ilamsız icra takibini durdurabilir. Diğer taraftan alacaklının hakkına kavuşması ve devlet kudretiyle alacağını zorla tahsil ettirebilmesi ve borçlunun itirazı üzerine duran takibi ilerletmesi için söz konusu itirazın hükümden düşürülmesi gerekir.

İcra ve İflas Kanunumuzda borçlunun gönderilen ödeme emrine itiraz etmesi üzerine duran takibin ilerletilebilmesi, dolayısıyla takibe yapılan itirazın hükümden düşürülebilmesi için iki hukuki imkân tanınmıştır (İİK m. 67, 68, 68/a). Bunlardan biri icra mahkemesinden itirazın kaldırılmasının istenmesi (İİK m. 68, 68/a) diğeri de genel mahkemelerde itirazın iptali davası (İİK m. 67) açılmasıdır [1].

İcra mahkemesinden itirazın kaldırılmasının talep edilebilmesi veya talep edilse bile itirazın kaldırılabilmesi için alacaklının elinde İİK m. 68 ve 68/a'da sayılan belgelerden birisi olması gerekir. Aksi takdirde borçlunun itirazı kaldırılamayacaktır. Bununla birlikte, itirazın kaldırılmasına karar verildiği hallerde borçlunun, itirazın kaldırılması talebinin reddedildiği hallerde de alacaklının, genel hükümlere göre dava açma hakkı vardır. Zira icra mahkemesinin bu hallerde verdiği kararlar maddi anlamda kesin hüküm teşkil etmez.

Diğer taraftan elinde İİK m. 68 ve 68/a'da belirtilen belgelerden biri olmayan ya da olsa bile kendi seçimine bağlı olarak alacaklı, genel hükümlere göre borçlunun takibe yaptığı itirazı hükümden düşürmek ve takibini ilerleterek alacağına kavuşmak için itirazın iptali davası açabilir (İİK m. 67). İtirazın iptali davası sonucunda, hâkim itirazın iptali davasının kabul veya reddine karar verebilir. Bu dava sonucunda hâkim doğrudan icra takibinin iptaline veya talikine karar vermez[2]. Zira itirazın iptali davası takip kesinleşmeden önceki evrede açılabilen ve takibe yapılan itiraz nedeniyle durmuş olan takibin devamı için itirazın hükümden düşürülmesini sağlayan bir davadır.

İcra hukukuna özgü bir dava olmakla birlikte, itirazın iptali davası genel hükümlere göre ve genel mahkemelerde görülür. İtirazın iptali davasında mahkeme alacaklının istemini, takip konusu alacağın var olmaması nedeniyle ret edebilir. Böylece icra takibinde borçlunun itirazında haklı olduğu ve böyle bir borcunun olmadığı sonucu ortaya çıkar. Bu sonuca bağlı olarak icra takibinin iptal edilmiş olduğu kabul edilir[3]. Ayrıca dava sonunda verilen hüküm borcun olmadığı veya bu nitelikte bir alacağın mevcut olmadığı yönünde kesin hüküm teşkil eder[4]. Artık alacaklı bu alacağı için başkaca bir dava açamayacağı gibi, icra veya iflas takibi de yapamaz. Diğer taraftan itirazın iptali davasının kabulü halinde, borçlunun itirazının iptaline ve şartları varsa icra inkâr tazminatına hükmedilir.

---

[1] İtirazların hükümden düşürülmesiyle ilgili olarak ayrıntılı bilgi için bkz. Ramazan Arslan, Ejder Yılmaz, Sema Taşpınar-Ayvaz ve Emel Hanağası, *İcra ve İflas Hukuku*, Yetkin Yayıncılık, 10. Bası, Ankara 2024, s. 210 vd.; Şanal Görgün, Levent Börü ve Mehmet Kodakoğlu, *İcra ve İflas Hukuku*, 6. Bası Yetkin Yayıncılık, Ankara 2024, s. 97 vd.; Murat Atalı, İbrahim Ermenek ve Ersin Erdoğan, *İcra ve İflas Hukuku*, 8. Bası, Yetkin Yayıncılık, Ankara 2024, s. 147 vd.; Abdürrahim Karslı, *İcra ve İflas Hukuku*, 4. Baskı, Filiz Kitabevi, İstanbul 2022, s. 200 vd.; Murat Atalı ve İbrahim Ermenek, *İcra ve İflas Hukuku*, Seçkin Yayıncılık, 8. Bası, Ankara 2025, s. 80 vd.; Hakan Pekcanıtez, Murat Atalay ve Murat Özekes, *İcra ve İflas Hukuku-Temel Bilgiler*, s. 60 vd. ; Baki Kuru, *İcra ve İflas Hukuku,* C. I, İstanbul 1988, s. 278 vd.; Hakan Pekcanıtez, Muhammet Atalay, Meral Sungurtekin-Özkan ve Muhammet Özekes, *İcra ve İflas Hukuku*, 11. Bası, Onikilevha Yayınları, İstanbul 2024, s. 115 vd.; İbrahim Aşık, Yakup Oruç , Ozan Tok , Ömer Faruk Saçar ve Recep Aşit, *İcra ve İflas Hukuku*, 3. Baskı, Seçkin Yayıncılık Ankara 2024 s. 110 vd.; Talih Uyar, "İcra Hukukunda İtirazın Hükümsüz Hale Getirilmesi (İtiraz Üzerine Alacaklının İzleyeceği Yol", *İzBD, Y. 1990*; *S. 7 (3),* s. 72-79.

[2] Oysa takibin iptali ve talikine ise takibin kesinleşmesinden sonraki devrede borcun ve ferilerinin itfa edildiği yahut alacaklının borçluya bir mühlet verdiği noterden tasdikli veya imzası ikrar edilmiş bir belge ile ispat edilirse, icra mahkemesinden her zaman istenebilir (İİK m. 71).

[3] Baki Kuru, *İcra ve İflas Hukuku El Kitabı*, 2. Baskı, Adalet Yayınevi, Ankara 2013, s. 257; Adnan Deynekli ve Sedat Kısa, *İtirazın İptali Davaları*, Turhan Kitabevi Ankara 2013, s. 214; Arslan, Yılmaz, Taşpınar Ayvaz ve Hanağası-İcra, s. 216-217; Atalı, Ermenek ve Erdoğan, İcra, s. 145 vd.; Görgün, Börü ve Kodakoğlu-İcra s. 106-107; Pekcanıtez, Atalay, Özekes, İcra-Temel Bilgiler, s. 60 vd. ; Atalı ve Ermenek, İcra, s. 95; Karslı, İcra, s. 223 vd.; Pekcanıtez, Atalay, Sungurtekin-Özkan ve Özekes, İcra, s. 115 vd.; Aşık, Oruç, Tok, Saçar ve Aşit, İcra, s. 112-113.

[4] Kuru, 2013, s. 257; İlhan E. Postacıoğlu ve Sümer Altay Postacıoğlu, *İcra Hukuku Esasları*, 5. Baskı, Vedat Kitapçılık, İstanbul 2010, s. 224.

Borçlunun mevcut icra takibine yaptığı itiraz iptal edilmiş, böylece alacaklı takibe devam etme imkânı elde etmiş olur. Bu halde de borçlu için başkaca kanuni imkân yoktur; yani borçlu menfi tespit veya istirdat davası açamaz; bu hüküm borçlu için aynı zamanda maddi anlamda kesin hüküm teşkil eder.

I. İTİRAZIN İPTALİ DAVASININ HUKUKİ NİTELİĞİ

En genel anlamda belirtmek gerekirse, itirazın iptali davası genel hükümlere göre ve genel mahkemelerde görülen ve dava sonunda verilen hükmün maddi anlamda kesin hüküm teşkil ettiği bir davadır. Takip alacaklısı tarafından, takip borçlusuna karşı açılır. Ancak borçlunun takipte imzaya veya borca itiraz ederek takibi durdurmuş olması gerekir. Dava takibe yapılan itirazın alacaklıya tebliğinden itibaren bir yıl içinde açılır (İİK m. 67).

İtirazın iptali davasının hukuki niteliği konusunda hem yargı kararlarında hem de öğretide farklı görüşler ileri sürülmüştür. Davanın niteliğinin belirlenmesi, özellikle dava sonucunda verilecek kararın icrası bakımından önemli olduğu gibi icra takibi ile dava arasındaki bağlılığın da nitelendirilmesinde de önem arz eder.

A. İtirazın İptali Davasının Eda Davası Olduğu Görüşü

Öğretide itirazın iptali davasının bir eda davası[5] (HMK m. 105) olduğu yönünde görüş[6] mevcuttur. Özellikle Kuru'ya göre, alacak davası ile itirazın iptali davasını farklı nitelendirmek, medeni usul hukukunun genel teorisine, Anayasada ve HMK'da düzenlenen usul ekonomisi ilkesine (HMK m. 30, Anayasa m. 141) aykırılık oluşturur.

Postacıoğlu ve Altay'a göre[7] de, itirazın iptali davası bir eda davasıdır. Bu davanın takip prosedürü içinde olması mahkemeden alacağın istenemeyeceği anlamına gelmez. İcra ve iflas hukukunda alacağın ve takibin devamının birlikte istenmesini engelleyen bir hüküm yoktur.

Öğretide Arslan, Yılmaz, Taşpınar-Ayvaz ve Hanağası göre de[8], itirazın iptali davası her şeyden önce bir alacak (eda) davasıdır.

---

[5] Eda davası ile ilgili ayrıntılı bilgi için bkz. Ejder Yılmaz, "Hukuk Muhakemeleri Kanununa Göre Dava Çeşitleri", (*Bankacılar 2012/80,* s. 83-104); Ramazan Arslan, Ejder Yılmaz, Sema Taşpınar-Ayvaz ve Emel Hanağası, *Medeni Usul Hukuku*, 10. Bası, Yetkin Yayıncılık, Ankara 2024, s. 313 vd.; Baki Kuru ve Burak Aydın, *İstinaf Sistemine Göre Yazılmış Medeni Usul Hukuku (Ders Kitabı)*, 8. Baskı, Yetkin Yayınları, Ankara 2023, s. 139-140; Ejder Yılmaz, "İtirazın İptali Davasının Hukuki Niteliği", (Prof. Dr. Saim Üstündağ Armağanı), Adalet Yayınevi, Ankara 2009, s. 596-615; Hakan Pekcanıtez, Oğuz Atalay ve Muhammet Özekes, *Medeni Usul Hukuku Temel Bilgiler*, Onikilevha Yayınları, 18. Bası, İstanbul 2024, s. 161 vd.; Süha Tanrıver, *Medeni Usul Hukuku*, C .II, Yetkin Yayıncılık Ankara 2020, s. 649 vd.; Saim Üstündağ, *Medeni Yargılama Hukuku*, C. I-II; 6. Bası, İstanbul 1997, s. 314 vd; Şanal, Görgün ve Kodakoğlu, Usul, s. 257 vd.; Murat Atalı, İbrahim Ermenek ve Ersin Erdoğan, *Medeni Usul Hukuku,* 7. Baskı, Yetkin Yayınları, Ankara 2024, s. 350 vd.

[6] Arslan, Yılmaz, Taşpınar-Ayvaz ve Hanağası-İcra, s. 211-215; Kuru, 2013, s. 248; M. Necmettin Berkin, *Tatbikatçılara İcra ve İflas Hukuku Rehberi*, Filiz Kitapevi, İstanbul 1980, s. 421; Yönel Özkan, *İcra ve İflas Hukukunda İtirazın İptali Davası*, 2. Bası, Turhan Kitapevi, Ankara 2004, s. 32; Ali Cem Budak, *Medeni Usul Hukukunda Kavram İçtihadı ve Menfaat İçtihadı*, Filiz Kitapevi, İstanbul 2021, s. 80; Mustafa Erdem, İcra ve İflas Hukukunda İtirazın İptali Davası (Yayımlanmamış Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, Ankara 2010; Burhan Gürdoğan, İcra Hukuku Dersleri, Ankara 1970, s. 38 vd. ; Karslı-İcra s. 223.

Baki Kuru, "Ödeme Emrine İtirazın İptali Davası ve İcra İnkar Tazminatı", *Adalet Dergisi,* 1961, s.7-8, s. 678; İlhan. E. Postacıoğlu, "İcra İnkar Tazminatı Üzerine Düşünceler ve Bazı İhtilaflı Noktalar", *BATİDER*, C.9, S. 4, s. 967; İlhan. E. Postacıoğlu, "Ödeme Emrine İtirazın İptali Mevzuunda Bazı Zaruri Açıklamalar", *BATİDER*, C. 9, S.4, s. 977; Ejder Yılmaz, "Tahkimde İtirazın İptali Davası ve Tahkime Elverişlilik Kuralı", *DEÜHFD*, S. 16, 2014, s.538; Ejder Yılmaz, "İtirazın İptali Davasının Hukuki Niteliği", (Prof. Dr. Saim Üstündağ Armağanı), Adalet Yayınevi, Ankara 2009, s. 596-615, s. 612; Barış Toraman, "Takip Hukukuna Özgü Bazı Davaların Dava Şartı Arabuluculuğa Tabi Olup Olmadığı Sorunu", *Çankaya Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, C. 5, S.1, 2020, s.3149; A. Yeşilırmak, "Geçerli Bir Tahkim Anlaşmasının Varlığına Rağmen Genel Haciz Yoluyla Takip Yapılabilir mi?" *Türkiye Barolar Birliği Dergisi*, S. 96, Y. 2011, s. 217.

[7] Bkz. Postacıoğlu ve Altay-İcra, s. 226.

Takip talebine bağlı olarak bir yıl içinde açılacak bu davada hâkim, alacaklının hukuki nitelendirmesine bağlı olmadan, davayı itirazın iptali davası olarak görmelidir. Davacı dava dilekçesinde hem itirazın iptalini ve icra inkâr tazminatı ödenmesini, hem de tahsil talebinde bulunabilir. Bu davada alacaklı alacağının varlığının hüküm altına alınmasını ve takibe devam edilmesini (borçlunun itirazının iptalini) ister. Alacaklı aldığı hükümle ilamlı icra takibi de yapabilir. İcra inkâr tazminatı da isteyebilir. Alacaklı takip konusu yaptığı ve borçlunun itiraz ettiği alacak için tek bir dava açabilir ki bu da m. 67'de sözü edilen alacak (eda) davasıdır. Ancak bu alacak davası, m.67, I'deki süre olan bir yıl içinde açılırsa itirazın iptali davası adını alır. Alacaklıya böylece tahsil davasının sağladığı imkânlardan başka ilamsız icra takibine devam edilmesi imkânı da sağlar. İtirazın iptali davası ile tahsil (eda) davasının ayrı iki dava olduğu görüşü dava teorisine aykırı olduğu gibi usul ekonomisi ilkesine de aykırı düşer.

Yılmaz'a[9] göre, itirazın iptali davası sonucunda alacaklı isteminde haklı çıkmış ise, ilamsız takibe devam edebileceğinden, ilamlı takip yapmasında hukuki yararı yoktur. Alacaklının yargılama giderleri ve icra inkâr tazminatı için ayrıca ilamlı takip yapmasına da gerek yoktur. Alacaklı, ancak haciz isteme süresini kaçırdığı hallerde olduğu gibi, yenileme harcı ödememek için ve hukuki yararı da olduğundan ilamlı icraya başvurabilir ve icra emrinin tebliğine rağmen ödenmemesi durumunda doğrudan iflasa da başvurabilmelidir.

Yine öğretide[10] savunulan görüşe göre, itirazın iptali davasının hukuki niteliği bakımından benimsenmesi gereken görüş, bu davanın bir eda davası olduğudur. Alacaklı, bu davayı açarken talep sonucunda yalnızca itirazın iptalini istemiş olsa dahi, bu talep aynı zamanda alacak talebini de içermektedir. Zira alacaklının itirazın iptali davası açmasındaki temel amacı takip konusu alacağın tahsilini sağlamaktır. Alacaklı, ilamsız icra takibini başlatırken icra dairesine sunduğu takip talebinde, takip konusu alacak miktarının kendisine ödenmesini talep etmektedir. İtirazın iptali davasının esasını da bu talep oluşturmaktadır. Dolayısıyla, davanın hukuki niteliğinin belirlenmesinde de bu talep ve usul ekonomisi ilkesi göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu davayı eda davası dışında nitelendiren görüşler, usul ekonomisi ilkesine aykırılık teşkil eder. Diğer yandan, aksi görüşün kabulü halinde alacaklı, ilamlı icraya geçmek için yeniden dava açmak ve ayrıca iflas yolu için yeniden işlem yapmak zorunda kalır; bu da zaman kaybına ve masrafa neden olur[11]. Eğer itirazın iptali davası hakkında verilen hüküm kesinleştikten sonra takip iptal edilirse, bu durumda bu davanın hukuki niteliğinin takip hukukuna özgü dava olduğunu savunan görüş mahkeme kararının nasıl bir sonuç doğuracağını açıklamamıştır[12].

---

[8] Bkz. Arslan, Yılmaz, Taşpınar-Ayvaz ve Hanağası-İcra, s. 211-212; Ejder Yılmaz, "Tahkimde İtirazın İptali Davası ve Tahkime Elverişlilik Kuralı", *Dokuzeylül Üniversitesi HFD*, C. 16, Özel Sayı, Prof. Dr. Hakan Pekcanıtez'e Armağan, 2014, s.531-534, s. 538; Ejder Yılmaz, İtirazın İptali Davasının Hukuki Niteliği, Prof. Dr. Saim Üstündağ'a Armağan, Adalet Yayınevi, Ankara 2009, s. 597-615, s. 612 vd.

[9] Yılmaz, (2014), s. 538; Yılmaz, (2009), s. 612.

[10] Alp Eren Turhan, *İtirazın İptali Davasının Hukuki Niteliği ve İcra-İflas Hukukundaki Yeri* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Antalya Bilim Üniversitesi) Antalya 2024, s. 20-21.

[11] Kuru, (2013), s. 272; Arslan, Yılmaz, Taşpınar Ayvaz ve Hanağası-İcra, s. 212-214.

[12] Turhan, s. 21 vd.

B. İtirazın İptali Davasının Tespit Davası Olduğu Görüşü

Öğretide itirazın iptali davasının tespit davası[13] olduğu yönünde görüş de mevcuttur. Bu görüşe göre İİK`nin 67/1'nci maddesindeki davada ne bir şeyin verilmesi veya yapılması, ne de yapılmaması talep edilmektedir. Bu davada, iki husus birden tespit edilir. Birincisi, davacının alacağının olduğu, ikincisi ise borçlunun itirazının haksız olduğudur. Burada kanun koyucunun yasalaştırdığı bir "Müsbet Tespiti" davası vardır[14].

Postacıoğlu'na[15] göre de, itirazın iptali davasında, davacının esas alacağı yönünden bir tahsil talebi, yani bir eda davası, mevcut değildir. Davacı, davalının itirazının iptali ile icranın devamına karar verilmesini istediğine göre, bu talebin tespit davası olarak görülmesi ve alacağın tespiti ile iktifa edilerek tahsile müncer olacak şekilde bir karar verilmemesi gerekir. Zira medeni usul hukukunda mahkemeden istenen hukuki korumaya göre davalar, eda, tespit ve inşai dava şeklinde sınıflandırılmaktadır. Alacaklı itirazın iptali davası açarken davalının bir edaya mahkûm edilmesini talep etmemekte, alacağının varlığını ispat ederek borçlunun ödeme emrine karşı ileri sürdüğü itirazın haksızlığının tespitini talep etmektedir. Dolayısıyla itirazın iptali davasının bir tespit davası olduğu sonucuna varmak gerekir[16].

Çağa'ya[17] göre, itirazın iptali davasında alacaklı talebini itirazın iptali ve icra inkâr tazminatı şeklinde ifade etmişse, mahkemenin taleple bağlılık ilkesi gereğince, bu talepten fazlasına veya başka bir şeye hükmetmesi mümkün değildir. Alacaklının mahkemeden eda talebinde bulunması durumunda, mahkeme bu talebi itirazın iptali olarak da inceleyemez. Mahkeme davada alacağın bulunup bulunmadığını incelemeli ve alacağın bulunması durumunda itirazın iptaline karar vermelidir. Bu hükümden fazlasını alacaklı istememektedir ve hüküm duran takibe devam etmek için yeterlidir. İtirazın iptali davası alacaklı lehine sonuçlanırsa alacaklı duran takibe devam eder. Ancak yargılama giderleri ve icra inkâr tazminatını ilamsız icra dosyasındaki takipten isteyemez. Mahkemenin verdiği hükmün bu alacak kalemleri kısmı eda hükmünde olacağı için ilamlı icra yoluna başvurulabilir.

Diğer yandan yapılan bir icra takibinde borçlunun Türkiye'deki mal varlığından borcun tahsil edilememesi üzerine, bu defa borçlunun yabancı ülkedeki mallarından alacağın tahsili talep edilmiştir. Bunun üzerine, alacaklı alacağını tahsil etmek amacıyla borçlu aleyhine Türk mahkemesinden alınmış olan itirazın iptali kararının Fransa'da tenfizi için Paris İlk Derece Mahkemesine başvurmuştur.

---

[13] Tespit davası ile ilgili ayrıntılı bilgi için bkz. Baki Kuru ve Ali Cem Budak, *Tespit Davaları*, 2. Baskı, İstanbul 2010; Baki Kuru, *İcra ve İflas Hukukunda Menfi Tespit Davası ve İstirdat Davası*, Ankara 2003; Ejder Yılmaz, "Tespit Davası", *Sicil İş Hukuku Dergisi*, Y. 2012/26, s. 38-49; Timuçin Muşul, *Medeni Usul Hukukunda Terdit İlişkileri*, Ankara 2009; Murat Atalı, İbrahim Ermenek ve Ersin Erdoğan *Medeni Usul Hukuku*, Yetkin Yayıncılık, Ankara 2024), s. 351; İlhan E. Postacıoğlu ve Sümer Altay, *Medeni Usul Hukuku*, İstanbul 2015, s. 254-255; Görgün, Börü ve Kodakoğlu-Usul s. 258 vd.; Arslan, Yılmaz, Taşpınar-Ayvaz ve Hanağası-Usul, s. 320 vd.; Tanrıver, Usul-I, s. 650 vd.; Baki Kuru ve Burak Aydın, *İstinaf Sistemine Göre Yazılmış Medeni Usul Hukuku* (Ders Kitabı), 8. Bası, Yetkin Yayınları, Ankara 2023, s. 140-141; Pekcanıtez, Atalay ve Özekes, Usul-Temel Bilgiler, s. 161 vd.; Atalı ve Ermenek, Usul, s. 136; Ali Cem Budak ve Ergün Karaaslan, *Medeni Usul Hukuku*, 7. Bası Filiz Kitabevi, s. 156 vd.; Üstündağ, Usul s. 324 vd..

[14] Tahir Çağa, "Ödeme Emrine İtirazın İptaline Dair", *BATİDER*, C.8, S. 3, (1976), s. 24-30, s. 25; Yavuz N. Okçuoğlu, "Yargıtay Kararları ve Karşı Oylarım", *BATİDER*, Ankara, 1991, s. 10-14; Cenk Akil, "Ticari Uyuşmazlıklarda Dava Şartı Olarak Arabuluculuk Hakkında Usul Hukuku Bakımından Bazı Değerlendirmeler", *TAAD,* Y. 11, S. 41 (Ocak 2020) s. 322.

[15] İlhan E. Postacıoğlu, "Ödeme Emrine İtirazın İptali Mevzuunda Bazı Zaruri Açıklamalar" *BATİDER*, 1978/IX, C. 4, s. 965-966.

[16] Aşık, Oruç, Tok, Saçar ve Aşit, İcra, s. 114.

[17] Çağa, s. 25. Uyar, benzer olarak, İİK m. 67'nin son fıkrası eda davası olduğu kabul edildiğinde ilk fıkrada düzenlenen dava tespit davasıdır (Talih Uyar, İcra Hukukunda İtiraz, 2. Baskı, Feryal Matbaacılık, 1990, s. 312-313.

Ancak mahkemece, itirazın iptali davasının bir tespit davası olduğu, verilen kararın tespit hükmü içerdiği ve kararın icra edilebilir olmadığından bahisle tenfiz talebi reddedilmiştir[18].
Uyar'a göre[19]; kanun koyucu tarafından düzenlenen İİK'nın 67. maddesinin birinci ve son fıkralarında yer alan davaların hukuki nitelikleri birbirinden farklıdır. İlgili maddenin son fıkrasının eda davası olduğu kabul edildiğinde, ilk fıkrada düzenlenen davanın tespit davası olduğu savunulmalıdır. Aksini düşünmek hukukun genel mantığına aykırıdır.
Tanrıver'e göre[20], icra takibiyle itirazın iptali davası arasındaki organik bağ da dikkate alındığında; itirazın iptali davasını karakterize eden öğeler, borçlunun, itirazının iptaline ve takibin devamına karar verilmesiyle şartları varsa icra inkâr tazminatı ödemeye mahkûm edilmesidir (İİK m 67). Bu boyutları itibariyle sözü edilen dava, takip prosedürünün bütünü içinde yer alan, esas itibariyle onun ayrılmaz bir parçasını oluşturan ve takibin işleyişini sağlamaya yönelmiş bulunan bir dava konumundadır. Hatta itirazın iptali davasının, hukuki niteliği itibariyle, sadece borçlunun, itirazının iptali ve takibin devamına karar verilmesiyle icra inkâr tazminatına mahkûm edilmesini hedefleyen bir tespit davası olduğu yönündeki düşünce kabul edilecek olursa, dava zaten bir alacak davası olma kimliğinden tümüyle soyutlanacağı için, yapılmış bulunan bu çözümlemeye, daha kolaylıkla ulaşılabilir.

C. İtirazın İptali Davasının İnşai Dava Olduğunu Belirten Görüş

İtirazın iptali davasının inşai dava[21] olduğunu belirten görüş[22] de mevcuttur. HMK m. 108'e göre inşai dava, mahkemeden, yeni bir hukuki durum yaratılması veya mevcut bir hukuki durumun içeriğinin değiştirilmesi yahut onun ortadan kaldırılmasının talep edildiği davalar olarak tanımlanmaktadır. Bu görüşe göre, itirazın iptali davası, mahkemeden istenen hukuki korumaya göre sınıflandırılan herhangi bir dava türüne girmemektedir. İtirazın iptali davasında, alacaklının haklı çıkması halinde, duran takibin devam etmesi sağlanmış olur. Mahkemenin verdiği hükümle beraber, takip hukukuna özgü hukuki durumda değişiklik meydana gelir. Bu hukuki durumdaki değişikliğe inşai etki denir. Kural olarak itirazın iptali davasında yargılama giderleri dışındaki hükümler için icra edilmesine gerek yoktur. Mahkemenin verdiği karar takip hukukuna özgü hukuki durumda değişiklik yaratmaktadır. Bu nedenle itirazın iptali davası takip hukukuna özgü inşai bir davadır.
Büyük'ün görüşüne göre[23] de; itirazın iptali davasında alacaklı, talep sonucunda alacağın tahsilini istemez; alacaklının davayı açmaktaki amacı, takibin durmasına neden olan itirazın hükümden düşürülmesidir. Dava sonucunda mahkeme tarafından verilen hüküm iki kısımdan oluşur. Bunlardan ilki, itirazın iptali kararı olup hükmün inşai kısmını; ikincisi ise alacaklının alacaklı olduğu miktarın belirlenmesi kararı olup hükmün tespit kısmını oluşturur.

---

[18] Rıza Gümbüşoğlu, Melis Sılacı ve Ezgi Kut, "İtirazın İptali Kararlarının Tenfiz Kabiliyeti", *Yargıtay Dergisi*, Ocak-Nisan 2016, C. 42, S. 1-2, s. 271.
[19] Uyar-İtiraz, s. 312-313.
[20] Süha Tanrıver, "Dava Şartı Arabuluculuk Üzerine Bazı Düşünceler", *TBB Dergisi* 2020, S. 147, Mart-Nisan, Y. 32, s. 123.
[21] İnşai davalar için bkz. Arslan, Yılmaz, Taşpınar-Ayvaz ve Hanağası-Usul, s. 324 vd.; Kuru ve Aydın, Usul s. 144 vd.; Üstündağ, Usul s. 335 vd.; Atalı, Ermenek ve Erdoğan-Usul s. 361; Görgün, Börü ve Kodakoğlu-Usul s. 261 vd.; Tanrıver, Usul-I, s. 652 vd.; Pekcanıtez, Atalay, Özekes, Usul-Temel Bilgiler, s. 162-163; Yılmaz, HMK Şerhi, s. 763 vd.; Budak ve Karaaslan, Usul s. 165 vd.; Atalı ve Ermenek, Usul, s. 137; Ergun Önen, *İnşai Dava*, Ankara 1981, Rukiye Feray Durmuş, *Yenilik Doğuran Davalar*, İstanbul 2021; Elif Irmak Büyük, *Medeni Usul Hukukunda İnşai Dava ve İnşai Hüküm*, İstanbul 2021.
[22] Bkz. Emel Hanağası ve Kaya Burak Öztürk, "İdari Eylem ve İşlemlerden Doğan Zararların Giderilmesinde İlamsız İcra Yolu", *(BATİDER* Y. 2013, S. 29/1, s. 79-114); 95-98.
[23] E. I. Büyük, "Karar İncelemesi: Ticari Dava Niteliğindeki İtirazın İptali Davasının Dava Şartı Arabuluculuğa Tabi Olup Olmadığına İlişkin Uyuşmazlığın Giderilmesine Yönelik Yargıtay 23. Hukuk Dairesi Kararının Değerlendirilmesi" *Yalova Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, Y. 2021, S. 27(1), s. 791-794.

Mahkeme tarafından verilen hüküm kesin hüküm teşkil etse de bu dava sonucunda verilen karar alacaklının duran takibinin devamını sağlar. Mahkeme tarafından verilen hüküm, sonuçlarını icra hukukunda doğurur. Ayrıca itirazın iptali davasında verilen hüküm alacağın tahsiline ilişkin bir belirleme içermediğinden, ilamlı icraya konulacak ilamlardan değildir. Burada alacaklının ilamlı icra takibi yapmasında hukuki yararı da yoktur.

D. İtirazın İptali Davasının İcra Hukukuna Özgü Bir Dava Olduğu Görüşü

Öğretide itirazın iptali davasının icra hukukuna özgü bir dava olduğu yönünde görüş de mevcuttur[24]. İtirazın iptali davası İİK m. 67 gereği bir yıllık hak düşürücü süre içerisinde açılmalıdır. Aksi takdirde süre geçtikten sonra itirazın iptali davası açılamaz. Eğer itirazın iptali davası süre geçtikten sonra açılırsa, bu davada alacaklının tahsil talebi olmadığı için eda davası olarak da görülemez. Dava süresinde açılmaz ise mahkeme tarafından reddedilmelidir. İtirazın iptali davasında alınan hükümle ilamlı icra takibi yoluna başvurulamaz. Eğer itirazın iptali davasında hem alacağının tahsilini hem de itirazın iptalini mahkemeden istenmişse, alacaklının bu taleplerden hangisini istediği sorulmalıdır. Alacaklı itirazın iptalini değil de alacağının bir ilamla karar altına alınmasını isterse, bu dava bir eda davasıdır. Ancak bu davanın sonunda alınacak ilamla ile duran takip devam ettirilemez; borçlu icra inkâr tazminatı ödemeye de mahkûm edilemez.

Ayrıca Görgün, Börü ve Kodakoğlu'na[25] göre, itirazın iptali davası ilamsız icra takiplerine özgülenmiş, kendi içinde ayrı prosedür ve sonuçları içeren, maddi hukuk esaslarına dayanan alacağın varlığının incelenip değerlendirildiği ve neticesinde itiraz üzerine duran takibin devamlılığını sağlamayı amaçlayan kendi özgü (sui generis) bir davadır.

Deynekli ve Kısa'ya göre[26] de itirazın iptali davası, hukuki niteliği gereği, tespit veya eda davası değildir. Alacaklı alacağının tespitini mahkemeden talep etmekte ise de davacı sonuç olarak alacağının tahsilini amaçlamaktadır. Dolayısıyla itirazın iptali davası, takip hukukuna özgü bir tahsil davasıdır. Bu davada borçlu cevap dilekçesinde ileri sürmemiş fakat takipte zamanaşımı defisini ileri sürmüş ise geçerlidir[27]. Takibe itirazda ileri sürmesi yeterlidir. Bu nedenle bu davayı alelade bir tahsil davası denirse, borçlunun bütün itiraz ve defilerini ayrıca cevap dilekçelerinde ileri sürmesi gerekirdi. Dava sonucunda alacaklı aldığı ilamla takibin devamını sağlayabilir. Eğer tahsil davası olsaydı, alacaklı aldığı ilamla ilamlı takip yapabilirdi[28]. Davada zaten alacağın tahsiline ilişkin hüküm kurulmamalıdır[29].

Özkan'a[30] göre de, itirazın iptali davası ne tespit davasıdır ne de alelade bir alacak davasıdır. Zira duran takibe devam etme imkânı verdiği gibi, bu davada sadece alacaklının alacağının varlığı ya da yokluğunun tespiti yapılmaz. Takibin içinde yer alan ve belirtilen şartlarla farklı sonuçlar doğuran bir davadır. Zira bu dava takip dışında da ondan ayrı olarak sonuçlar doğurur.

---

[24] Pekcanıtez, Atalay, Sungurtekin-Özkan ve Özekes, İcra, s. 177-188; Atalı, Ermenek ve Erdoğan, İcra, s. 150-152; Görgün, Börü ve Kodakoğlu-İcra s. 100-101. Aynı yönde bkz. Süleyman Topak, "İtirazın İptali Davasının Kısmi Dava Olarak Açılması Sorunu", *Hacettepe Hukuk Fakültesi Dergisi*, Y. 2025, S. 15 (2), s. 479; Meltem Ercan Özler,"Takip Talebinde Dayanılmayan Belgenin İtirazın İptali Davasında İleri Sürülüp Sürülemeyeceği Üzerine", *AkdHFD*, C. 15, S.1, (Haziran 2025), s. 387-421, s. 403.

[25] Görgün, Börü ve Kodakoğlu-İcra s. 100-101.

[26] Deynekli ve Kısa, s. 82-83.

[27] Kuru'ya göre, borçlu ödeme emrine itiraz ederken, zamanaşımını bildirmiş olsa bile itirazın iptali davasında da zamanaşımını tekrar ileri sürmelidir (bkz. Baki Kuru, "İlamsız İcrada Zamanaşımı Definin İleri Sürülmesi", *BATİDER* C. 13, S. 3-4, s. 100; aynı yönde bkz. Mehmet Sarı, Takip Hukukunda Zamanaşımı, Ankara 2007, s. 58; Özkan s. 58.

[28] "Görüldüğü gibi itirazın iptali davası, tespit ve eda isteklerinden meydana gelen takip hukukuna özgü bir eda (tahsil) davasıdır." (Bkz. Deynekli/Kısa, s. 83; Gönen Eriş, "Ödeme Emrine İtirazın İptali Davası ve Bazı Sorunlar", *ABD*, Y. 1977, S. 5, s. 828.

[29] Deynekli ve Kısa s. 214.

[30] Bkz. Özkan, s. 31-33.

Muşul[31] ise, itirazın iptali davasının, İcra ve İflâs Kanununun 67'nci maddesinde düzenlenmiş bir takip hukuku müessesesi olduğu görüşünde olmakla beraber, itirazın iptali davasının genel hükümlere tabi bir alacak davasından farklı olduğu ve itirazın iptali davasının kabulüne karar verilmesi halinde dava dilekçesinde talep edilmiş ise alacağın tahsiline karar verilebileceğini, bu karar verilmese bile alacak bir ilâma bağlandığından takibe ilamlı takip olarak devam edileceğini belirtmiştir.

E. Yargıtay'ın Görüş ve Uygulaması

Tespit edebildiğimiz kadarıyla, Yargıtay'ın yerleşik bir görüşü bulunmamaktadır. Tespit davası[32] veya eda davası[33] olduğu yönünde farklı kararları vardır. Yargıtay bazı kararlarında itirazın iptali davası ile alacak (eda) davasının farklı olduğunu, bu anlamda itirazın iptali ve icra inkâr tazminatı istemi ile eda (tahsil) talebinin bir arada dava edilmesinin mümkün olmadığını belirtmektedir.

Tespit davası olduğunu yönündeki kararlarda[34], itirazın iptali kararı ile beraber itiraz edilen takibin devam edeceği, talep edilmişse icra inkâr tazminatına hükmedileceği ve alacak miktarının da belirlenmiş olacağı ifade edilmiştir. İlave olarak likit bir miktarın ödenmesi yönünde bir eda hükmü oluşturulmadığından bu haliyle ilamların icrası yoluyla ayrı bir takiple icrası da mümkün değildir. Yani tahsil hükmü içermediği, mevcut ilamsız icranın devamını sağladığı ifade edilmiştir.

Hatta Yargıtay alacaklının hem itirazın iptalini ve icra inkâr tazminatını hem de alacağının faizli ve faizsiz tahsilini talep etmesi durumunda HMK m. 119, 1/ğ ve 31. madde hükümleri gereğince ilk önce davacıya talep sonucunu açıklattırmalı, itirazın iptali mi yoksa eda (alacak, tahsil) davasının mı açılmak istendiğini belirlemelidir.

Yargıtay Hukuk Genel Kurulunun yakın tarihli bazı kararlarında ise İİK m. 67'de belirtilen davanın, eda davası olduğu belirtilmiştir[35]. Söz konusu kararlarda davacı alacaklı, itirazın iptali davasında, borçlunun itiraz etmiş olduğu alacağın mevcut olduğunu bildirerek, borçlunun itirazının iptaline karar verilmesini talep eder. Mahkemenin davanın reddi ya da kabulü yönünde verdiği karar, maddi anlamda kesin hüküm teşkil edeceğinden, davanın reddi hâlinde alacaklı, borçluya karşı aynı alacaktan dolayı yeni bir alacak davası açamayacağı gibi davanın kabulü hâlinde borçlu da alacaklıya karşı menfi tespit veya istirdat davası açamayacaktır. Bu nedenledir ki, mahkeme itirazın iptali davasında tarafların iddia ve savunmalarını genel hükümlere göre inceleyerek borcun varlığını ve miktarını araştırmak zorundadır. Hemen belirtilmelidir ki takip ya da dava tarihindeki koşullara göre belirlenecek olan alacak miktarı, itirazın iptali davasına özgü bir tazminat türü olan ve bağımsız bir dava konusu yapılamayan icra inkâr tazminatının miktarına da etkili olacağı açıktır.

---

[31] Muşul-İcra s. 318-319).

[32] YHGK T. 21.09.2021, E. 2021/3-972, K. 2021/1057; Y. 3. HD, T. 17.01.2002, E.2001/10773, K. 2002/415 (Görgün, Börü ve Kodakoğlu-İcra, s. 100, dn. 96); YHGK T. 13.12.1967, E. 1966/4-113, K.1967/615; Y. 8. HD, T. 08.09.2014, E. 2013/23863, K. 2014/14838, Y. 11. HD, T. 05.04.2004, 2004/9065, 2004/3572 (https://karararama. yargitay.gov.tr/erişim tarihi 19.01.2026).

[33] YHGK, K. 09.02.2011, E. 2011/29; K. 2011/56 (https://www.hukuktürk.com/erişim tarihi 23.03.2025; YHGK, T. 02.03.2016, E. 2016/11-733, K. 2016/216; YHGK, T. 10.06.2021, 2021/5-1998, 2021/746, HGK T. 10.06.2021, E. 2021/15-2331, K. 2021/739, (https://e-uyar.com/erişim tarihi 14.04.2025).

[34] YHGK, T. 05.07.2023, E. 2022/1077, K. 2023/718 (https://www.lexpera.com.tr/ictihat/erişim tarihi 01.05.2025); YHGK T. 08.10.1997, E. 1997/12-517, K. 1997/776; Y. 11.HD, T. 05.04.2004, E. 2004/965; 2004/3572; Y. 19. HD, T.19.03.2004, E. 2004/4746, K. 2004/3086 (https://e-uyar.com/erişim tarihi 23.03.2005).

[35] Bkz. YHGK, T. 11.02.2020, E. 1017/19-2076, K. 2020/117 YHGK T. 11.02.2020, E. 2017/19-2076, K. 2020/117 (https://www.kiratlihukuk.com/ erişim tarihi 26.03.2025). Ayrıca bkz. Sakarya Bölge Adliye Mahkemesi, 7. HD, T. 17.06.2020, E. 2020/808, K. 2020/670, https://www.alicinaz. av.tr/itirazin iptali-davasi-emsal-karar/erişim tarihi 26.03.2025).

Yargıtay 4. HD[36]'nce verilen bazı kararlarda şu şekilde açıklama yapılmıştır: İİK m. 67/1 hükümlerince açılan itirazın iptali davasında, tahsile (edaya) ilişkin bir istek yoktur. Bu haliyle dava, İİK.`nin 67/1. maddesine tam uyan ve niteliği itibariyle bir müspet tespit davasıdır. Tespit niteliği bu olan davada, tahsile (edaya) ilişkin bir karar (inkâr tazminatı bölümü hariç) tesis edilemez.

Yine Yargıtay'ın bazı kararlarında şu ifadelere yer verilmiştir: Borçlular hakkında genel haciz yolu ile icra takibi yapılmış, borçluların itirazı üzerine alacaklı İİK m. 67 gereğince itirazın iptalini istemiş, sonuçta mahkemece itirazın iptaline karar verilmiştir. Alacaklı, bu ilamı aynı takip dosyasına ibrazla, asıl alacak yönünden önceki talebi doğrultusunda icra takibini sürdürebilir. Bu kısımlar yönünden yeni bir icra takibi yapamaz. Ancak, itirazın iptaline dair ilamdaki edayı içeren kısımlar olan %20 inkar tazminatı, vekalet ücreti ve yargılama gideri gibi ilk defa hüküm altına alınan alacaklar yönünden aynı takip üzerinden icra emri gönderilmesi gerekir[37].

II. GENEL DEĞERLENDİRME VE GÖRÜŞÜMÜZ

Hukukumuzda genel mahkemelerde icra hukukuna ilişkin olarak itirazın iptali (İİK m. 67), menfi tespit, borçtan kurtulma ve istirdat davaları (İİK m. 68, 68/a, 72, 89, 169/a, 170) görülmektedir. Bu davalardan birisi olan itirazın iptali, alacaklı tarafından itirazı hükümden düşürmek için genel mahkemelerde açılan bir davadır. Mahkeme yaptığı tahkikat sonunda, borçlunun borçlu olduğu kanaatine varırsa, itirazın iptaline karar verir. Bu karar, genel mahkemelerce ve borçluya karşı verilmektedir. İtirazın iptali kararı ile alacaklı, durmuş olan icra takibine devam edip borçlunun mallarının haczini isteyebilir[38].

İtirazın iptali davası sonucunda verilen karar, taraflar yönünden kesin hüküm oluşturur (HMK m. 303). Bu bağlamda, davanın reddi kararı üzerine, takip ve dava konusu alacak nedeniyle alacaklı yeni ve başkaca dava açamayacağı gibi, davanın kabulü kararı ile beraber de borçlu, alacaklıya karşı olumsuz tespit (menfi tespit) veya geri alma (istirdat) davası açamaz.

Kanaatimizce, itirazın iptali davası, olağan bir eda veya tespit davası olarak kabul edilemez. Bu davanın icra hukukuna özgü bir dava olduğu yönündeki görüş bize göre daha doğrudur. Şöyle ki:

(1) İtirazın iptali davası eğer bir eda davası olsa idi, İİK m. 67'de de aynen "Birinci fıkrada yazılı itirazın iptali süresini geçiren alacaklının umumi hükümler dairesinde alacağını dava etmek hakkı saklıdır." hükmüne gerek olmazdı. Bu bir eda davası olmadığı için, kanun koyucu, alacaklının genel bir eda davası açma hakkını saklı tutmuştur.

(2) Eda davaları, genellikle alacağın sebebine bağlı olarak, tabi olduğu zamanaşımı süresinde, hatta zamanaşımı süresi geçmiş olsa bile her zaman, açılabilecek iken, itirazın iptali davası bir yıllık süreye tabi kılınmış, sınırlandırılmıştır.

(3) İtirazın iptali davası, temel olarak icra hukuku kuralları kapsamında başlatılmış bir icra takibinde borca yönelik itirazın iptali için açılır. Mahkemenin iptal edeceği itiraz, icra takibinde vaki olan ve gönderilen ödeme emrine yapılan itirazdır.

---

[36] Y. 4. HD, T. 06/04/1977, E. 1977/3890,3893,3894; K. 1977/ 4009, 4008,4007, (https://karararama. yargitay. gov.tr/erişim tarihi 19.01.2026).

[37] Y. 8. HD, T. 13/01/2014, E. 2013/12873, K. 2014/62 (Turhan, s. 65).

[38] "Bu anlamda itirazın iptali kararı, alacaklının alacağını tahsili amacına yaklaştırır. Bu nedenle, itirazın iptali kararı bir icra takip işlemidir. Mahkeme, tahkikat sonunda, takip konusu alacağın mevcut olmadığı kanısına varırsa, itirazın iptali davasını reddeder. İtirazın iptali davasının reddine yönelik karar ise, icra takip işlemi değildir. Zira, bu kararın kesinleşmesi ile alacaklının başlattığı takip iptal edilir. Bu karar, alacaklıyı alacağına yaklaştırmamakta, aksine takibin iptaline neden olmaktadır. İcra takip işlemin unsurlarını taşımayan bu karar, icra takip işlemi olarak nitelendirilemez" Bkz. Nilüfer Boran Güneysu, "İcra Takip İşlemleri", *TBB Dergisi*, Y. 2012, S. 101, s. 41.

(4) İtirazın iptali davası ile icra takibi arasında organik bir bağ vardır. Bu dava genel hükümlere göre görülen davalardan farklı olarak davanın açıldığı tarihte değil icra takibinin başlatıldığı tarihteki şartlara göre karara bağlanır[39].
(5) İtirazın iptali davasının bir eda davası ya da tespit davası olarak kabul edilmesi halinde, hükmün infazı yönünden de her iki dava arasında farklar ortaya çıkar. Alacaklı, nasıl ki itirazın kaldırılması için icra mahkemesine başvurup lehine karar aldığı takdirde, takibe kaldığı yerden devam edebilecekse (İİK. m. 69/l, m.78/1), itirazın iptaline dair mahkemeden karar alındığında da, ilam, icra memuruna ibraz edilerek derdest olan ilamsız icra takibine devam olunur[40]. Oysa edaya ilişkin ilam alındığı takdirde, artık ilamsız takip söz konusu olmaz, İİK`nun 32 ve devamı maddeleri gereğince ilamların icrası yoluna başvurulması gerekir[41] .
Diğer yandan, itirazın iptali davası ile olağan eda davası, her ikisi de müspet sonuçlanmışsa, her ikisi de alacağın varlığı yönünden kesin hüküm teşkil eder. Ancak, eda davasında borçlunun borcunu ödemiş veya ödememiş ya da böyle bir borcun olmadığı yahut sona ermiş olduğu hususu maddi anlamda kesin hüküm oluşturur. Öte yandan, örneğin imza inkârına dayanan bir itirazın iptali davasında ise, sadece imzanın borçluya ait bulunduğu hususu kesin hüküm ile belirlenmiş olur. Borçlu, itirazın iptali davası kabul edilmiş olmasına rağmen, pekâlâ sonradan ödeme savunmasına dayanarak İİK.`nun 72`ye göre bir menfi tespit davası açabilir. Oysa eda davasına ilişkin ilam için bunu söyleyemeyiz. Şartları varsa, ancak yargılamanın yenilenmesi (HMK 374) yoluna başvurulabilir.
(6) Bu dava sonucunda alacaklı haklı görülse bile başlatmış olduğu takip, ilamlı bir takip haline bürünmeyeceği gibi, yalnız o takipte borçlunun itirazının kesin olarak ve kesin bir hükümle kaldırılmasını sağlar. İtirazın iptali davası sadece alacaklı olduğunun tespiti veya alacağının ödenmesine dayalı olarak açılamaz. Bu davada alacaklı olduğunun tespiti yanında, alacaklının, itirazın iptal edilmesini ve takibin devamının sağlanmasını da istemesi gerekir.
(7) İtirazın iptali davası sonucunda alacaklının aynı sebeple doğmuş bir alacağa dayalı derdest bir takibi varken ikinci bir takip (ilamlı takip) başlatmasında hukuki yararı olmadığı gibi, ilamlı icra takibi de yapılamayacağı görüşündeyiz. Çünkü burada bir eda hükmü yoktur[42].

SONUÇ

İtirazın iptali davası ne bir tespit davasıdır ne de alelade bir eda (alacak) davasıdır. Zira duran takibe devam etme imkânı verdiği gibi, bu davada sadece alacaklının alacağının varlığı ya da yokluğunun tespiti yapılmaz. Takibin içinde yer alan ve belirtilen şartlarla farklı sonuçlar doğuran bir davadır. Bunun sonucu olarak İİK'da (m. 67) düzenlenen itirazın iptali davası, icra ve iflas hukukuna özgü ve özel nitelikleri olan bir davadır. Bu dava alacaklının alacağının bir kesin hükümle ispatlandığını veya borçlunun kesin bir hükümle böyle bir borcunun olmadığını gösteren ancak takip hukukuna özgü, takiple ve takip sebepleriyle sıkı sıkıya bağlı olan bir davadır. Bu boyutları itibariyle sözü edilen dava, takip prosedürünün bütünü içinde yer alan, esas itibariyle onun ayrılmaz bir parçasını oluşturan ve takibin işleyişini sağlamaya yönelmiş bulunan özel bir dava konumundadır.

---

[39] Deynekli ve Kısa, s. 208.
[40] Y. 12. HD, T. 29.4.1971, E. 1971/4740, K. 1970/ 4812 (*Resmi Kararlar Dergisi*, 1971, Sa. 8, s. 244).
[41] Deynekli ve Kısa, s. 80; YİBK, T. 26.05.2017, E. 2017/2, K. 2017/3, https://yaklasim.com/haber/yargitay-ictihadi-birlestirme/erişim tarihi 23.05.2026).
[42] Alacaklı elinde ilam niteliğindeki belge varsa ilamsız icra takibi yapabileceği öğretide kabul edilmektedir. Bkz. Görgün, Börü ve Kodakoğlu-İcra s. 402, aksi görüş için Pekcanıtez, Atalay, Sungurtekin-Özkan ve Özekes, İcra, s. 308-309; ayrıca bkz. Pekcanıtez, Atalay ve Özekes, İcra-Temel Bilgiler, s. 46, 100.

KAYNAKÇA

Akil, Cenk, "Ticari Uyuşmazlıklarda Dava Şartı Olarak Arabuluculuk Hakkında Usul Hukuku Bakımından Bazı Değerlendirmeler", *TAAD, Yıl,* 11, S, 41 (Ocak 2020), s. 307-325.

Arslan, Ramazan, Yılmaz, Ejder, Taşpınar-Ayvaz, Sema ve Hanağası Emel, *İcra ve İflas Hukuku*, 10. Bası Yetkin Yayıncılık, Ankara 2024.

Arslan, Ramazan, Yılmaz, Ejder, Taşpınar-Ayvaz, Sema ve Hanağası, Emel, *Medeni Usul Hukuku*, 10. Bası, Yetkin Yayıncılık Ankara 2024.

Aşık, İbrahim, Oruç Yakup, Tok Ozan, Saçar, Ömer Faruk ve Aşit, Recep, *İcra ve İflas Hukuku*, 3. Baskı Seçkin Yayıncılık, Ankara 2024.

Atalı, Murat ve Ermenek, İbrahim, *Medeni Usul Hukuku*. 6. Bası, Seçkin Yayıncılık, Ankara 2024.

Atalı, Murat ve Ermenek, İbrahim, *İcra ve İflas Hukuku*, 7. Bası, Seçkin Yayıncılık, Ankara 2024.

Atalı, Murat, Ermenek, İbrahim ve Erdoğan, Ersin, *Medeni Usul Hukuku*, 7. Bası, Yetkin Yayıncılık, Ankara 2024.

Atalı, Murat, Ermenek, İbrahim ve Erdoğan, Ersin, *İcra ve İflas Hukuku*, 8. Bası, Yetkin Yayıncılık, Ankara 2024.

Berkin, Necmeddin M. *Tatbikatçılara İcra Hukuku Rehberi*, *538 Sayılı Kanun'a ve Yargıtay'ın Son İçtihatlarına Göre Haciz Yolu ile Takip ve İlamsız İcra,* Filiz Kitabevi, İstanbul 1969.

Budak, Cem ve Karaaslan, Varol. *Medeni Usul Hukuku*. 7. Bası, Filiz Kitapevi, İstanbul 2023.

Budak, Ali Cem. *Medeni Usul Hukukunda Kavram İçtihadı ve Menfaat İçtihadı*, Filiz Kitabevi, İstanbul 2021.

Baki, Kuru ve Ali Cem Budak, *Tespit Davaları*, 2. Baskı, İstanbul 2010.

Baki, Kuru, *İcra ve İflas Hukukunda Menfi Tespit Davası ve İstirdat Davası*, Ankara 2003.

Büyük, Elif Irmak, *Medeni Usul Hukukunda İnşai Dava ve İnşai Hüküm,* Onikilevha, İstanbul 2021.

Çağa, Tahir, "Ödeme Emrine İtirazın İptaline Dair", *BATİDER,* Y. 1976, S. VIII/3, s. 21-31.

Deynekli, Adnan ve Sedat Kısa, *İtirazın İptali Davaları*, Turhan Kitabevi, Ankara 2013.

Durmuş, Rukiye Feray, *Yenilik Doğuran Davalar*, Onikilevha, İstanbul 2021.

Ercan Özler, Meltem "Takip Talebinde Dayanılmayan Belgenin İtirazın İptali Davasında İleri Sürülüp Sürülemeyeceği Üzerine", *AkdHFD*, Y. 2025, C. 15, S.1, 387-421.

Erdem, Murat, "İcra ve İflâs Hukukunda İtirazın İptali Davası", Yayımlanmamış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2010.

Görgün, L. Şanal, Börü, Levent ve Kodakoğlu, Mehmet, *Medeni Usul Hukuku*, 13. Bası, Yetkin Yayıncılık, Ankara 2024.

Görgün, L. Şanal, Börü, Levent ve Kodakoğlu, Mehmet, *İcra ve İflas Hukuku*, 6. Bası, Yetkin Yayıncılık, Ankara 2024.

Gönen, Eriş. "Ödeme Emrine İtirazın İptali Davası ve Bazı Sorunlar.", *ABD,* 1977/5, s. 822-841.

Gürdoğan, Burhan, *İcra Hukuku Dersleri*, Ajans Türk Matbaası, Ankara 1970.

Karaaslan, Varol, *Medeni Usul Hukukunda Hâkimin Davayı Aydınlatma Ödevi*, 2. B. Adalet Yayınevi, Ankara 2019.

Karslı, Abdürrahim, *İcra ve İflas Hukuku*, 4. Baskı, Filiz Kitabevi, İstanbul 2022.

Kuru, Baki, *Hukuk Usulü Muhakemeleri*, C. II, IV, Yetkin Yayıncılık, Ankara 2001.

Kuru, Baki ve Aydın, Burak, *İstinaf Sistemine Göre Yazılmış Medeni Usul Hukuku*, 7. Bası, Yetkin Yayıncılık, Ankara 2023.

Kuru, Baki, "Alacakları İçin İlamsız İcra Takibi Tapılması", *BATİDER*, Y. 1976/3, s. 33-43.

Kuru, Baki, *İcra ve İflas Hukuku El Kitabı*, 2. Baskı, Adalet Yayınevi, Ankara 2013.

Muşul, Timuçin, *İcra ve İflas Hukuku Bilgisi*, 3. Baskı, Adalet Yayınevi, Ankara 2008.

Okçuoğlu, Yavuz, "İcra Hukukunda İtirazın İptali ve İnkâr Tazminatı.", *Bursa Barosu Dergisi*, 1980/11, s. 10-14.

Özkan, Yönel, *İcra-İflas Hukukunda İtirazın İptali Davası*, Turhan Kitabevi, Ankara 2004.

Pekcanıtez, Hakan, Atalay, Oğuz ve Özekes, Muhammet, *Medeni Usul Hukuku* (Ders Kitabı), 12. Bası, On İki Levha Yayınları, İstanbul 2024.

Pekcanıtez, Hakan, Atalay, Oğuz, Sungurtekin-Özkan, Meral ve Özekes, Muhammet, *İcra ve İflas Hukuku (Ders Kitabı*), 11. Bası, On İki Levha Yayınları, İstanbul 2024.

Pekcanıtez, Hakan, Atalay, Oğuz ve Özekes, Muhammet, *Medeni Usul Hukuku (Temel Bilgiler),* 18. Bası, On İki Levha, İstanbul 2024.

Pekcanıtez, Hakan, Atalay, Oğuz ve Özekes, Muhammet, *İcra ve İflas Hukuku (Temel Bilgiler)* 18. Bası, On İki Levha, İstanbul 2024.

Pekcanıtez, Hakan, *Medeni Usul Hukuku*, C. II, Onikilevha Yayınları, İstanbul 2017.

Pekcanıtez, Hakan. "4949 Sayılı Kanun'la İcra Hukukunda Yapılan Değişikliklerin Değerlendirilmesi" *TBBD,* Y. 2003, S. 49, s. 137-158.

Postacıoğlu, İlhan E. "Ödeme Emrine İtirazın İptali Mevzuunda Bazı Zaruri Açıklamalar.", *BATİDER,* Y. 1980/X, S. 4, s. 976-978.

Postacıoğlu, İlhan, *İcra Hukuku Esasları*, Sulhi Garan Matbaası, İstanbul 1969.

Postacıoğlu, İlhan ve Altay, E. Sümer, *İcra Hukuku Esasları*, 5. Baskı, Vedat Kitapçılık, İstanbul 2010.

Tanrıver, Süha, *Medeni Usul Hukuku*, C. I, Yetkin Yayıncılık, Ankara 2024.

Tanrıver, Süha, *Medeni Usul Hukuku*, C. II, Yetkin Yayıncılık, Ankara 2020.

Toraman, Barış, "Takip Hukukuna Özgü Bazı Davaların Dava Şartı Arabuluculuğa Tabi Olup Olmadığı Sorunu", *ÇÜHFD* , Y. 2020, S. 5/1, s. 3141-3170.

Ulukapı, Ömer, *İcra ve İflas Hukuku*, Mimoza Yayınları, Konya 2015.

Umar, Bilge, *Hukuk Muhakemeleri Kanunu Şerhi*, Yetkin Yayınları, Ankara 2014.

Uyar, Talih, "İcra Hukukunda İtirazın Hükümsüz Hale Getirilmesi (İtiraz Üzerine Alacaklının İzleyeceği Yol", İz*BD* 7, 3 Y. 1990, S. 7/3, 72-79.

Üstündağ, Saim, *Medeni Yargılama Hukuku*, C. I-II, 6. Basım, Alfa Basım Yayın, İstanbul 1997.

Üstündağ, Saim, *İcra Hukukunun Esasları*, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul 1995.

Yılmaz, Ejder, *Hukuk Muhakemeleri Kanunu Şerhi*, C. II, Yetkin Yayıncılık, 4. Bası, Ankara 2021.

Yılmaz, Ejder, "İtirazın İptali Davasının Hukuki Niteliği", Saim Üstündağ Armağanı, Adalet Yayınevi, Ankara 2009.

Yılmaz, Ejder "Tahkimde İtirazın İptali Davası ve Tahkime Elverişlilik", *DEÜHFD*, XVI, Özel Sayı (2014) Prof. Dr. Hakan Pekcanıtez Armağanı, (Basım Yılı: 2015), s. 531-554.

Yılmaz, Ejder, "İcra Tazminatı.", Halûk Konuralp Anısına Armağan, C. 2, Ankara 2009. Yılmaz, Ejder, "İcra İnkâr Tazminatı Açısından "Likid Alacak" Kavramı.", Bankacılar Dergisi, Y. 2008, S. 67, s. 85-93.

Yeşilırmak, Ali, "Geçerli Bir Tahkim Anlaşmasının Varlığına Rağmen Genel Haciz Yoluyla Takip Yapılabilir mi?" *Türkiye Barolar Birliği Dergisi*, S. 96 Y. 2011, s. 210-227.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BİLİRKİŞİNİN HUKUKİ VE CEZAİ SORUMLULUĞU: 6754 SAYILI KANUN, HUKUK MUHAKEMELERİ KANUNU VE TÜRK CEZA KANUNU ÇERÇEVESİNDE BİR İNCELEME

Doç. Dr. Süleyman AKKAYA
Dicle Üniversitesi Hukuk Fakültesi Anayasa Hukuku AB.D.
ORCID: 0000-0003-3214-4837.

ÖZET
Yargı mercileri, bir uyuşmazlığın çözümü özel veya teknik uzmanlık gerektirdiğinde bilirkişi kurumundan yararlanır; bu kurum, yargılamanın gerçeğe ulaşma sürecinde önemli işlev gören yardımcı bir mekanizmadır. Bilirkişiye tanınan bilgi tekelinin suistimal edilmemesi için, Türk hukuk düzeni bu işlevi hem hukuki hem de cezai nitelikte iki ayrı sorumluluk rejimiyle çevrelemiştir. Çalışmanın amacı, 6754 sayılı Bilirkişilik Kanunu, Hukuk Muhakemeleri Kanunu (HMK) ve Türk Ceza Kanunu (TCK) hükümleri ışığında bilirkişinin hukuki ve cezai sorumluluğunun koşullarını, kapsamını ve iki rejim arasındaki ayrışma noktalarını sistematik bir çerçevede incelemektir. Yöntem olarak doktrindeki görüşler, yargı içtihatları ve yürürlükteki mevzuat hükümleri üzerinden nitel bir analiz benimsenmiştir. İncelemenin hukuki sorumluluk boyutunda, HMK m. 285'in, bilirkişinin kasıtlı ya da ağır ihmal içeren gerçeğe aykırı raporunun mahkeme kararına esas teşkil etmesi durumunda zarar görenlere tazminat davasını bilirkişiye karşı değil devlete karşı açma imkânı tanıdığı; buna karşılık devletin ödediği tazminatı kusurlu bilirkişiden geri isteme (rücu) hakkını sakladığı ortaya konulmaktadır. Söz konusu düzenleme, bilirkişinin hâkime yardımcı olma sıfatıyla üstlendiği kamusal görevin, hâkimlerin sorumluluk rejimine benzer bir korumaya tabi tutulmasının doğal sonucudur. Cezai sorumluluk cephesinde ise TCK m. 276'da yer alan gerçeğe aykırı bilirkişilik suçunun, ancak kasıtla işlenebilen ve üç ila yedi yıl arası hapis cezasını öngören özgü bir suç tipi olduğu görülmektedir. Bu suçun oluşabilmesi, bilirkişi mütalaasının nesnel olarak gerçeğe aykırı bulunmasının yanında, bu aykırılığın bilinçli ve isteyerek yaratılmış olmasını gerektirir; yalnızca hatalı veya eksik nitelendirilen değerlendirmeler bu suç kapsamına girmez. Çalışma sonuç olarak, hukuki ve cezai sorumluluk rejimleri arasındaki bu yapısal ayrımın kanun koyucunun bilinçli tercihi olduğunu, ancak kusur eşiklerindeki bu farklılaşmanın bilirkişilik uygulamasında denetim etkinliği ve caydırıcılık açısından doğurduğu sonuçların ayrıca ele alınması gerektiğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Bilirkişi, hukuki sorumluluk, cezai sorumluluk, 6754 sayılı Kanun.

THE CIVIL AND CRIMINAL LIABILITY OF EXPERT WITNESSES: AN EXAMINATION UNDER LAW NO. 6754, THE CODE OF CIVIL PROCEDURE AND THE TURKISH PENAL CODE

ABSTRACT
When resolving a dispute calls for specialized or technical expertise beyond a judge's or prosecutor's own knowledge, the Turkish judicial system relies on the institution of expert witnessing, an auxiliary mechanism that plays a central role in establishing the substantive truth during adjudication. To guard against misuse of the specialized-knowledge monopoly granted to experts, Turkish law subjects this function to a dual liability regime, encompassing both civil and criminal dimensions.

This paper sets out to map, in a systematic manner, the conditions, scope, and points of divergence between the civil and criminal liability of expert witnesses under Law No. 6754 on Expert Witnessing, the Code of Civil Procedure, and the Turkish Penal Code, drawing on a qualitative review of doctrine, case law, and the relevant statutory framework. With respect to civil liability, the analysis shows that Article 285 of the Code of Civil Procedure channels claims for damages toward the State rather than the expert directly, whenever a report drafted with intent or gross negligence and contrary to the truth has formed the basis of a judgment, while reserving the State's right to seek reimbursement from the at-fault expert. This arrangement mirrors the protective regime applied to judges, reflecting the expert's role as an auxiliary figure exercising a public function. On the criminal side, the offense of false expert testimony codified in Article 276 of the Turkish Penal Code can be committed only intentionally and carries a custodial sentence ranging from three to seven years; mere errors or incomplete assessments, absent a deliberate departure from the truth, fall outside its scope. The paper concludes that the structural gap between the fault thresholds of the two liability regimes reflects a deliberate legislative choice, yet argues that its practical implications for oversight and deterrence within expert-witnessing practice warrant separate scrutiny.
Keywords: Expert witness, civil liability, criminal liability, Law No. 6754.

GİRİŞ

Bir yargılama sürecinin nihai hedefi, maddi gerçeğe erişerek hukuki uyuşmazlığı adalete uygun şekilde sonuçlandırmaktır. Ne var ki, çözüme kavuşturulacak mesele özel ya da teknik bir bilgi birikimi gerektirdiğinde, bu bilgiye hâkim veya savcının kendi başına sahip olması mümkün değildir. Tam bu noktada bilirkişilik müessesesi devreye girmekte; kendi uzmanlık alanına dair özel/teknik bilgiyi yargı makamına taşıyan bilirkişi, uyuşmazlığın çözümlenmesine katkı sunmaktadır (Kök, 2017). Doktrinde yaygın olarak benimsenen görüşe göre bilirkişi, hâkimin bir yardımcısı konumunda yer almakta olup bilirkişi-mahkeme ilişkisi kamu hukuku niteliği taşımaktadır (Yalabık, 2014). İşte bu temel kabul, hem bilirkişinin yargılama sürecindeki rolünü hem de tabi olacağı sorumluluk rejimini biçimlendiren esas dayanaktır.

Bilirkişinin yargı sürecine kattığı değerin niteliği, kendisine tanınan bu özel bilgi tekelinin istismar edilmesi riskini de beraberinde taşımaktadır. Bunun nedeni, bilirkişi raporunun, hâkimin hukuki formasyonuyla denetleyemeyeceği teknik bir değerlendirme içermesi ve bu değerlendirmenin hâkimin serbest takdiri üzerinde belirleyici bir ağırlık oluşturabilmesidir. Bu gerekçeyle kanun koyucu, bilirkişilik faaliyetini salt görev-yetki kurallarına bağlamakla yetinmemiş; hukuki, cezai ve disipliner boyutları bir arada barındıran çok katmanlı bir sorumluluk sistemi kurmayı tercih etmiştir. Nitekim bilirkişilik uygulamasında ortaya çıkan aksaklıkların giderilmesi ve etkin, verimli bir kurumsal yapı inşa edilmesi hedefiyle 6754 sayılı Bilirkişilik Kanunu 03.11.2016 tarihinde kabul edilmiş, ardından 03.08.2017 tarih ve 30143 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Bilirkişilik Yönetmeliği ile uygulamaya ilişkin esaslar somutlaştırılmıştır (Kesen, Bilgin, 2023).

Bu çalışmanın amacı, 6754 sayılı Bilirkişilik Kanunu, 6100 sayılı HMK ve 5237 sayılı TCK hükümleri temelinde bilirkişinin hukuki ve cezai sorumluluğuna ilişkin koşulları, kapsamı ve iki rejim arasındaki ayrışma noktalarını sistematik bir bakışla ele almaktır. Bu amaç doğrultusunda doktrin, yargı kararları ve ilgili mevzuat üzerinden nitel bir inceleme yöntemi izlenmiş olup; çalışma sırasıyla bilirkişilik kurumunun yargılamadaki konumunu ve 6754 sayılı Kanun'un getirdiği kurumsal çerçeveyi, ardından hukuki ve cezai sorumluluk rejimlerini ayrı başlıklar altında, son olarak da bu iki rejim arasındaki yapısal farkların pratikteki yansımalarını incelemektedir.

GELİŞME

1. Bilirkişilik Kurumu ve Düzenleyici Çerçeve

1.1. Bilirkişinin Yargılamadaki Konumu ve Raporun Delil Değeri

Yargılama sürecinde hâkime yardımcı bir aktör olarak konumlanan bilirkişinin, mahkemeyle kurduğu ilişkinin kamu hukuku alanına girdiği kabul görmektedir (Tola, 2026). Bunun doğal bir sonucu olarak bilirkişinin üstlendiği görev, özel hukuk sözleşmesinden değil mahkemenin görevlendirme işleminden doğar ve bu görevin bizzat ifa edilmesi zorunludur. HMK m. 266 hükmü, çözümü hukuki bilgi dışında özel veya teknik uzmanlık gerektiren durumlarda bilirkişi incelemesine gidilebileceğini öngörmektedir (Ercevahir, 2022); bilirkişinin kim olacağına karar verilmesi hususunda ise, mülga 1086 sayılı Hukuk Usulü Muhakemeleri Kanunu döneminde aranan tarafların mutabakatı şartı kaldırılmış ve 6100 sayılı Kanun'un 268. maddesiyle bu yetki büyük ölçüde hâkime bırakılmıştır.

Bilirkişi raporunun ne tür bir delil değeri taşıdığının doğru biçimde belirlenmesi, sorumluluk rejimlerinin kavranabilmesi açısından da kritiktir. Bilirkişi delili takdiri bir delildir; başka bir ifadeyle HMK m. 266 uyarınca alınan raporlar hâkimin vereceği kararı bağlayıcı nitelikte değildir (Ercevahir, 2022). Delillerin değerlendirilmesi görevi HMK m. 198'e göre yalnızca hâkime aittir ve bu yetki başkasına devredilemez. Bununla uyumlu olarak HMK m. 282, hâkimin bilirkişi görüşünü diğer delillerle birlikte serbestçe takdir etmesi gerektiğini açıkça düzenlemiştir. Mahkeme, bilirkişi raporunu hükme dayanak yaptığında, HMK m. 297/1-c uyarınca kararın gerekçesinde bu delili yeterli biçimde tartışmak zorundadır; raporlar arasında çelişki bulunması hâlinde ise sorun ek rapor alınarak ya da gerekirse üçüncü bir bilirkişiye başvurularak çözülmektedir (Cin, 2021).

Kanun koyucu, bilirkişinin tıpkı hâkim gibi tarafsızlık yükümlülüğü altında olması gerektiğini özellikle vurgulamış ve bu doğrultuda bilirkişinin yasaklılığı ile reddi hususlarını HMK m. 272'de ayrıca düzenlemiştir (Erdoğan, Üçüncü, 2020). Raporun takdiri delil niteliği ile bilirkişinin tarafsızlık yükümlülüğü birlikte değerlendirildiğinde, bilirkişiye tanınan bilgi tekelinin usuli güvencelerle sınırlandırılmasının ve bu tekelin kötüye kullanılması hâlinde yaptırıma bağlanmasının kaçınılmaz olduğu ortaya çıkmaktadır.

1.2. 6754 Sayılı Kanun ile Getirilen Kurumsal Yapı ve Etik İlkeler

6754 sayılı Bilirkişilik Kanunu ile bilirkişilik faaliyeti kurumsal bir zemine oturtulmuş; bilirkişi sicil ve listelerinin tesisi yanında, faaliyetin mevzuata uygunluğunu, etkinliğini, verimliliğini ve kalitesini güvence altına almak üzere denetim ve disiplin mekanizmaları getirilmiştir (Okur, 2024). Bu yeni sistemde bilirkişilerin denetlenmesi görevi bilirkişilik bölge kurullarına tevdi edilmiş olup, denetimlerin gerek re'sen gerekse başvuru üzerine yürütülebileceği öngörülmüştür. Bölge kurulları, bünyesinde hâkimlerin ve bir Cumhuriyet savcısının bulunmasına rağmen, işlevleri bilirkişilerin idari yönden denetlenmesi ve bilirkişilik faaliyetinin düzenli işleyişinin sağlanmasıyla sınırlı olduğundan yargısal bir organ sıfatı taşımamaktadır (Bulut, 2025).

Kanunun 13. maddesi, açıkça "disiplin suçu" ifadesini kullanmasa da, disiplin yaptırımına konu edilecek fiil ve davranışları belirlemiştir. Öngörülen yaptırımlar "sicil ve listeden çıkarma", "listeden bir yıla kadar geçici çıkarma" ve "uyarma" olmak üzere üçe ayrılmakta; sicile veya listeye kayıtlı olmayanlar bakımından ise yalnızca "bilirkişilik yapmaktan yasaklanma" yaptırımı uygulanabilmektedir (Okur, 2024). Bu tür kararlara karşı önce bölge kurulu nezdinde itiraz yoluna başvurulabilmekte, itirazın reddi hâlinde ise idari yargıda iptal davası açma imkânı bulunmaktadır.

Kurumsal düzenlemenin yanı sıra, Bilirkişilik Kanunu m. 3/I ile Bilirkişilik Yönetmeliği m. 5/I, bilirkişinin görevini dürüstlük ilkesi çerçevesinde, tarafsız ve objektif şekilde yerine getirmesini temel bir yükümlülük olarak öngörmüştür. Bilirkişilik Yönetmeliği'nin 9. maddesi de dürüstlük ve tarafsızlığı etik ilkeler arasında saymakta; dürüstlüğün somutlaşmış hâli olan doğruyu söyleme yükümlülüğü, bilirkişinin görüşünü yargı organına objektif ve tarafsız biçimde sunmasının güvencesi olarak işlev görmektedir. Doktrinde de bilirkişide dürüstlük, bağımsızlık, tarafsızlık ve objektiflik niteliklerinin bulunması gerektiği ifade edilmektedir. Bu etik-disipliner çerçeve, bilirkişinin hukuki ve cezai sorumluluğunun temelinde yatan güven ilişkisinin korunmasına hizmet etmektedir.

2. Bilirkişinin Hukuki Sorumluluğu

2.1. HMK m. 285 Hükmü ve Sorumluluğun Şartları

HMK m. 285, bilirkişinin hukuki sorumluluğunu özel olarak düzenleyen hükümdür. Bu maddeye göre, bilirkişinin kasten veya ağır ihmalle hazırladığı gerçeğe aykırı bir raporun mahkeme kararına dayanak yapılması sonucu zarar gören kişiler, uğradıkları zararın tazmini için doğrudan bilirkişiye değil Devlete karşı dava açabilmekte; Devlet ise ödediği tazminat tutarını bilirkişiden geri talep etme hakkına sahiptir (HMK m. 286-287; Bilirkişilik Yönetmeliği m. 58/III). Bu sorumluluğun doğması için beş unsurun bir arada gerçekleşmesi aranır: bilirkişinin usule uygun şekilde görevlendirilmiş olması, hazırlanan raporun nesnel olarak gerçeğe aykırı bulunması, bu aykırılığın kasıt veya ağır ihmal düzeyinde bir kusurla ortaya çıkması, raporun mahkemece hükme esas alınması ve nihayet bu durumun bir zarara yol açmış olması.

Kanun koyucunun sorumluluğu yalnızca kast ve ağır ihmalle sınırlı tutması, tesadüfi değil bilinçli bir tercihtir; zira kusur eşiğinin hafif ihmali dışarıda bırakacak şekilde belirlenmesi, bilirkişinin görevini bağımsızca yerine getirebilmesinin bir güvencesi niteliğindedir. Nitekim bu düzenleme yapılırken, hâkimlerin hukuki sorumluluğunda olduğu gibi devletin birinci derecede sorumlu tutulması esas alınmıştır (Erdoğan, Üçüncü, 2020). Diğer delil türleri bakımından benzer bir düzenlemeye yer verilmemiş olması, söz konusu tercihin bilirkişinin yargılamadaki kendine özgü konumunu gözeten bilinçli bir tasarımın sonucu olduğunu göstermektedir. Bilirkişilik Yönetmeliği m. 58 de aynı doğrultuda, bilirkişinin kasten veya ciddi bir ihmalle gerçeğe aykırı olarak düzenlediği ve hükme esas alınan raporundan doğan zarardan devlete karşı sorumlu tutulacağını hükme bağlamıştır.

2.2. Sorumluluğun Niteliği ve Rücu Mekanizması

HMK m. 285'in en dikkat çekici özelliği, zarar görenin tazminat talebini bilirkişiye değil devlete yöneltecek şekilde kurgulanmış olmasıdır. Bu tercih, bilirkişinin hâkime yardımcı sıfatıyla ifa ettiği kamusal görevin, hâkimlerin sorumluluğuna paralel bir koruma altına alınmasının bir yansımasıdır. Buna göre, gerçeğe aykırı ve hükme esas alınmış bir rapor sebebiyle zarar gören kişi, zararını devletten talep edebilmekte; devlet ise ödediği bu tazminatı kusurlu bilirkişiye rücu yoluyla geri almaktadır. Böylelikle zarar görenin tazminat alacağı, bilirkişinin mali gücüne ya da kusurunun ispatındaki güçlüklere bağlı kalmaksızın güvenceye kavuşturulurken, nihai mali yükün kusurlu bilirkişi üzerinde kalması caydırıcı bir işlev de görmektedir.

Bu rücu mekanizmasının işlerlik kazanması, devletin sorumluluktan kaçınma yönündeki çıkarı ile zarar görenin korunması gerekliliği arasında bir denge kurmayı amaçlar. Söz konusu dengenin kusur eşiğine ilişkin yönü şu şekilde işler: bilirkişi ancak kastının veya ağır ihmalinin raporun gerçeğe aykırılığına sebep olduğu durumlarda rücuya muhatap olur; ağır ihmalin varlığı ise raporun hükme esas alınmasına giden sürece ait bütün veriler bir arada değerlendirilerek tespit edilir.

Bu yönüyle hukuki sorumluluk rejimi, bilirkişiyi mesleki özenin ağır biçimde ihlal edildiği hâllerde muhatap almakta, buna karşılık sıradan değerlendirme hatalarına belirli bir hareket alanı tanımaktadır.

3. Bilirkişinin Cezai Sorumluluğu

3.1. Bilirkişinin Kamu Görevlisi Sıfatı

TCK bakımından bilirkişiler kamu görevlisi statüsündedir. HMK m. 284, bilirkişinin, bu görevden kaynaklanan suçlar bakımından kamu görevlisi kabul edileceğini öngörmektedir. Bu statü belirleme, bilirkişinin cezai sorumluluğunun sınırlarını çizen en temel unsurdur. Zira bu sayede bilirkişiler yalnızca gerçeğe aykırı bilirkişilik suçu bakımından değil; görevin ihmal veya gecikmeyle kötüye kullanılması (TCK m. 257/I), görevin gereklerine aykırı davranarak kötüye kullanılması (TCK m. 257/II) ve ayrıca kişisel verilerin hukuka aykırı kaydı veya paylaşımı, suçu bildirmeme, delil karartma, irtikap ve rüşvet gibi suç tiplerinin de faili olabilmektedir. Bu geniş liste, bilirkişilik faaliyetinin ceza hukuku bakımından ne kadar kapsamlı bir sorumluluk alanına bağlı olduğunu göstermektedir.

3.2. Gerçeğe Aykırı Bilirkişilik Suçu

Bilirkişinin cezai sorumluluğunun ağırlık merkezini, TCK m. 276'da düzenlenmiş bulunan gerçeğe aykırı bilirkişilik suçu oluşturmaktadır. Bu hükümle güdülen amaç, toplumun adalet mekanizmasına duyduğu güveni korumaktır; buna göre, yetkili mercilerce görevlendirilen bilirkişinin mütalaasında gerçeğe aykırı değerlendirmelere yer vermesi cezai yaptırıma bağlanmıştır (Şeker, 2026). Suçun koruduğu hukuki yarar bireysel bir çıkar değil, adalet kurumuna ve adalete duyulan toplumsal inanca ilişkindir; bu nedenle suç kamu güvenine karşı işlenen suçlar arasında yer almakta ve şikâyet aranmaksızın kendiliğinden soruşturulmaktadır.
Suçun maddi unsuru açısından, görevlendirilen bilirkişinin mütalaasının nesnel olarak gerçeğe aykırı olması gerekmektedir. Bu, yalnızca kasıtla işlenebilecek bir suçtur; failin, mütalaanın gerçeğe aykırı olduğunu bilerek ve bunu isteyerek rapor düzenlemesi şarttır. Dolayısıyla salt hatalı ya da eksik bir değerlendirme, ya da yetersiz incelemeden kaynaklanan yanlış bir kanaat bu suçu oluşturmaz; kastın varlığından söz edilebilmesi için bilirkişinin gerçeğe aykırılığın bilincinde olup buna rağmen mütalaasını sunmuş olması gerekir. Öngörülen ceza üç yıldan yedi yıla kadar hapistir (Kesen, Bilgin, 2023).
Bu suç ayrıca özgü suç niteliği taşır; zira fail sıfatı yalnızca yasal mercilerce usulüne uygun olarak görevlendirilen bilirkişilere aittir. Tarafların kendi seçtiği bilirkişiler TCK m. 276/1 kapsamı dışında kalır; bu kişilerin düzenlediği gerçeğe aykırı raporlar söz konusu suçu oluşturmaz (Ergün, 2016). Bunun nedeni, HMK m. 293 çerçevesinde taraflarca bilimsel görüş almak amacıyla başvurulan uzmanların, usul hukuku anlamında bilirkişi delili üretmemesidir; bu ayrım cezai sorumluluk açısından da belirleyici niteliktedir. Yargıtay içtihadı da suçun kapsamını bu yönde şekillendirmiştir: Yargıtay 4. Ceza Dairesi'nin 19.07.2007 tarihli bir kararında, icra müdürlüğünce kıymet takdiri için görevlendirilen bilirkişilerin, taşınmazı hiç görmeden değerlendirme raporu düzenlemelerinin TCK m. 276 anlamında gerçeğe aykırı bilirkişilik suçunu oluşturacağı belirtilmiştir. Bu karar, fiilen inceleme yapma yükümlülüğü altındaki bir bilirkişinin inceleme yapmaksızın kanaat bildirmesinin, objektif gerçeğe aykırılık teşkil edebileceğini ortaya koyması bakımından önemlidir.

4. Hukuki ve Cezai Sorumluluk Rejimlerinin Karşılaştırılması

Hukuki ve cezai sorumluluk rejimleri arasındaki asıl yapısal ayrım, aranan kusur eşiğinde belirginleşir. HMK m. 285 kast yanında ağır ihmali de sorumluluk sebebi sayarken, TCK m. 276 taksirli bir işleniş biçimini tanımadığından cezai sorumluluk yalnızca kastla sınırlıdır.

Bunun pratikteki karşılığı, ağır ihmalle gerçeğe aykırı rapor düzenlemiş bir bilirkişinin, hukuki alanda devletin rücu talebiyle karşılaşabilecekken cezai bir yaptırıma muhatap olmayacak olmasıdır.

İkinci ayrım noktası, her iki rejimin koruduğu menfaatin farklı olmasından kaynaklanır. Hukuki sorumluluk, gerçeğe aykırı ve hükme esas alınmış bir rapordan zarar gören bireyin malvarlığı çıkarlarını tazmin etmeyi hedeflerken; cezai sorumluluk, adalet sistemine duyulan toplumsal güveni korumaya yöneliktir. Bu farklı amaçlar nedeniyle iki rejim birbirinin yerini tutmaz, aksine birbirini tamamlayan denetim araçları olarak işlev görür. Bunlara, 6754 sayılı Kanun uyarınca bilirkişilik bölge kurullarınca yürütülen disiplin denetimi de eklendiğinde, bilirkişilik faaliyeti üç ayrı katmandan oluşan bir denetim ağıyla kuşatılmış olur.

Bu yapı, kusur eşiklerini ayrıştırmak suretiyle ceza siyasetinin ölçülülük ilkesiyle uyumlu bir denge kurmuş olsa da, denetim etkinliği ve caydırıcılık bakımından bazı sonuçların ayrıca irdelenmesi gerekmektedir. Zira ağır ihmalden kaynaklanan gerçeğe aykırılıkların ceza hukuku alanında karşılıksız kalması, yargılamanın seyrini bütünüyle etkileyebilecek nitelikteki bu tür aykırılıklar bakımından caydırıcılığın yalnızca rücu riski ile sınırlı kalmasına yol açmaktadır. Öte yandan, hukuki sorumluluğun ön koşulu olan "hükme esas alınma" şartı, hükme esas alınmamış olmasına rağmen yargılamanın uzamasına sebep olan gerçeğe aykırı mütalaaların denetim dışında bırakılması sonucunu doğurabilmektedir. Bu noktada disiplin mekanizmasının etkin biçimde uygulanması, hukuki ve cezai sorumluluk rejimleri arasında kalan boşlukların kapatılmasında kilit bir rol üstlenmektedir.

SONUÇ

Bilirkişilik, hâkim veya savcının duyduğu özel/teknik bilgi ihtiyacını gideren ve yargılamada maddi gerçeğe ulaşılmasında belirleyici bir rol üstlenen yardımcı bir kurumdur. Kendisine tanınan özel bilgi tekelinin kötüye kullanılmasının önüne geçmek amacıyla, bu işlev hukuki, cezai ve disipliner boyutları bünyesinde barındıran çok katmanlı bir sorumluluk sistemiyle güvenceye bağlanmıştır. 6754 sayılı Bilirkişilik Kanunu ise bu sistemin kurumsal altyapısını sicil ve listeler, bilirkişilik bölge kurulları, etik ilkeler ve disiplin yaptırımları aracılığıyla tamamlamıştır.

Hukuki sorumluluk bakımından HMK m. 285, bilirkişinin kasten veya ağır ihmalle düzenlediği ve hükme esas alınan gerçeğe aykırı bir rapordan zarar görenlere, devlete karşı tazminat davası açma yolunu açmakta; devletin ödediği bu tazminatı kusurlu bilirkişiden geri alma hakkını saklı tutmaktadır. Söz konusu düzenleme, bilirkişinin hâkime yardımcı sıfatıyla gördüğü kamusal görevin hâkimlerin sorumluluk rejimine paralel bir korumaya tabi tutulmasının doğal sonucudur. Cezai sorumluluk cephesinde ise, TCK m. 276'daki gerçeğe aykırı bilirkişilik suçu; yalnızca kasıtla işlenebilen, üç ila yedi yıl hapisle cezalandırılan ve faili sadece usulünce görevlendirilmiş bilirkişi olabilen özgü bir suç tipi olarak tasarlanmıştır.

Çalışmanın vardığı temel sonuç, hukuki ve cezai sorumluluk rejimleri arasındaki kusur eşiği farkının, kanun koyucunun bilinçli bir tercihinin ürünü olduğudur. Bununla birlikte, ağır ihmalin ceza hukuku bakımından yaptırımsız kalması ile hukuki sorumluluğun "hükme esas alınma" şartına bağlı olması, bilirkişilik pratiğinde denetim etkinliği ve caydırıcılık açısından üzerinde durulması gereken boşluklar olarak dikkat çekmektedir. Bu boşlukların, 6754 sayılı Kanun çerçevesinde yürütülen denetim ve disiplin mekanizmalarının işlerliğiyle dengelenmesi, bilirkişilik kurumunun adil yargılanma hakkının bir güvencesi olma işlevini sürdürebilmesinin ön koşuludur.

Kaynakça

Bulut, U. (2025). Liste Dışından Yapılan Bilirkişi Görevlendirmelerinde Bilirkişilik Bölge Kurullarının Yetkisi. Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi, 31(1), 551-572. https://doi.org/10.33433/maruhad.1673764

Cin, M. O. (2021). Ceza Yargılamasında Bilirkişilik ve Uygulama Sorunları. Necmettin Erbakan Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 4(1), 170-184.

Ercevahir, M. (2022). Bedensel Zarar Hâllerinde Ödenecek Tazminatın Belirlenmesinde Özel Bir İndirim Sebebi: Zarar Verenin Malî Durumunun Kötüleşmesi Ve Hakkaniyet İndirimi. İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 13(1), 206-220. https://doi.org/10.21492/inuhfd.1038311

Erdoğan, E., & Üçüncü, S. H. (2020). Bilirkişilik Kurumu Ve Bilirkişi Raporunun Delil Değerine İlişkin Bazı Sorunlar. Hacettepe Hukuk Fakültesi Dergisi, 10(1), 354-387. https://doi.org/10.32957/hacettepehdf.747897

Okuyucu Ergün, G. (2016). Bilirkişi Raporu Üzerinde Gerçekleştirilen Sahtecilik Fiillerinin Niteliği. İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 4(1), 265-274. https://doi.org/10.21492/inuhfd.239831

Kesen, N. F., & Bilgin, Ö. (2023). Adli Sistem İçerisinde Sosyal Çalışmacıların Bilirkişilik Uygulamaları. Adli Tıp Dergisi, 37(2), 39-55.

Kök, P. D. A. N. (2017). 6754 sayılı bilirkişilik kanunu neler getirdi? Uyuşmazlık Mahkemesi Dergisi, 10, 445-454.

Okur, M. (2024). 6754 Sayılı Bilirkişilik Kanunu'na Göre Bilirkişinin Denetimi Neticesinde Uygulanabilecek Disiplin Yaptırımları. Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 6(1), 359-415. https://doi.org/10.47136/asbuhfd.1453363

Şeker, F. B. (2026). Yargı Kararları Bağlamında Gerçeğe Aykırı Bilirkişilik Suçu (TCK m. 276/1). Anadolu Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 12(1), 255-267. https://doi.org/10.54699/andhd.1814516

Teomete Yalabık, A. G. F. T. (2014). Anglo-Amerikan ve Fransız Hukuklarında Bilirkişilik Kurumuna Genel Bakış. Dokuz Eylül Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 16, 2115-2162.

Tola, Y. (2026). Türk hukuk sisteminde bilirkişilik kurumu: hukuki dayanaklar, etik ilkeler ve uygulamadaki sorunlar. Uluslararası Sosyal Bilimlerde Yeni Ufuklar Dergisi, 3(1), 23-35.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

6112 SAYILI KANUN ÇERÇEVESİNDE TİCARİ İLETİŞİMİ DÜZENLEYEN İLKELER VE BU İLKELERİN İHLALİ

Şevval FURUNCU
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Radyo Televizyon ve Sinema Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0006-3722-5977

Doç. Dr. Kemal Cem BAYKAL
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Radyo Televizyon ve Sinema Bölümü
ORCID: 0000-0002-6879-4391

ÖZET
Televizyon, eğlence işlevinin yanı sıra görsel ve işitsel unsurları bir arada bulundurması ve geniş kitlelere ulaşabilmesiyle en etkili kitle iletişim araçlarından biridir. Kitleler üzerindeki bu denli güçlü etkisi nedeniyle televizyon yayıncılığının düzenlenmesi; haksız rekabetin önlenmesi, tüketicinin korunması ve kamu yararının sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Televizyon yayıncılığının geniş kitleler üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulduğunda, yayın hizmetlerinin belirli ilke ve esaslar çerçevesinde yürütülmesi önem arz etmektedir. Bu doğrultuda hem izleyicinin haklarını korumak hem de Avrupa Birliği müktesebatına uyum sağlamak amacıyla 3 Mart 2011 tarihinde 6112 sayılı Radyo ve Televizyonların Kuruluş ve Yayın Hizmetleri Hakkında Kanun yürürlüğe girmiştir. Bu araştırmanın temel amacı, 6112 sayılı Kanun çerçevesinde televizyon yayıncılığında ticari iletişime ilişkin en sık ihlal edilen ilkeleri belirlemek ve bu ihlallerin mevcut yasal düzenlemelerle ne ölçüde örtüştüğünü ortaya koymaktır.
Araştırmada, ticari iletişime ilişkin ilke ve esasların ne ölçüde ihlal edildiği betimleyici araştırma yöntemiyle incelenmiş, verilerin toplanmasında Radyo ve Televizyon Üst Kurulunun resmî internet sitesi temel veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, medya kuruluşlarının ticari iletişim faaliyetlerinde kanunun özellikle tüketicinin korunmasına ve aldatıcı ticari iletişimin önlenmesine ilişkin hükümlerini sıkça ihlal ettiği görülmektedir. Bu durum, ticari kaygıların zaman zaman tüketicinin korunması ve kamu yararı gibi unsurların önüne geçebildiğini göstermektedir. Bulgular ışığında, RTÜK'ün medya hizmet sağlayıcılarına verebileceği en üst yaptırımı uygulamasına rağmen ihlallerin tekrarlanması, mevcut mevzuatın güncel koşullara uygun şekilde yeniden gözden geçirilmesi ve daha caydırıcı politikaların geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: 6112 Sayılı Kanun, Ticari İletişim, Radyo ve Televizyon Üst Kurulu, Avrupa Birliği, Yaptırım.

PRINCIPLES REGULATING COMMERCIAL COMMUNICATION WITHIN THE FRAMEWORK OF LAW NO. 6112 AND VIOLATIONS OF THESE PRINCIPLES

ABSTRACT
Television remains one of the most influential mass media because of its ability to combine audiovisual elements and reach large audiences. Given its extensive impact, the regulation of television broadcasting is essential for preventing unfair competition, protecting consumers, and ensuring the public interest. In this context, broadcasting services are expected to operate in accordance with established principles and rules.

Law No. 6112 on the Establishment of Radio and Television Enterprises and Their Media Services, enacted on March 3, 2011, introduced a comprehensive legal framework for broadcasting services in Türkiye, with the objectives of protecting viewers' rights and achieving greater harmonization with the European Union acquis.

This study aims to identify the principles governing commercial communication that are most frequently violated in television broadcasting within the framework of Law No. 6112 and to examine the extent to which these violations correspond to the requirements of the existing legal regulations. A descriptive research design was employed, and the official website of the Radio and Television Supreme Council (RTÜK) was used as the primary source of data. The findings indicate that media service providers frequently violate provisions concerning consumer protection and the prevention of deceptive commercial communication. This pattern suggests that commercial considerations may, in some cases, take precedence over consumer interests and the public interest. The recurrence of violations despite the imposition of the highest available administrative sanctions by RTÜK further indicates the need to reconsider the existing regulatory framework in light of current conditions and to develop more effective and deterrent regulatory policies.

Keywords: Law No. 6112, Commercial Communication, Radio and Television Supreme Council, European Union, Sanctions.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

KÜLTÜREL MESAFE VE ULUSLARARASI GÜNDEM AKIŞI: GDELT OLAY VERİSİYLE TÜRKİYE ÖRNEĞİ ÜZERİNE BİR TASARIM VE ÖN BULGULAR

Dr. Öğr. Üyesi İnanç ALİKILIÇ
Muş Alparslan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü
ORCID: 0000-0001-9079-8420

ÖZET
Gündem belirleme araştırmalarının uluslararası boyutu, ülkeler arasındaki kültürel mesafenin haber ve olay akışını nasıl biçimlendirdiği sorusuna ancak son yıllarda büyük ölçekli olay veri tabanlarıyla yanıt aramaya başlamıştır. Bu çalışma, GDELT olay verisi üzerinden kültürel mesafenin Türkiye'nin uluslararası gündem bağlantılarındaki rolünü incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın temel sorusu, kültürel olarak yakın ülkelerle olay akışının uzak ülkelere göre daha yoğun olup olmadığı ve bu ilişkinin kriz dönemlerinde nasıl değiştiğidir. Tasarım, 2020-2026 döneminde Türkiye ile sekiz ülke (ABD, Almanya, Fransa, İngiltere, Rusya, İran, Yunanistan ve Çin) arasındaki günlük olay akışını, dil, din ve Hofstede kültür boyutları üzerinden hesaplanan mesafe endeksleriyle ilişkilendirmeyi öngörmektedir. Veri, GDELT olay arşivinin günlük dışa aktarım dosyalarından doğrudan indirilmekte; olay sayımları aktör ülke kodu alanları üzerinden günlük düzeyde derlenmektedir. Ön bulgular, beş yılın kesit günlerinde (her yılın 1 Ocak günü) Türkiye ile ABD arasındaki olay akışının istikrarlı biçimde en yüksek düzeyde seyrettiğini göstermektedir: 2021 kesitinde 14 olan günlük sayı, 2025 kesitinde 36'ya yükselmiştir. Rusya hattı 2023'te (28), İran hattı 2022'de (32) zirve yapmış; Fransa hattı 2024 kesitinde ani bir yükseliş (14) sergilemiştir. Bu dalgalanmalar, kültürel mesafe ile olay akışı arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığına ve jeopolitik konjonktürün araya girdiğine işaret etmektedir. Tam dönemli analiz, kültürel mesafenin gündem akışındaki koşullu etkisini test eden bir çerçeve sunacak ve Türkiye merkezli ilk olay düzeyinde uygulama olarak literatüre katkı sağlayacaktır.
Anahtar Kelimeler: Gündem belirleme, kültürel mesafe, GDELT, uluslararası haber akışı, hesaplamalı sosyal bilim

CULTURAL DISTANCE AND INTERNATIONAL NEWS FLOW: A RESEARCH DESIGN AND PRELIMINARY FINDINGS ON THE CASE OF Türkiye USING GDELT EVENT DATA

ABSTRACT
The international dimension of agenda-setting research has only recently begun to address how cultural distance between countries shapes the flow of news and events, largely through large-scale event databases. This study examines the role of cultural distance in Türkiye's international agenda connections using GDELT event data. The central question is whether event flows with culturally proximate countries are denser than with distant ones, and how this relationship changes in crisis periods. The design links daily event flows between Türkiye and eight countries (the United States, Germany, France, the United Kingdom, Russia, Iran, Greece, and China) over 2020-2026 with distance indices computed from language, religion, and Hofstede's cultural dimensions.

Data are compiled directly from GDELT's daily export files, with event counts aggregated at the daily level through the actor country code fields. Preliminary findings from cross-sectional days (1 January of each year) show that the Türkiye-United States event flow remains consistently the highest: the daily count rose from 14 in the 2021 cross-section to 36 in 2025. The Russia channel peaked in 2023 (28) and the Iran channel in 2022 (32); the France channel showed an abrupt rise in the 2024 cross-section (14). These fluctuations suggest that the relationship between cultural distance and event flow is non-linear and mediated by geopolitical conjuncture. The full-period analysis will provide a framework for testing the conditional effect of cultural distance on agenda flow and will contribute to the literature as the first event-level application centered on Türkiye.

Keywords: Agenda setting, cultural distance, GDELT, international news flow, computational social science

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EKONOMİK İSTİKRARIN SAĞLANMASINDA VERGİ POLİTİKALARININ İŞLEVİ: İKTİSADİ EKOLLER ÇERÇEVESİNDE BİR DEĞERLENDİRME

İrem Ayşe ÖZPAMUK
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Maliye Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0001-7440-6471

Dr. Öğr. Üyesi Esra KESKİN ÇAKMAK
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Maliye Bölümü
ORCID: 0000-0002-9071-6306

ÖZET
İstikrar kavramı Arapça kökenli olup, sözlük anlamı itibarıyla "aynı kararda olma, aynı biçimde sürme, bir düzende devam etme" anlamına gelmektedir. Ekonomik istikrar ise, bir ekonomide temel makroekonomik göstergelerin dengeli, uyumlu ve öngörülebilir bir seyir izlemesi olarak ifade edilebilir. Nitekim, maliye politikasının temel amaçlarından biri olan ekonomik istikrarın sağlanmasına ilişkin devlet müdahalesinin gerekliliği ve bu müdahalenin derecesi, iktisadi ekoller tarafından farklı şekilde yorumlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, ekonomik istikrarın sağlanmasında maliye politikasının önemli araçlarından biri olan vergi politikalarının, Klasik, Neoklasik, Keynesyen ve Monetarist iktisadi ekoller çerçevesinde incelenmesidir. Bu kapsamda, gayri safi yurt içi hasıla, enflasyon ve işsizlik oranları, döviz kurları, cari açık ve faiz oranları gibi temel makroekonomik göstergeler ışığında, vergi politikalarına yönelik bir inceleme yapılmıştır. Çalışmada, konjonktürel vergi politikaları, artan oranlı vergiler, otomatik istikrar sağlayıcılar ile enflasyon ve işsizlikle mücadelede vergi politikaları incelenmiş ve çeşitli vergi türlerinin ekonomik istikrar üzerindeki etkileri üzerinde durulmuştur. Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden literatür taraması ve ikincil veri yöntemi kullanılmıştır. İnceleme sonucunda, Klasik, Neoklasik, Keynesyen ve Monetarist iktisadi ekollerin ekonomik istikrarın sağlanmasına yönelik vergi politikaları hususunda farklı görüşlere sahip olduğu belirtilmiş ve söz konusu farklılıklar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bununla birlikte, vergi politikalarının özellikle konjonktürel dalgalanmaların önlenmesi ve otomatik stabilizasyon mekanizmasının işlemesi açısından önemli bir tamamlayıcı politika aracı olduğu vurgulanmış ve ekonomik istikrarla mücadeleye ilişkin vergi politikalarının etkinliğini şekillendiren hukukî, iktisadi ve mali sınırların üzerinde durulmuştur.
Anahtar Kelimeler: Vergi Politikası, Ekonomik İstikrar, İktisadi Ekoller.

THE ROLE OF TAX POLICIES IN ACHIEVING ECONOMIC STABILITY: AN ASSESSMENT WITHIN THE FRAMEWORK OF ECONOMIC SCHOOLS OF THOUGHT

ABSTRACT
The concept of stability is of Arabic origin and, in its lexical sense, refers to "remaining in the same state, continuing in the same manner, and maintaining an established order." Economic stability, on the other hand, may be defined as a condition in which the main macroeconomic indicators of an economy follow a balanced, consistent, and predictable course. Indeed, the necessity of state intervention to achieve economic stability, which is one of the fundamental objectives of fiscal policy, as well as the appropriate degree of such intervention, has been interpreted differently by various schools of economic thought.

The aim of this study is to examine tax policies, as one of the principal instruments of fiscal policy in achieving economic stability, within the framework of the Classical, Neoclassical, Keynesian, and Monetarist schools of thought. In this context, tax policies are evaluated in light of major macroeconomic indicators such as gross domestic product, inflation and unemployment rates, exchange rates, the current account deficit, and interest rates. The study examines countercyclical tax policies, progressive taxation, automatic stabilizers, and tax policies employed in combating inflation and unemployment, while also focusing on the effects of various types of taxes on economic stability. The research employs a literature review and secondary data analysis within the framework of qualitative research methods. The findings indicate that the Classical, Neoclassical, Keynesian, and Monetarist schools hold differing views regarding the use of tax policies to achieve economic stability, and these differences are examined comparatively. In addition, the study emphasizes that tax policies constitute an important complementary policy instrument, particularly in mitigating cyclical fluctuations and facilitating the functioning of automatic stabilization mechanisms. It also discusses the legal, economic, and fiscal constraints that shape the effectiveness of tax policies aimed at promoting economic stability.
Keywords: Tax Policy, Economic Stability, Schools of Economic Thought.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

TÜRKİYE'DE YÖNETİM VE ORGANİZASYON ALANINDA AKADEMİK YÜKSELME SÜREÇLERİNİN CİNSİYET BAĞLAMINDA İNCELENMESİ*

Araş. Gör. Ece Büşra İŞLER
Başkent Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü
ORCID: 0009-0005-9941-1321

ÖZET
Küresel çerçevede geçmişten bugüne değerlendirildiğinde, çalışma hayatında kadınların aleyhine pek çok süreç ve durum yaşandığı birçok alanda ortaya konmuştur. Yıllar içerisinde bu konuda önemli değişim ve gelişmeler yaşanmış olsa da günümüzde kadınlar, iş hayatında hiyerarşik olarak üst basamaklara erişme ve kariyerlerinde ilerleme konusunda çeşitli güçlüklerle karşı karşıya kalmaya devam etmektedirler. Akademik çalışma hayatı da kadınların kariyer gelişimleri ve üst akademik kadrolara yükselmeleri açısından cinsiyet temelinde incelenebilecek alanlardan biridir. Türkiye'de kadınların akademideki temsili yıllar içinde önemli ölçüde artmış olmakla birlikte, akademik hiyerarşinin üst basamaklarına ilerleme süreçlerinin kadın ve erkek akademisyenler açısından değerlendirilmesi önemini korumaktadır. Bu doğrultuda akademik yükselme süreçlerinin cinsiyet bağlamında ele alınması, kadın ve erkek akademisyenlerin kariyer ilerlemelerinde ortaya çıkabilecek farklılıkların belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışma, Türkiye'de Yönetim ve Organizasyon alanında profesör olarak görev yapan kadın ve erkek akademisyenlerin doçentlikten profesörlüğe geçiş süreçlerini cinsiyet bağlamında incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında profesörlerin YÖK Akademik web sitesinde yer alan doçentlikten profesörlüğe geçiş süreleri ile SSCI, SCI-E, ESCI ve Scopus kapsamındaki makale sayıları ve proje sayıları manuel olarak toplanmıştır. Gerekli koşulları sağlayan toplam 182 Yönetim ve Organizasyon profesörünün verileri analize dahil edilmiş; örneklemin 101'ini erkek, 81'ini ise kadın profesörler oluşturmuştur. Nicel analizlerde kadın ve erkek akademisyenlerin akademik yükselme süreçleri incelenmiş, ayrıca akademik verimlilik göstergeleri ile doçentlikten profesörlüğe geçiş süresi arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda kadın ve erkek akademisyenlerin profesörlüğe yükselme süreçleri bakımından farklılık gösterdiğine ilişkin bulgular elde edilmiştir. Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, Yönetim ve Organizasyon alanında kadın akademisyenlerin profesörlüğe yükselme süreçlerinde dezavantajlı olarak değerlendirilebilecek sonuçların bulunduğu görülmüştür.
Anahtar Kelimeler: Cinsiyet, Akademik Yükselme, Kadın Akademisyenler, Yönetim ve Organizasyon

EXAMINING ACADEMIC PROMOTION PROCESSES IN THE CONTEXT OF GENDER IN THE FIELD OF MANAGEMENT AND ORGANIZATION IN TÜRKİYE

ABSTRACT
From a global perspective, women have historically experienced various disadvantages in working life. Despite significant changes and developments over the years, women continue to face difficulties in reaching higher hierarchical positions and advancing in their careers. Academic life is also an important context for examining women's career development and promotion to higher positions from a gender perspective.

* Bu çalışma, yazarın "Cinsiyet ve Yükseltmeler: Türkiye'de Yönetim ve Organizasyon Alanı" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Although women's representation in academia in Türkiye has increased considerably over the years, examining the advancement of female and male academics within the academic hierarchy remains important. Accordingly, examining academic promotion from a gender perspective may reveal differences in the career advancement of female and male academics. This study aims to examine the transition from associate professorship to full professorship among female and male professors in the field of Management and Organization in Türkiye. Data on the time from associate professorship to full professorship, the number of articles indexed in SSCI, SCI-E, ESCI, and Scopus, and the number of projects were manually collected from the YÖK Academic website. The analysis included 182 Management and Organization professors who met the required criteria, comprising 101 men and 81 women. Quantitative analyses examined the academic promotion processes of female and male academics and the relationships between academic productivity indicators and the time required to progress from associate professorship to full professorship. The findings revealed differences between female and male academics in their promotion processes. Overall, the results indicated outcomes that may be considered disadvantageous to female academics in the process of promotion to full professorship in the field of Management and Organization.
Keywords: Gender, Academic Promotion, Women Academics, Management and Organization

GİRİŞ

Kadın akademisyenlerin akademik kadrolardaki temsili yüksek olmakla birlikte, bu durum üniversitelerin yönetim kademelerine aynı ölçüde yansımamaktadır. Kadınlar, dekanlık ve rektörlük görevleri ile senato ve yönetim kurullarında yeterince temsil edilmemekte ve karar alma süreçlerine katılımları sınırlı kalmaktadır (Aldırmaz, 2020). Tekindal (2024), bu durumun toplumsal cinsiyet eşitsizliğinden kaynaklandığını belirtmektedir. Akademik hiyerarşinin üst basamaklarına çıkıldıkça kadın ve erkeklerin temsil oranları arasındaki fark büyürken, araştırma görevliliği gibi alt kademelerde bu oranlar birbirine daha yakın seyretmektedir (Sezgin ve Hobikoğlu, 2022). Akademik ağlar da kadın ve erkek akademisyenlerin erişebildikleri olanaklar bakımından önem taşımaktadır. Erkekler, kurdukları güçlü akademik ağların sunduğu avantaj ve teşviklerden yararlanırken, kadınlar bu olanaklara aynı ölçüde erişememektedir. Söz konusu ağlar, akademisyenlerin çalışmalarının daha geniş çevrelere ulaşması ve atıf alması açısından da avantaj sağlamaktadır (Van den Brink ve Benschop, 2012).

Türkiye'de yükseköğretim kurumlarında çalışan ve lisansüstü eğitim alan kadınların sayısındaki artışa karşın, kadınların üst düzey kadrolarda temsilini sınırlayan bazı engellerin varlığından söz edilebilir (Aldırmaz, 2020). Bu engellerden biri olan cam tavan (glass ceiling), örgütlerde çalışan bireylerin hiyerarşide belirli bir düzeyin üzerine çıkarken karşılaştıkları görünmez engeli ifade etmektedir (Morrison vd., 1987). Çalışma yaşamının farklı alanlarında cinsiyet eşitsizliğinin ve ayrımcılığın giderilmesi, yükseköğretim kurumlarında kadın ve erkek akademisyenler arasında cinsiyete dayalı farklılıkların incelenmesini de önemli kılmaktadır. Bu çalışma, Türkiye'de Yönetim ve Organizasyon alanında görev yapan kadın ve erkek profesörlerin doçentlikten profesörlüğe geçiş sürelerini cinsiyet açısından karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda yayın ve proje sayıları da ele alınarak söz konusu göstergelerin yükselme süresiyle ilişkisi incelenmektedir. Çalışmanın ayrıca, Türkiye'de akademik kadrolara atanma süreçlerine ve özellikle Yönetim ve Organizasyon alanındaki yükselmelere ilişkin gelecekte yürütülecek araştırmalara yol göstermesi hedeflenmektedir.

AKADEMİK YÜKSELME VE CİNSİYET

Akademik işe alım süreçlerinde yayın sayısı, tek başına belirleyici bir ölçüt değildir. Terfi başvurularını değerlendiren kurullar, yayınların sayısının yanı sıra kalitesi ve etkisi gibi farklı özelliklerini de dikkate almaktadır (Millar ve Barker, 2020). Lutter vd. (2022), Almanya'da akademisyen olarak çalışan psikologların özgeçmişlerinden elde ettikleri verilerle profesörlük kadrosuna ulaşmada etkili olan faktörleri incelemiştir. Araştırmada, bilimsel üretkenlik gibi gözlemlenebilir faktörler kontrol edildiğinde, profesörlük kadrosuna erişim açısından cinsiyete dayalı bir farklılık veya kadınların değersizleştirildiğine ilişkin bir bulgu tespit edilmemiştir. Ayrıca kadınların akademik yayınlarından erkeklere kıyasla daha fazla yarar sağladığı belirlenmiştir. Solga vd. (2023), profesörlük pozisyonları için aday değerlendirmelerinde cinsiyetin rolünü incelemiş ve kadın adaylara yönelik sistematik bir dezavantaj tespit etmemiştir. Bununla birlikte, kadın adayların değerlendirilmesinde belirli koşullarda sınırlı düzeyde avantaj ortaya çıktığını belirtmiştir. Almanya'daki sosyoloji akademisyenlerini inceleyen Lutter ve Schröder (2016) ise kadrolu profesörlüğe ulaşmanın büyük ölçüde akademik çıktılarla bağlantılı olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte araştırmacılar, liyakate dayalı olmayan faktörler arasında akademik ağın büyüklüğü, itibar ve cinsiyetin de önemli olduğunu belirtmiştir. Diğer değişkenler sabit tutulduğunda, kadınların kadro elde etme olasılığının erkeklere göre 1,4 kat daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Türkiye bağlamında Aldırmaz (2020), kadınların hem akademik kadrolarda hem de yönetim görevlerinde genellikle alt kademelerde istihdam edildiğini belirtmiştir. Araştırmacı, bu durumu Türk toplumunun geleneksel yapısı ve kabul gören toplumsal cinsiyet eşitsizliklerinin oluşturduğu engellerle ilişkilendirmiştir. Şentürk (2015) de üniversitelerdeki kadın akademisyen sayısının yüksekliğini umut verici bulmakla birlikte, bu sayısal varlığın kadınların bazı toplumsal cinsiyet rollerinden bağımsızlaşmasını sağlamadığını vurgulamıştır. Bülbül (2021), Türkiye'de tanınır olarak değerlendirdiği sekiz devlet üniversitesinin altı farklı bölümünde görev yapan tam zamanlı akademisyenlerin verilerini incelemiştir. Çalışmada, akademik performans ve terfi açısından cinsiyet eşitsizliğine ilişkin bulgular elde edilmiş ve cinsiyetin akademik unvan dağılımını açıklamada önemli bir etken olduğu belirtilmiştir. Araştırmacı, açık bir ayrımcılıktan ziyade örtük bir ayrımcılığın söz konusu olabileceğine işaret etmiştir. Özellikle doçentlikten profesörlüğe geçiş aşamasında cinsiyet eşitsizliğinin varlığına ilişkin bulgular ortaya konmuştur (Bülbül, 2021).

YÖNTEM

Bu çalışmada, Türkiye'deki devlet ve vakıf üniversitelerinin İşletme bölümlerinde kadrolu profesör olarak görev yapan ve Yönetim ve Organizasyon alanında çalışan akademisyenlerin yükselme süreleri ile akademik çıktıları cinsiyet açısından incelenmiştir. Araştırmanın verileri, 2024 yılında, profesörlerin YÖK Akademik web sitesinde beyan ettikleri bilgilerden yararlanılarak her akademisyen için ayrı ayrı manuel olarak derlenmiştir. Doçentlikten profesörlüğe geçiş süresi yıl bazında ele alınmış; SSCI, SCI-E, ESCI ve Scopus kategorilerinde yer alan makale sayıları, "nitelikli makale sayısı" değişkeni altında birleştirilmiştir. Proje sayısı ise ulusal ve uluslararası projelerin toplamı olarak değerlendirilmiştir.

Oluşturulan veri seti Jamovi programına aktarılarak analiz edilmiştir. Doçentlikten profesörlüğe geçiş süresi, nitelikli makale sayısı ve proje sayısının normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testiyle değerlendirilmiştir. Değişkenlerin her iki cinsiyet grubunda da normal dağılım varsayımını sağlamaması nedeniyle, kadın ve erkek profesörler arasındaki karşılaştırmalarda parametrik olmayan Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Nitelikli makale sayısı ve proje sayısının doçentlikten profesörlüğe geçiş süresiyle ilişkileri ise kadın ve erkek gruplarında ayrı ayrı Spearman korelasyon analiziyle incelenmiştir.

Tüm hipotez testlerinde anlamlılık düzeyi α = 0,05 olarak belirlenmiştir. Başlangıçta 335 akademisyene ilişkin veriler toplanmıştır. YÖK Akademik kayıtlarında doçentlik ve profesörlük tarihlerine ilişkin bilgilerin eksik veya tutarsız olması ya da birden fazla farklı tarih içermesi nedeniyle geçiş süresi güvenilir biçimde belirlenemeyen 153 akademisyene ait kayıt analiz dışında bırakılmıştır. Böylece analizler, 101'i erkek (%55,5) ve 81'i kadın (%44,5) olmak üzere toplam 182 profesörün verileri üzerinden yürütülmüştür.

BULGULAR

Shapiro-Wilk testleri, incelenen üç değişkenin her iki cinsiyet grubunda da normal dağılım varsayımını sağlamadığını göstermiştir (tüm $p < 0,05$). Değişkenlerin cinsiyete göre ortalama, standart sapma ve medyan değerleri ile Mann-Whitney U testi sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Cinsiyete Göre Betimsel İstatistikler ve Mann-Whitney U Testi Sonuçları

Değişken	Cinsiyet	Ortalama	SS	Medyan	U	p
Doçentlikten profesörlüğe geçiş süresi (yıl)	Erkek	5,58	0,958	5	3053	0,002
	Kadın	6,16	1,22	6		
Nitelikli makale sayısı	Erkek	6,07	8,71	3	3889	0,567
	Kadın	5,46	5,99	4		
Proje sayısı	Erkek	4,68	5,84	3	3520	0,103
	Kadın	3,32	3,78	2		

Not. Erkek n = 101; kadın n = 81. SS = Standart sapma; U = Mann-Whitney U istatistiği. U ve p değerleri iki cinsiyet grubunun karşılaştırılmasına aittir.

Doçentlikten profesörlüğe geçiş süresi erkeklerde ortalama 5,58 yıl (SS = 0,958), kadınlarda ise 6,16 yıl (SS = 1,22) olarak belirlenmiştir. Medyan süreler sırasıyla 5 ve 6 yıldır. Mann-Whitney U testi, geçiş süresi bakımından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermiştir ($U = 3053$; $p = 0,002$). Ortalama ve medyan değerleri, kadınların geçiş süresinin erkeklere kıyasla daha uzun olduğuna işaret etmektedir.

Nitelikli makale sayısı ortalaması erkeklerde 6,07 (SS = 8,71), kadınlarda 5,46 (SS = 5,99); medyan değerleri ise sırasıyla 3 ve 4'tür. Proje sayısı ortalaması erkeklerde 4,68 (SS = 5,84), kadınlarda 3,32 (SS = 3,78) olup medyan değerleri sırasıyla 3 ve 2'dir. Erkeklerin makale ve proje sayısı ortalamaları daha yüksek olmakla birlikte, nitelikli makale sayısı ($U = 3889$; $p = 0,567$) ve proje sayısı ($U = 3520$; $p = 0,103$) açısından cinsiyet grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır.

Doçentlikten profesörlüğe geçiş süresi ile akademik çıktılar arasındaki ilişkiler, kadın ve erkek gruplarında ayrı ayrı incelenmiştir. Spearman korelasyon analizi sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Doçentlikten Profesörlüğe Geçiş Süresi ile Makale ve Proje Sayıları Arasındaki İlişkiler

Değişken	Erkek ρ	Erkek p	Kadın ρ	Kadın p
Nitelikli makale sayısı	-0,097	0,337	0,038	0,736
Proje sayısı	-0,099	0,327	0,276	0,013

Not. ρ = Spearman korelasyon katsayısı. Erkek n = 101; kadın n = 81.

Nitelikli makale sayısı ile doçentlikten profesörlüğe geçiş süresi arasında erkeklerde (ρ = -0,097; p = 0,337) ve kadınlarda (ρ = 0,038; p = 0,736) istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır.

Proje sayısı ile geçiş süresi arasındaki ilişki erkeklerde istatistiksel olarak anlamlı değildir (ρ = -0,099; p = 0,327). Kadınlarda ise bu iki değişken arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmıştır (ρ = 0,276; p = 0,013). Bu bulgu, kadın profesörlerde daha yüksek proje sayılarının daha uzun geçiş süreleriyle birlikte gözlendiğini göstermektedir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Araştırmadan elde edilen nicel bulgular, Türkiye'de İşletme bölümlerinde Yönetim ve Organizasyon alanında görev yapan kadın profesörlerin doçentlikten profesörlüğe geçiş sürelerinin erkeklere kıyasla daha uzun olduğunu göstermektedir. Erkek profesörlerde medyan geçiş süresi 5 yıl, kadın profesörlerde ise 6 yıl olarak belirlenmiş ve gruplar arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır (U = 3053; p = 0,002). Buna karşılık, nitelikli makale ve proje sayıları açısından kadın ve erkek profesörler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Dolayısıyla akademik üretkenliğin bu çalışmada ele alınan göstergeleri bakımından anlamlı bir cinsiyet farklılığı görülmemesine rağmen, doçentlikten profesörlüğe yükselme süresinde erkekler lehine bir farklılık ortaya çıkmıştır. Bu durum, akademik yükselme sürecinde gözlemlenen cinsiyet farklılığının çalışmada incelenen akademik üretkenlik göstergeleri dışında kalan faktörlerle de ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte mevcut nicel bulgular, yükselme süresindeki farklılığın nedenini tek başına açıklamaya olanak vermemektedir.

Elde edilen bu sonuç, Türkiye'de akademik terfi süreçlerini inceleyen Bülbül'ün (2021) bulgularıyla benzerlik göstermektedir. Bülbül (2021), akademik performans ve terfi açısından cinsiyet eşitsizliğine ilişkin bulgular elde etmiş ve özellikle doçentlikten profesörlüğe geçiş aşamasında cinsiyet eşitsizliğinin varlığına işaret etmiştir. Buna karşılık, Almanya bağlamında gerçekleştirilen bazı araştırmalarda farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Lutter vd. (2022), bilimsel üretkenlik gibi gözlemlenebilir faktörler kontrol edildiğinde profesörlük kadrosuna erişim açısından kadınların dezavantajlı olduğuna ilişkin bir bulgu elde etmemiştir. Benzer şekilde Lutter ve Schröder (2016), diğer değişkenler sabit tutulduğunda kadınların kadro elde etme olasılığının erkeklere göre daha yüksek olduğunu bildirmiş; Solga vd. (2023) ise profesörlük pozisyonlarına başvuran adayların değerlendirilmesini inceledikleri çalışmalarında, kadın adayların algılanan yeterlilikleri ve mülakata davet edilme olasılıkları bakımından sınırlı bir avantaja sahip olduklarını ortaya koymuştur. Bu çalışmalarla birlikte değerlendirildiğinde, akademik yükselme süreçlerinde cinsiyet bakımından elde edilen bulguların farklı ülke ve akademik bağlamlarda aynı yönde olmadığı görülmektedir.

Çalışmanın bir diğer dikkat çekici bulgusu, kadın profesörlerde proje sayısı ile doçentlikten profesörlüğe geçiş süresi arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin bulunmasıdır (ρ = 0,276; p = 0,013).

Erkek profesörlerde ise proje sayısı ile geçiş süresi arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Bu sonuç, kadın profesörlerde daha yüksek proje sayılarının daha uzun geçiş süreleriyle birlikte gözlendiğini göstermektedir. Bununla birlikte korelasyonel nitelikteki bu bulgu, proje sayısındaki artışın yükselme süresini uzattığı veya kadın akademisyenlerin üretkenliklerinin ödüllendirilmediği biçiminde nedensel bir çıkarım yapılmasına olanak vermemektedir. Dolayısıyla söz konusu ilişkinin altında yatan mekanizmaların ortaya konulabilmesi için akademik yükselmeyi etkileyebilecek bireysel, örgütsel ve kurumsal faktörlerin gelecek araştırmalarda ayrıca incelenmesi gerekmektedir.

Araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Çalışma, Türkiye'de İşletme bölümlerinde Yönetim ve Organizasyon alanında görev yapan profesörlerle sınırlıdır. Nicel analizlerin belirli bir örnekleme dayanması, bulguların diğer disiplinlere ve akademik unvanlara genellenmesini sınırlandırmaktadır. Ayrıca araştırmanın YÖK Akademik web sitesinde yer alan mevcut beyanlara dayanması, akademik yükselme süreçlerinde zaman içerisinde meydana gelen değişimlerin ayrıntılı biçimde incelenmesini sınırlandırmaktadır.

Gelecek araştırmalarda farklı akademik disiplinlerin incelenmesi, akademik yükselme süreçlerine ilişkin karşılaştırmalı bir çerçevenin oluşturulmasını sağlayabilir. Bu çalışma yalnızca profesör kadrosunda görev yapan kadın ve erkek akademisyenleri kapsadığından, farklı akademik unvanların da araştırmalara dahil edilmesi kariyerin çeşitli aşamalarındaki farklılıkların değerlendirilmesine katkıda bulunabilir. Bunun yanında, kadın ve erkek akademisyenlerin toplumsal cinsiyet algıları ile kariyer deneyimlerinin birlikte incelenmesi, her iki grubun karşılaştığı güçlüklerin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasını sağlayabilir. Bu yöndeki çalışmalar, literatüre farklı bakış açıları kazandırmanın yanı sıra akademik yükselme süreçlerinde cinsiyet eşitliğini desteklemeye yönelik uygulamaların geliştirilmesine de katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Aldırmaz, Y. (2020). *Türkiye'de akademide cinsiyet eşit(siz)liği raporu: 2020*.

Bülbül, S. (2021). Glass ceiling in academia revisited: Evidence from the higher education system of Turkey. *International Journal of Sociology, 51*(2), 87-104. https://doi.org/10.1080/00207659.2021.1881872

Lutter, M., Habicht, I. M., & Schröder, M. (2022). Gender differences in the determinants of becoming a professor in Germany: An event history analysis of academic psychologists from 1980 to 2019. *Research Policy, 51*(6), 104506. https://doi.org/10.1016/j.respol.2022.104506

Lutter, M., & Schröder, M. (2016). Who becomes a tenured professor, and why? Panel data evidence from German sociology, 1980-2013. *Research Policy, 45*(5), 999-1013. https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.01.019

Millar, P., & Barker, J. E. (2020). Gender and academic promotion to full professor in Ontario. *The Canadian Journal of Sociology/Cahiers Canadiens de Sociologie, 45*(1), 47-70. https://doi.org/10.29173/cjs29365

Morrison, A. M., White, R. P., & Van Velsor, E. (1987). *Breaking the glass ceiling: Can women reach the top of America's largest corporations?* Addison-Wesley Publishing Company.

Sezgin, F. H., & Haykır Hobikoğlu, E. (2022). Türkiye'de yükseköğretim kurumlarında istihdamda cinsiyet açığının istatistiksel analizi. KADEM Kadın Araştırmaları Dergisi, 8(1), 69-93. https://doi.org/10.21798/kadem.2022.110

Solga, H., Rusconi, A., & Netz, N. (2023). Professors' gender biases in assessing applicants for professorships. *European Sociological Review, 39*(6), 841-861. https://doi.org/10.1093/esr/jcad007

Şentürk, B. (2015). Çokuz ama yokuz: Türkiye'deki akademisyen kadınlar üzerine bir analiz. *ViraVerita E-Dergi*, (2), 1-22.

Tekindal, M., Aldırmaz, Y., Çoban, B., & Tekindal, M. A. (2024). Türkiye'de yükseköğretim kurumlarında cinsiyetin genel görünümü: Sayısal veriler ışığında bir analiz. *Yükseköğretim Dergisi, 14*(1), 151-164. https://doi.org/10.53478/yuksekogretim.1336187

Van den Brink, M., & Benschop, Y. (2012). Gender practices in the construction of academic excellence: Sheep with five legs. *Organization, 19*(4), 507-524. https://doi.org/10.1177/1350508411414293.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ALKİD SİSTEMLERDE SOLVENT KARBON ZİNCİRİNİN KURUMA VE FİLM PERFORMANSINA ETKİSİ

Yağmur KIVRAK
AR-GE Uzmanı, Marshall Boya ve Vernik San. A.Ş.
ORCID: 0009-0003-6616-1958

Serkan YILMAZSÖNMEZ
AR-GE Takım Lideri, Marshall Boya ve Vernik San. A.Ş.
ORCID: 0000-0003-3548-3041

Seda AYGÜL
PSRA&Renk Uzmanı, Marshall Boya ve Vernik Sanayi A.Ş.
ORCID: 0000-0002-8790-3231

ÖZET

Kaplama endüstrisinde solvent bazlı alkid sistemler; yüksek yüzey kalitesi, uygulama kolaylığı ve mekanik dayanım avantajları nedeniyle endüstriyel ve dekoratif boya uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte solvent seçimi, yalnızca çözünürlük ve viskozite kontrolünü değil; film oluşumu, oksijen difüzyonu, oksidatif çapraz bağlanma kinetiği ve nihai kaplama performansını doğrudan etkileyen kritik bir formülasyon parametresi olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma, orta-uzun yağlı alkid reçine bazlı boya sistemlerinde farklı karbon zincir uzunluklarına sahip alifatik hidrokarbon solventlerin kuruma davranışı ve film performansı üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında kısa zincirli (C7–C9) ve uzun zincirli (C12–C16) alifatik hidrokarbon solvent sistemleri kullanılarak solvent bazlı alkid boya formülasyonları hazırlanmıştır. Solvent karbon zinciri dağılımının fiziksel kuruma, solvent buharlaşma profili ve oksidatif sertleşme mekanizmaları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Reolojik davranış ve uygulama viskozitesi Brookfield viskozimetre (ISO 2555:2018) ve rotasyonel reometre (EN ISO 3219-2:2021) ile analiz edilmiştir. Film performansı; parlaklık (EN ISO 2813:2014), sertlik, yapışma, esneklik, yüzey düzgünlüğü ve su dayanımı testleriyle karakterize edilmiştir. Kuruma davranışı; yüzey kuruma, sert kuruma ve tam kürlenme süreleri üzerinden incelenmiş; solvent uçuş profili ile film içi oksijen taşınımı arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kısa zincirli solventlerin hızlı buharlaşma nedeniyle erken yüzey kurumasını hızlandırdığını ancak film içerisinde düzensiz kuruma davranışı ve yüzey kusuru oluşum riskini artırabildiğini göstermiştir. Buna karşılık uzun zincirli solventlerin daha kontrollü solvent çıkışı sağlayarak tesviye, film bütünlüğü ve yüzey homojenliğini geliştirdiği; ancak sertlik gelişimini nispeten yavaşlattığı gözlemlenmiştir. Çalışma, solvent karbon zinciri ile film oluşumu, oksijen difüzyonu ve mekanik performans arasındaki ilişkiyi "yapı–taşınım–performans" yaklaşımı çerçevesinde bütüncül olarak değerlendirmektedir. Sonuç olarak, orta-uzun yağlı alkid sistemlerde optimum solvent karbon zinciri dağılımının; dengeli kuruma davranışı, geliştirilmiş yüzey performansı ve proses verimliliği açısından kritik rol oynadığı belirlenmiştir. Elde edilen bulguların solvent mühendisliği yaklaşımıyla alkid boya teknolojilerinde performans optimizasyonu, maliyet yönetimi ve sürdürülebilir formülasyon geliştirme çalışmalarına katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alkid reçine, alifatik hidrokarbon solvent, kuruma kinetiği, film oluşumu, oksidatif kuruma

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EFFECT OF SOLVENT CARBON CHAIN LENGTH ON DRYING AND FILM PERFORMANCE IN ALKYD SYSTEMS

ABSTRACT

Solvent-based alkyd coating systems are widely preferred in industrial and decorative paint applications due to their high surface quality, ease of application, and favorable mechanical properties. In these systems, solvent selection is not only important for solubility and viscosity adjustment, but also plays a critical role in film formation, oxygen diffusion, oxidative crosslinking kinetics, and overall coating performance. This study investigates the effect of aliphatic hydrocarbon solvents with different carbon chain lengths on the drying behavior and film performance of medium-long oil alkyd resin systems. Within the scope of the study, alkyd coating formulations containing short-chain (C7–C9) and long-chain (C12–C16) aliphatic hydrocarbon solvents were prepared and comparatively evaluated. The influence of solvent carbon chain length on evaporation behavior, physical drying, and oxidative curing mechanisms was analyzed. Rheological properties and application viscosity were characterized using Brookfield viscometry (ISO 2555:2018) and rotational rheological measurements (EN ISO 3219-2:2021). Film performance was assessed through gloss (EN ISO 2813:2014), hardness, adhesion, flexibility, surface smoothness, and water resistance tests. In addition, surface drying, hard drying, and full curing behaviors were monitored to better understand the relationship between solvent evaporation profile and oxygen transport within the coating film. The results demonstrated that short-chain solvents accelerated initial surface drying because of their high volatility; however, they also increased the possibility of non-uniform drying and surface defects. Conversely, long-chain solvents provided more controlled solvent release, leading to improved leveling, film integrity, and surface homogeneity, although hardness development proceeded more slowly. The findings reveal that solvent carbon chain length significantly influences the balance between drying kinetics and final film properties. Overall, the study highlights the importance of optimizing solvent carbon chain distribution in medium-long oil alkyd systems to achieve balanced drying behavior and improved coating performance. The results are expected to contribute to solvent engineering strategies for cost optimization, process efficiency, and sustainable formulation development in alkyd coating technologies.

Keywords: Alkyd resin, aliphatic hydrocarbon solvent, drying behavior, film performance, oxidative curing

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ENDÜSTRİYEL SOĞUTUCU ALT GÖVDELERİ İÇİN YOĞUŞMA ÖNLEYİCİ KAPLAMA ÖNERİLERİ

Sümeyra İBİŞ
Nurdil Teknik Soğutma A.Ş.
ORCID: 0009-0008-6602-5741

Onur KÖFTECİ[1]
Nurdil Teknik Soğutma A.Ş.
ORCID: 0009-0003-7100-7648

Durmuş DARAKLI[1]
Nurdil Teknik Soğutma A.Ş.
ORCID: 0009-0002-9468-8805

ÖZET

Endüstriyel soğutma sistemlerinde yüzeylerde karşılaşılan problemlerden biri yoğuşma (terleme) ve buna bağlı gelişen gizli korozyondur. Yüzeylerde biriken çiy damlacıkları zamanla dolap gövdesinden süzülerek zemine sızabilmekte, bu durum kayma ve iş güvenliği risklerinin yanı sıra personel ve müşteri memnuniyetini de olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmanın amacı, soğutucuda yüzeylerde yoğuşmayı önlemek amacıyla kullanılan çeşitli kaplama teknolojilerini; fiziksel dayanım, ısı yalıtım performansı, uygulama pratikliği, uygulanabilirlik, ön yüzey işlem (fosfatlama/astar) gereksinimleri ve enerji maliyetleri ekseninde karşılaştırmalı olarak incelemektir. İnceleme kapsamında standart toz boyalar (epoksi, polyester, hibrit), sıvı plastisol, poliürea sprey kaplama, Polivinil Klorür (PVC) lamine sac, ısıl bariyerli yalıtım boyaları ve sıvı mantar kaplama teknolojileri değerlendirilmiştir.

Değerlendirmelerin yanı sıra, yoğuşma sorunu yaşanan bir ticari soğutucu dolabın alt şasi ve taban sacı bölgesinde bir uygulama tasarımı yapılmış ve bu tasarım doğrultusunda uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Saha denemeleri ve teknik analizler sonucunda, soğutucu dolap altında uygulanan sprey tipi sıvı PVC (Plastisol) kaplamanın kalın kauçuksu yapısı sayesinde soğuk köprüyü (cold bridge) kırdığı, kompresör kaynaklı titreşimleri absorbe ettiği ve terlemeyi tamamen engelleyerek sahada olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Tüm kaplama tiplerinin (hazır PVC lamine saclar hariç) uzun ömürlü yapışma (aderans) sağlayabilmesi için kimyasal yüzey hazırlığı (fosfatlama/yıkama veya astar) gerektirdiği, 60-100 mikronluk standart toz boyaların ise soğutucu dolap altında termal bariyer oluşturamadığı görülmüştür. Yüksek yalıtım performansı ve sıfır fırınlama maliyeti hedeflenen süreçlerde ise 1.5-2 mm et kalınlığı sağlayan ve çok kısa sürelerde kürlenen poliürea sprey kaplamanın soğutucu dolap altı alanlarında kullanımında bir alternatif olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak; soğutucuların terlemeye açık alt şasi ve taban saclarında, mevcut fırın hatlarını değerlendirme noktasında sahada başarısı kanıtlanan plastisol kaplamanın; fırınlama enerjisini sıfırlama ve hızlı proses arayışında ise poliürea kaplamanın operasyonel üstünlük sağladığı ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ticari Soğutucular, Alt Şasi Kaplaması, Yoğuşma Önleme, Plastisol, Poliürea

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

COMPARATIVE ANALYSIS OF ANTI-CONDENSATION COATING TYPES AND THEIR APPLICATIONS IN INDUSTRIAL REFRIGERATION SYSTEMS

ABSTRACT

One of critical challenges encountered on surfaces in industrial refrigeration systems is condensation (sweating) and the resulting hidden corrosion. Accumulated dew droplets on surfaces can drain from the cabinet body over time and leak onto the floor, creating slipping and occupational safety risks while negatively affecting staff and customer satisfaction. The aim of this study is to comparatively evaluate various coating technologies used to prevent condensation on cooler surfaces in terms of physical durability, thermal insulation performance, application practicality, applicability, surface pretreatment (phosphatization/primer) requirements, and energy costs. Within the scope of the evaluation, standard powder coatings (epoxy, polyester, hybrid), liquid plastisol, polyurea spray coating, PVC (Polyvinyl Chloride) laminated sheet metal, thermal barrier insulation paints, and sprayed cork coating technologies were evaluated.

In addition to the evaluations, an application design was executed for the sub-chassis and bottom sheet metal regions of a commercial cooling cabinet experiencing condensation issues, and applications were carried out accordingly. Field trials and technical analyses revealed that Spray-Type Liquid PVC (Plastisol) applied under the cooling cabinet successfully broke the cold bridge due to its thick elastomeric structure, absorbed compressor-induced vibrations, completely prevented condensation, and yielded positive field results. It was observed that chemical surface preparation (phosphatization/washing or primer) is mandatory across all coating types (except pre-coated PVC laminated sheets) to ensure long-lasting adhesion, whereas standard powder coatings of 60–100 microns failed to create a thermal barrier under the cooling cabinet. For processes targeting high insulation performance and zero oven-baking costs, Polyurea Spray Coating—providing a wall thickness of 1.5–2 mm and curing in very short timeframes—was identified as an alternative for use in sub-chassis areas of cooling cabinets.

In conclusion, for condensation-prone sub-chassis and bottom sheet metal of coolers, Plastisol coating demonstrates field-proven operational superiority when utilizing existing oven lines, whereas Polyurea coating provides operational advantage when aiming to eliminate oven-baking energy and accelerate cycle times.

Keywords: Commercial Refrigerators, Sub-Chassis Coating, Anti-Condensation, Plastisol, Polyurea.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

FENİLKETONÜRİ TANISINA YÖNELİK L-FENİLALANİN TAYİNİ İÇİN PALLADYUM NANOPARTİKÜL TABANLI AMPEROMETRİK BİYOSENSÖR TASARIMI

Melis Buse BULUT
Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü
ORCID: 0009-0006-7904-3207

Dr. Onur Can BODUR,
Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
ORCID: 0000-0001-8915-3078

Prof. Dr. Halit ARSLAN,
Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
ORCID: 0000-0002-8275-0002

Prof. Dr. Fatma ARSLAN[2]
Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
ORCID: 0000-0002-3282-6451

ÖZET

Fenilketonüri (FKU), fenilalanin hidroksilaz (PAH) enzim eksikliği nedeniyle L-fenilalanin amino asidinin tirozine dönüşemeyerek kanda ve dokularda birikmesiyle seyreden, otozomal resesif geçişli kalıtsal bir metabolizma hastalığıdır. Yüksek fenilalanin düzeyleri, yenidoğan döneminde erken teşhis edilip diyetle kontrol altına alınmadığı takdirde geri dönüşümsüz zihinsel yetersizliklere, mikrosefaliye ve ağır nörolojik hasarlara yol açabilmektedir. Bu çalışmada, FKU tanı ve takibinde kullanılabilecek hızlı, hassas ve güvenilir bir L-fenilalanin tayin yöntemi geliştirilmesi amacıyla fenilalanin dehidrogenaz (PDH) temelli amperometrik bir biyosensör platformu tasarlanmıştır. Çalışmanın elektrot geliştirme aşamasında palladyum nanopartikülleri (PdNP) ile modifiye edilmiş karbon pasta elektrot (MCPE) hazırlanmış ve yalın karbon pasta elektrot (CPE) ile karşılaştırmalı olarak elektrokimyasal davranışları incelenmiştir. Üç elektrotlu elektrokimyasal hücre sisteminde Ag/AgCl referans elektrot ve platin (Pt) karşıt elektrot kullanılmıştır. Elektrokimyasal optimizasyon çalışmaları kapsamında Kare Dalga Voltametrisi (SWV) tekniği ile çalışma potansiyeli ve pH parametreleri incelenmiş; en yüksek akım yanıtının elde edildiği optimum çalışma potansiyeli 0,65 V, optimum tampon ortamı ise pH 8,5 Tris-HCl olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu potansiyel ve pH değerleri amperometrik ölçümlerle doğrulanmıştır. Elektrot yüzeyindeki modifikasyon etkinliğini artırmak amacıyla yürütülen PdNP miktar optimizasyonu çalışmaları ise doğrudan amperometrik yöntemle gerçekleştirilmiş ve en yüksek, tekrarlanabilir akım yanıtının elde edildiği 20 mg PdNP miktarı optimum olarak seçilmiştir. Çalışmanın devam eden aşamasında, PDH enziminin uygun kimyasal çapraz bağlayıcılar kullanılarak MCPE yüzeyine immobilize edilmesi planlanmaktadır. L-fenilalaninin PDH katalizli reaksiyonu sonucunda NAD^+ koenzimi varlığında oluşan NADH'nin elektrot yüzeyinde yükseltgenmesiyle elde edilen akım, analitik sinyal olarak değerlendirilecektir. Optimizasyon çalışmalarının tamamlanmasının ardından tekrarlanabilirlik, tayin sınırı (LOD), lineer aralık, raf ömrü ve girişim etkileri değerlendirilecek; elde edilen sonuçlar HPLC yöntemiyle karşılaştırılarak geliştirilen biyosensörün analitik ve klinik performansı değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Paladyum nanopartikül, Fenilketonüri, Fenilalanin tayini, biyosensör

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

DESIGN OF A PALLADIUM NANOPARTICLE-BASED AMPEROMETRIC BIOSENSOR FOR L-PHENYLALANINE DETERMINATION TOWARDS THE DIAGNOSIS OF PHENYLKETONURIA

ABSTRACT

Phenylketonuria (PKU) is an autosomal recessive inherited metabolic disorder characterized by the accumulation of the amino acid L-phenylalanine in the blood and tissues due to a deficiency of the phenylalanine hydroxylase (PAH) enzyme. High phenylalanine levels, if not diagnosed early in the neonatal period and controlled through diet, can lead to irreversible intellectual disabilities, microcephaly, and severe neurological damage. In this study, a phenylalanine dehydrogenase (PDH)-based amperometric biosensor platform was designed to develop a rapid, sensitive, and reliable L-phenylalanine determination method for the diagnosis and clinical monitoring of PKU. In the electrode development phase, a palladium nanoparticle-modified carbon paste electrode (MCPE) was prepared, and its electrochemical behavior was investigated in comparison with a bare carbon paste electrode (CPE). A three-electrode electrochemical cell system was employed, utilizing an Ag/AgCl reference electrode and a platinum (Pt) counter electrode. Within the scope of electrochemical optimization studies, the working potential and pH parameters were first investigated using Square Wave Voltammetry (SWV); the optimum working potential yielding the highest current response was determined as 0.65 V, and the optimum buffer medium as pH 8.5 Tris-HCl. These potential and pH values were subsequently confirmed by amperometric measurements. To enhance modification efficiency on the electrode surface, PdNP amount optimization studies were carried out directly via the amperometric method, selecting 20 mg PdNP as the optimum amount for providing the highest and most reproducible current response. In the ongoing phase of the study, the immobilization of the PDH enzyme onto the MCPE surface using appropriate chemical crosslinkers is planned. The current generated by the oxidation of NADH—formed in the presence of NAD^+ coenzyme during the PDH-catalyzed reaction of L-phenylalanine—at the electrode surface will be evaluated as the analytical signal. Following the completion of optimization studies, repeatability, limit of detection (LOD), linear range, shelf life, and interference effects will be assessed, and the performance of the developed biosensor will be verified by comparing results with the HPLC method.

Keywords: Palladium nanoparticle, Phenylketonuria, Phenylalanine determination, biosensor

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

KÜKÜRT BOYALI DENİM KUMAŞLARDA ALTERNATİF KİMYASAL SİSTEMLERİN RENK AÇMA PERFORMANSI VE KUMAŞ HASARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

İsmail İPEK
Erak Giyim
ORCID: 0009-0001-2249-9573

Sercan YAZ
Erak Giyim
ORCID: 0000-0002-8892-4106

Öner GÜNDÜZ
Erak Giyim
ORCID: 0000-0002-5935-946X

Prof.Dr. Rıza ATAV
Tekirdağ Namık Kemal University, Çorlu Engineering Faculty
ORCID: 0000-0002-5807-4542

ÖZET

Bu çalışmada, kükürt boyalı denim kumaşların renk açma işlemlerinde geleneksel kimyasal sistemlere alternatif olarak kullanılabilecek farklı yardımcı kimyasal sistemlerin renk açma performansı ve kumaşın mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada %100 pamuklu, 3/1 dimi yapısında ve 12,5 oz ağırlığında kükürt boyalı denim kumaş kullanılmıştır. Renk açma işlemlerinde yardımcı kimyasal cinsi olarak kostik, Yardımcı Kimyasal A ve Yardımcı Kimyasal B; ağartıcı kimyasal olarak ise hidrojen peroksit ve hidrosülfit kullanılmıştır. Yardımcı kimyasal konsantrasyonları 2,5 ve 5 g/L, ağartıcı kimyasal konsantrasyonları ise 5 ve 10 g/L olarak belirlenmiştir. Tüm işlemler 50 °C sıcaklıkta ve 20 dakika işlem süresinde gerçekleştirilmiştir. Renk açma performansı spektrofotometrik ölçümlerden elde edilen K/S değerleri, kumaşın mekanik özelliklerindeki değişim ise atkı ve çözgü yönlerindeki yırtılma mukavemeti değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesinde varyans analizi (ANOVA) ve anlamlı farklılıkların belirlenmesinde Tukey testi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yardımcı kimyasal cinsi ve konsantrasyonunun K/S değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisi olduğu belirlenirken, ağartıcı kimyasal cinsi ve konsantrasyonunun etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür. Yardımcı Kimyasal B en yüksek renk açma performansını göstermiştir. Yırtılma mukavemeti sonuçlarında ise ağartıcı kimyasal cinsinin hem atkı hem de çözgü yönünde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu, peroksit uygulamalarının hidrosülfit uygulamalarına kıyasla daha yüksek mekanik dayanım sağladığı belirlenmiştir. Bulgular, Yardımcı Kimyasal B/peroksit sisteminin kükürt boyalı denim kumaşlarda yüksek renk açma performansı ve mekanik özelliklerin korunması açısından geleneksel kostik/peroksit sistemine alternatif olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kükürt boyası, denim kumaş, renk açma, ağartma, yırtılma mukavemeti.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ALTERNATIVE CHEMICAL SYSTEMS ON COLOUR STRIPPING PERFORMANCE AND FABRIC DAMAGE IN SULPHUR-DYED DENIM FABRICS

ABSTRACT
This study investigates the effects of different auxiliary chemical systems that can be used as alternatives to conventional chemical systems on the colour-lightening performance and mechanical properties of sulphur-dyed denim fabrics. A 100% cotton, 3/1 twill, 12.5 oz sulphur-dyed denim fabric was used in the study. Caustic soda, Auxiliary A and Auxiliary B were used as auxiliary chemicals, while hydrogen peroxide and hydrosulphite were used as bleaching chemicals. The concentrations of the auxiliary chemicals were set at 2.5 and 5 g/L, while the concentrations of the bleaching chemicals were 5 and 10 g/L. All treatments were carried out at 50 °C for 20 minutes. Colour-lightening performance was evaluated based on K/S values obtained from spectrophotometric measurements, while changes in the mechanical properties of the fabric were assessed through tear strength measurements in both the weft and warp directions. Analysis of variance (ANOVA) was used for the statistical evaluation of the experimental results, and Tukey's test was employed to determine statistically significant differences. The results showed that the type and concentration of the auxiliary had statistically significant effects on the K/S values, whereas the effects of the type and concentration of the bleaching chemical were not statistically significant. Auxiliary B exhibited the highest colour-lightening performance. In terms of tear strength, the type of bleaching chemical had a statistically significant effect in both the weft and warp directions, and peroxide treatments provided higher mechanical strength compared with hydrosulphite treatments. Overall, the findings indicate that the Auxiliary B/peroxide system can be considered a potential alternative to the conventional caustic soda/peroxide system for achieving high colour-lightening performance while maintaining the mechanical properties of sulphur-dyed denim fabrics.
Keywords: Sulphur dye, denim fabric, colour lightening, bleaching, tear strength.

GİRİŞ
Denim ya da yaygın adıyla “blue jean”, 19. yüzyılın ortalarında Amerika’da köylüler ve işçiler tarafından giyilen bir pantolon türü olarak ortaya çıkmıştır (Toksöz ve Mezarcıöz, 2013). Günümüzde özel giyimden günlük giyime kadar geniş bir kullanım alanına sahip olan denim, çocuklar, kadınlar ve erkekler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Arjun ve ark., 2013).

Yapısal olarak dimi dokuma özelliğine sahip olan denim kumaşlarda indigo boyalı çözgü iplikleri ve beyaz atkı iplikleri kullanılmaktadır (Venkatraman ve Liauw, 2019). Denim kumaşlar farklı örgü yapılarında üretilebilmekte olup bunlar arasında 3/1 dimi, 2/1 dimi, 2/2 kırık dimi ve 3/1 kırık dimi yapılar bulunmaktadır (Jamshaid ve ark., 2020). Kükürt boyaları denim kumaşta koyu kahve, koyu yeşil ve kızıl/kahverengi renk nüansı istenildiğinde, boyama aşamasında indigo ile beraber uygulanabilmektedir. Kükürt boyası indigo boyasından önce veya sonra uygulanabilir. “Bottom kükürt, top indigo” kükürdün önce, indigonun sonra; “bottom indigo, top kükürt” ise indigonun önce, kükürdün sonra kumaşa aktarıldığını ifade etmektedir. Denimde popüler olan soluk renklerin elde edilmesinde kullanılan kükürt boyasıyla sağlanan yaş ve sürtme haslıkları zaman zaman farklılık gösterse de genel olarak talepleri karşılamaktadır (Bağıran, 2011).

Denim kumaşlarda önemli işlemlerden biri yıkamadır (Oğulata ve Nergis, 2016). Bu işlemle denim ürünlere sık giyilmiş ve kullanılmış, dolayısıyla solmuş bir görünüm kazandırılması amaçlanmaktadır (Bağıran, 2011).

Denim yıkama teknolojileri, tüketici talepleri ve moda eğilimleri doğrultusunda farklı renk tonları ve efektler oluşturmayı amaçlamaktadır (Oğulata ve Nergis, 2016). Yıkama işlemi, dikilmiş denim giysilerin özel yıkama makinelerinde belirli reçete ve tekniklere göre işleme tabi tutulmasıyla gerçekleştirilmekte ve ürüne farklı renk ve tuşe özellikleri kazandırılmaktadır (Oğulata ve Nergis, 2017). Geleneksel ağartma işlemlerinde sodyum hipoklorit, potasyum permanganat ve hidrojen peroksit gibi kimyasallar kullanılmaktadır (Hamano, 1997).

Geleneksel denim ağartma ve renk açma işlemlerinde alkali ortamda hidrojen peroksit gibi ağartıcı kimyasallar kullanılabilmektedir. Bu sistemlerde elde edilen renk açma düzeyi; kullanılan kimyasalın türü ve konsantrasyonunun yanı sıra proses sıcaklığı, işlem süresi ve alkali ortam gibi çeşitli parametrelere bağlıdır. Bununla birlikte, etkili bir renk açma işlemi ile kumaşın mekanik özelliklerinin korunması arasında bir denge kurulması gerekmektedir. Kimyasal işlemin şiddetinin artırılması daha yüksek renk açma sağlayabilse de lif yapısında meydana gelebilecek hasar nedeniyle kumaşın mekanik dayanımında kayıplara neden olabilmektedir. Bu nedenle, geleneksel kimyasal sistemlere alternatif olarak daha kontrollü renk açma sağlayabilen ve aynı zamanda kumaşın mekanik özelliklerini mümkün olduğunca koruyan yardımcı kimyasal sistemlerin geliştirilmesi önemlidir. Özellikle farklı alkali karaktere veya kimyasal bileşime sahip ticari yardımcı kimyasalların peroksit gibi ağartıcılarla birlikte kullanımının, kükürt boyalı denim kumaşlarda renk açma performansı ve kumaş hasarı açısından araştırılması uygulama açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, kükürt boyalı denim kumaşların renk açma işleminde geleneksel kostik/hidrosülfit ve kostik/peroksit sistemlerine alternatif olarak ticari Yardımcı Kimyasal A/peroksit ve Yardımcı Kimyasal B/peroksit sistemlerinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda yardımcı kimyasal türü ve konsantrasyonu ile ağartıcı kimyasal türü ve konsantrasyonunun kumaşların renk açma performansı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Renk açma performansı spektrofotometrik ölçümlerden elde edilen K/S değerleri, kumaş hasarı ise atkı ve çözgü yönlerindeki yırtılma mukavemeti değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. Böylece, yüksek renk açma performansı sağlarken kumaşın mekanik özelliklerini mümkün olduğunca koruyan uygun kimyasal sistemin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kükürt boyalı Dimi 3/1 Z %100 BCI Cotton denim kumaş (12,5 oz) kalitesi kullanılmıştır. Çalışmada geleneksel renk açma sistemleri olan kostik/hidrosülfit ve kostik/peroksite ticari alternatif olarak Yardımcı Kimyasal A/peroksit ve Yardımcı Kimyasal B/peroksit sistemleri kullanılmıştır. Yardımcı kimyasal olarak kullanılan ticari ürünler DyStar firmasından temin edilmiştir.

Kükürt boyalı denim kumaşlarda renk açma performansını değerlendirmek amacıyla;
- yardımcı kimyasal cinsi (Kostik, Yardımcı Kimyasal A ve Yardımcı Kimyasal B),
- yardımcı kimyasal konsantrasyonu (2,5 ve 5 g/L),
- ağartıcı kimyasal cinsi (Hidrosülfit ve hidrojen peroksit) ve
- ağartıcı kimyasal konsantrasyonu (5 ve 10 g/L)

değişkenleri incelenmiştir. Deney planı, çalışmanın amacı doğrultusunda oluşturulan 12 farklı kimyasal işlem kombinasyonundan meydana gelmiştir. Deney koşulları Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Denim kumaşların renk açma işlemlerinde kullanılan deney koşulları

Deney no	Yardımcı kimyasal	Kons. (g/L)	Ağartıcı kimyasal	Kons. (g/L)
1	Kostik	5,0	Peroksit	5,0
2	Yardımcı Kimyasal A	5,0	Peroksit	5,0
3	Yardımcı Kimyasal B	5,0	Peroksit	5,0
4	Kostik	5,0	Peroksit	10,0
5	Yardımcı Kimyasal A	5,0	Peroksit	10,0
6	Yardımcı Kimyasal B	5,0	Peroksit	10,0
7	Kostik	2,5	Peroksit	5,0
8	Yardımcı Kimyasal A	2,5	Peroksit	5,0
9	Yardımcı Kimyasal B	2,5	Peroksit	5,0
10	Kostik	5,0	Hidrosülfit	5,0
11	Kostik	5,0	Hidrosülfit	10,0
12	Kostik	2,5	Hidrosülfit	5,0

Renk açma işlemleri numune ölçekli yıkama koşullarında gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler 50 °C sıcaklıkta ve 20 dakika işlem süresinde yürütülmüştür. Deneylerde yardımcı kimyasal ve ağartıcı kimyasal türleri ile konsantrasyonları Tablo 1'de verilen deney planına göre değiştirilmiştir. İşlem sonrasında kumaş numuneleri, uygulama prosesinden kaynaklanan kimyasal kalıntıların uzaklaştırılması amacıyla standart durulama işlemine tabi tutulmuş ve ardından analizlere hazır hâle getirilmiştir.

Renk açma performansının belirlenmesinde kumaşların spektro fotometre ile ölçülen reflektans (%R) değerlerinden hesaplanan renk verimi (K/S) değerleri kullanılmıştır. K/S değerinin azalması, kumaş üzerindeki renk yoğunluğunun azaldığını ve dolayısıyla daha yüksek düzeyde renk açma/yıkama efekti elde edildiğini göstermektedir. Bu nedenle çalışmada düşük K/S değerleri daha yüksek renk açma performansı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca renk açma işlemlerinin kumaşın mekanik özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla işlem görmüş kumaşların yırtılma mukavemetleri ölçülmüştür. Denim kumaşların dokuma yapısından dolayı yırtılma mukavemeti hem atkı hem de çözgü yönünde değerlendirilmiştir. Yırtılma mukavemetindeki yüksek değerler, işlem sonrasında kumaş yapısının mekanik bütünlüğünün daha iyi korunduğunu ve kimyasal işlemin kumaşa verdiği hasarın daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu nedenle renk açma performansı değerlendirilirken K/S değerleri ile yırtılma mukavemeti sonuçları birlikte ele alınmıştır.

Deney sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi Minitab 19 istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. K/S değerleri ile atkı ve çözgü yönü yırtılma mukavemeti değerleri için varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. K/S analizinde yardımcı kimyasal cinsi, yardımcı kimyasal konsantrasyonu, ağartıcı kimyasal cinsi ve ağartıcı kimyasal konsantrasyonu faktörlerinin etkileri değerlendirilmiştir. Faktörlerin istatistiksel önem düzeyi %95 güven düzeyinde (α=0,05) değerlendirilmiş ve $p<0,05$ değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

Anlamlı bulunan yardımcı kimyasal cinsleri arasındaki farklılıkların belirlenmesinde ortalama değerlerin istatistiksel gruplandırılması için Tukey analizi kullanılmıştır. Ayrıca faktörlerin bağımlı değişkenler üzerindeki eğilimlerini göstermek amacıyla ana etkiler grafikleri oluşturulmuştur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

- Renk Açma Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Ağartma işlemleri sonrası K/S değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. K/S değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P- Değeri
Yardımcı Kimyasal Cinsi	2	163,000	81,5001	29,50	0,000
Yardımcı Kimyasal Konsantrasyon	1	13,286	13,2863	4,81	0,036
Ağartıcı Kimyasal Cinsi	1	2,014	2,0143	0,73	0,400
Ağartıcı Kimyasal Konsantrasyon	1	0,113	0,1135	0,04	0,841
Hata	30	82,878	2,7626		
Toplam	35	282,680			

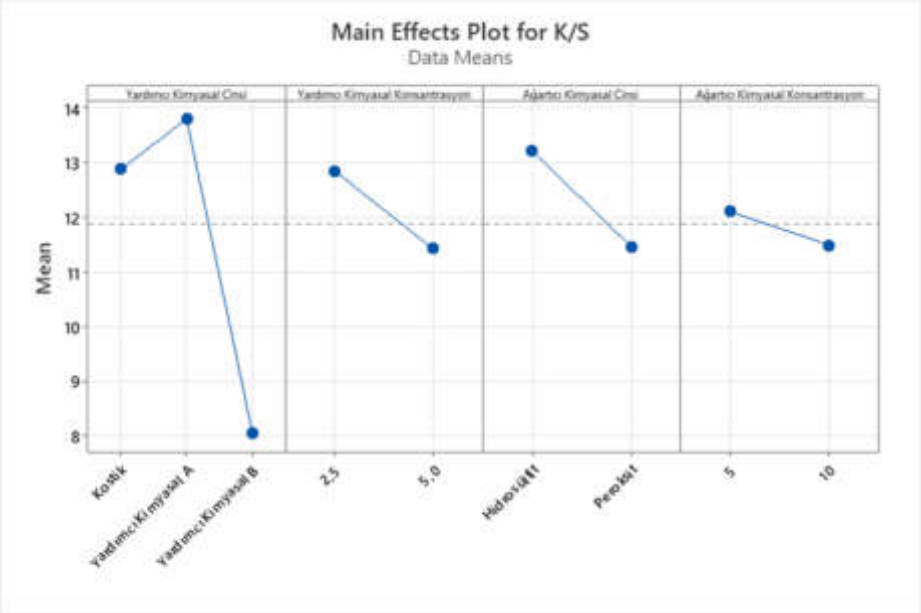
Tablo 2 incelendiğinde yardımcı kimyasal cinsinin K/S değeri üzerinde oldukça belirgin ve istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,05$) bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Yardımcı kimyasal konsantrasyonu da anlamlı ($p<0,05$) bulunmuştur. Buna karşılık ağartıcı kimyasal cinsi ve ağartıcı kimyasal konsantrasyonu K/S üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki göstermemiştir ($p>0,05$). Yardımcı kimyasal cinsleri arasındaki farkın kaynağını görmek için Tukey analizi de yapılmış olup sonuçlar Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Yardımcı kimyasal cinsinin etkisine ilişkin Tukey analizi sonuçları

Yardımcı Kimyasal Cinsi	N	Ortalama	Gruplama a	
Yardımcı Kimyasal A	9	14,3844	A	
Kostik	18	13,1384	A	
Yardımcı Kimyasal B	9	8,6621		B

Yardımcı Kimyasal B, 8,6621 ile en düşük ortalama K/S değerini vermiş ve kostik ile Yardımcı Kimyasal A'dan istatistiksel olarak farklı bir grupta yer almıştır. Kostik (13,1384) ve Yardımcı Kimyasal A (14,3844) ise aynı istatistiksel grupta bulunmuştur. Dolayısıyla Yardımcı Kimyasal B'nin en yüksek renk açma performansını sağlayan yardımcı kimyasal olduğu görülmektedir.

Tüm bu sonuçların daha açık bir şekilde görülebilmesi için Ana Etkiler Grafiği de çizilmiş olup Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. K/S değeri üzerine yardımcı kimyasal cinsi ve konsantrasyonu ile ağartıcı kimyasal cinsi ve konsantrasyonunun ana etkileri

Şekil 1'de verilen ana etkiler grafiğinden Yardımcı Kimyasal B'nin Yardımcı Kimyasal A ve kostiğe kıyasla belirgin şekilde daha yüksek renk açma potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca yardımcı kimyasal veya ağartıcı kimyasal konsantrasyonundaki artışla K/S değerinin azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte ağartıcı kimyasal cinsi açısından peroksitin hidrosülfite kıyasla daha yüksek renk açma etkisi olduğu söylenebilir.

- Kumaş Hasarının Değerlendirilmesi

Kumaşın atkı ve çözgü yönü yırtılma mukavemeti değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları sırasıyla Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmektedir.

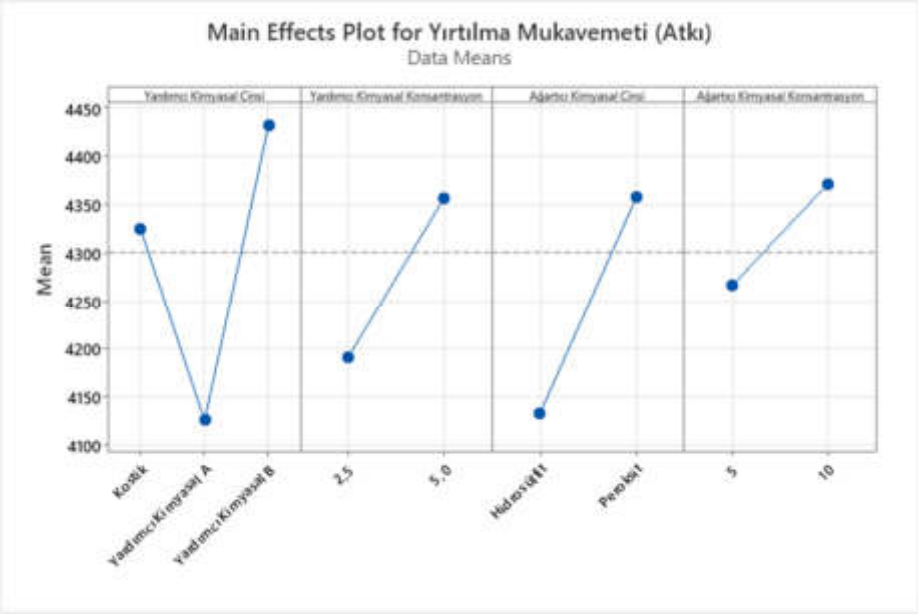
Tablo 4. Atkı yönü yırtılma mukavemetine ait varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P- Değeri
Yardımcı Kimyasal Cinsi	2	252181	126090	4,52	0,063
Yardımcı Kimyasal Konsantrasyon	1	45150	45150	1,62	0,250
Ağartıcı Kimyasal Cinsi	1	219651	219651	7,88	0,031
Ağartıcı Kimyasal Konsantrasyon	1	1800	1800	0,06	0,808
Hata	6	167330	27888		
Toplam	11	607700			

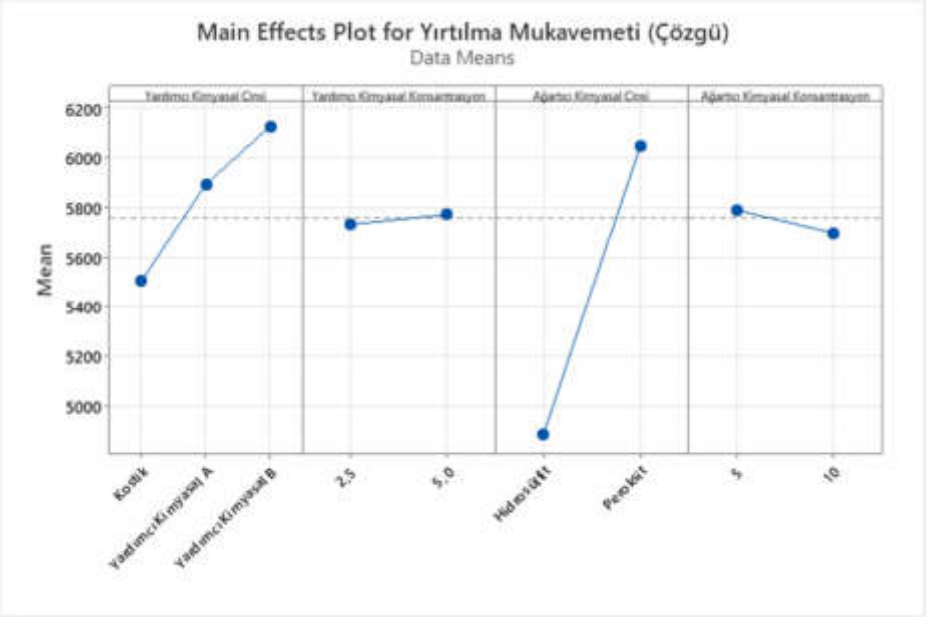
Tablo 5. Çözgü yönü yırtılma mukavemetine ait varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P- Değeri
Yardımcı Kimyasal Cinsi	2	110148	55074	1,00	0,422
Yardımcı Kimyasal Konsantrasyon	1	25992	25992	0,47	0,518
Ağartıcı Kimyasal Cinsi	1	2323793	2323793	42,14	0,001
Ağartıcı Kimyasal Konsantrasyon	1	44104	44104	0,80	0,406
Hata	6	330865	55144		
Toplam	11	3543669			

Gerek atkı gerekse çözgü yönü yırtılma mukavemeti açısından yardımcı kimyasal cinsi ve konsantrasyonu ile ağartıcı kimyasal konsantrasyonunun istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p>0,05$). Buna karşılık ağartıcı kimyasal cinsinin etkisi anlamlı ($p<0,05$) bulunmuştur. Buna göre mekanik dayanım açısından konsantrasyondan ziyade ağartıcı kimyasal tipinin belirleyici olduğu söylenebilir. Tüm bu sonuçların daha açık bir şekilde görülebilmesi için Ana Etkiler Grafiği de çizilmiş olup Şekil 2 ve 3'te verilmektedir.



Şekil 2. Atkı yönü yırtılma mukavemeti üzerine yardımcı kimyasal cinsi ve konsantrasyonu ile ağartıcı kimyasal cinsi ve konsantrasyonunun ana etkileri



Şekil 3. Çözgü yönü yırtılma mukavemeti üzerine yardımcı kimyasal cinsi ve konsantrasyonu ile ağartıcı kimyasal cinsi ve konsantrasyonunun ana etkileri

SONUÇ

Çalışmanın temel amacı, kükürt boyalı denim kumaşlarda yüksek düzeyde renk açma efekti elde edilirken kumaşın mekanik özelliklerinde mümkün olduğunca düşük kayıp meydana getiren kimyasal sistemi belirlemektir. Bu açıdan K/S ve yırtılma mukavemeti sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, sadece en düşük K/S değerini veren uygulamanın değil, aynı zamanda yüksek yırtılma mukavemeti sağlayan uygulamanın tercih edilmesi gerekmektedir.

Elde edilen sonuçlar Yardımcı kimyasal B'nin en düşük K/S değerini sağlayarak güçlü bir renk açma performansı sunduğunu göstermektedir. Aynı zamanda yırtılma mukavemeti sonuçlarında yardımcı kimyasal cinsinin istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunmaması, Yardımcı Kimyasal B'nin renk açma avantajına karşın kumaşta mekanik açıdan hasara yol açmadığını ortaya koymaktadır. Yırtılma mukavemeti sonuçları, incelenen konsantrasyon aralıklarında yardımcı kimyasal konsantrasyonunun kumaşın mekanik dayanımı üzerinde anlamlı bir kayba neden olmadığını göstermiştir. Buna karşılık ağartıcı kimyasal tipi hem atkı hem de çözgü yönündeki yırtılma mukavemetini anlamlı şekilde etkilemiştir. Peroksit uygulamasının hidrosülfit uygulamasına göre daha yüksek yırtılma mukavemeti sağladığı görülmüştür.

Bütün sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, kükürt boyalı denimlerde hedeflenen yıkama efektinin elde edilmesi açısından Yardımcı Kimyasal B/peroksit sisteminin kostik/peroksit sistemine önemli bir alternatif sunduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Arjun, D., Hiranmayee, J., & Farheen, M. N. (2013). Technology of industrial denim washing: Review. *International Journal of Industrial Engineering & Technology, 3*(4), 25–34.

Bağıran, İ.C. (2011). Denim Yıkamada Karşılaşılan Sorunlar ve Bunlara Yönelik Çözüm Önerileri, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), İzmir.

Hamano, A. (1997). The formation and decomposition of sodium hypochlorite anhydrous salt and its pentahydrate, Kayaku Gakkaishi, 58, 4, 152-156.

Jamshaid, H., Rajput, A. W., Zahid, B., Asfand, N., Basra, S. A., & Ali, A. (2020). Comparison of functional properties of woven and knitted denim fabrics. *Industria Textila, 71*(1), 3–7.

Oğulata, R. T., & Nergis, A. (2016). Rins yıkamanın denim kumaş performansı üzerindeki etkilerinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31*(2), 421–435.

Oğulata, R.T., Nergis, A. (2017). Farklı Yıkamaların Denim Kumaş Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32, 4, 87-98.

Toksöz, M., & Mezarcıöz, S. (2013). Denim kumaşlara uygulanan özel yıkama uygulamaları. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28*(2), 141–147.

Venkatraman, P. D., & Liauw, C. M. (2019). Use of a carbon dioxide laser for environmentally beneficial generation of distressed/faded effects on indigo dyed denim fabric: Evaluation of colour change, fibre morphology, degradation and textile properties. *Optics & Laser Technology, 111*(April), 701–713.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EFFECT OF HEXAGONAL BORON NITRIDE ON TRIBOLOGICAL PERFORMANCE IN LITHIUM COMPLEX GREASES

Çağla SÜLÜN
Marine and Grease Oils, Belgin Madeni Yağlar San. ve Tic. A.Ş.
ORCID: 0009-0005-1681-5436

Dr. Uğur KARAASLAN
Quality, Management Systems and R&D Manager, Belgin Madeni Yağlar San. ve Tic. A.Ş.
ORCID: 0000-0003-2972-4224

ABSTRACT
In this study, hexagonal boron nitride (h-BN) with particle sizes of 5 and 13 µm was incorporated into lithium complex grease to investigate its effect on the grease's tribological performance. Both h-BN grades were added at concentrations of 3 and 5 wt.%. Frictional behavior was investigated using an SRV tribometer under linear reciprocating motion in accordance with ASTM D5707. Anti-wear properties were evaluated using the ASTM D2266 four-ball test, which measures wear scar diameters at the contact regions between balls under rotational motion. Extreme-pressure properties were determined according to ASTM D2596. The results showed that adding 5 wt.% h-BN at either particle size increased the weld load of the unmodified lithium complex grease from 300 to 400 kgf. All formulations also exhibited lower maximum SRV friction coefficients and smaller four-ball wear scar diameters than the unmodified grease. Considering friction and wear together, the best performance was achieved with the formulation containing 5 wt.% of 13 µm h-BN. This formulation reduced the maximum SRV friction coefficient by approximately 69% and the four-ball wear scar diameter by 21% compared with the unmodified grease. Furthermore, comparison of the formulations containing 5 and 13 µm h-BN showed that the best tribological performance was achieved with the formulation containing 5 wt.% of 13 µm h-BN. Previous studies have demonstrated that nanosized hexagonal boron nitride is an effective additive in lubricating greases. This study demonstrated that commercially available micron-sized boron nitride also improves the tribological performance of lubricating greases. White h-BN therefore offers an alternative additive for improving grease appearance compared with black graphite and MoS_2 additives. Consequently, it can be readily used in specialized grease applications where a black appearance is undesirable.
Keywords: Lithium complex grease, hexagonal boron nitride, friction, wear

INTRODUCTION
Lubricating greases are widely used in mechanical systems where continuous oil supply is difficult or where the lubricant is required to remain within the contact zone for extended periods. Their performance depends not only on the base oil and thickener system but also on the additives incorporated into the formulation. Under boundary and mixed lubrication conditions, where direct interaction between opposing surfaces may occur, solid lubricant additives can play an important role in reducing friction, suppressing wear, and improving the load-carrying capability of the lubricant. Conventional solid lubricants such as graphite and molybdenum disulfide (MoS_2) are commonly used for this purpose; however, increasing interest has been directed toward alternative materials that can provide effective lubrication together with high thermal stability and cleaner operating conditions.

Hexagonal boron nitride (h-BN) is one of the promising solid lubricant candidates due to its characteristic lamellar crystal structure. Within each h-BN layer, boron and nitrogen atoms are strongly bonded, whereas adjacent layers are connected through relatively weak van der Waals interactions. This structural arrangement enables the layers to shear relatively easily along the basal plane, providing a lubrication mechanism similar to that of graphite and MoS_2. [1] In addition to its lubricity, h-BN is distinguished by its white color and high thermal stability, making it particularly attractive for applications in which contamination by conventional dark-colored solid lubricants is undesirable. [1]

Previous studies have demonstrated that h-BN can improve the tribological performance of both lubricating oils and greases. Kimura et al. reported that the addition of h-BN to a paraffinic mineral oil substantially decreased wear. [2] The effectiveness of h-BN is also strongly influenced by particle size and additive concentration. Podgornik et al. investigated h-BN particles of 0.5, 5, and 30 µm in an NLGI 2 lithium grease at concentrations of 5, 10, and 20 wt.%. Under mild reciprocating sliding conditions, the smallest particles produced the highest and most unstable friction and the highest wear, whereas increasing the particle size resulted in lower wear at relatively low concentrations. The authors suggested that sufficiently large particles can facilitate interlayer sliding and provide improved surface protection. At the same time, increasing h-BN concentration increased friction, while concentrations above approximately 10 wt.% were associated with possible particle agglomeration and deterioration of lubrication performance. [1] The same study also showed that h-BN did not exhibit a universal optimum: its performance depended on contact severity and temperature. [1]

Besides friction and wear reduction, h-BN has also shown potential for improving extreme-pressure performance. In four-ball extreme-pressure testing, the addition of 5 wt.% h-BN to a reference fluid increased the weld point from 315 kgf to 620 kgf, outperforming several conventional solid lubricants tested under the same conditions. Nevertheless, the majority of available studies evaluate friction, wear, or load-carrying capacity separately, while comparatively limited information is available on the combined influence of h-BN particle size and concentration on the friction, anti-wear, extreme-pressure, and thermal characteristics of lithium complex greases. [3]

In this study, the effects of h-BN particle size and concentration on the performance of an NLGI 2 lithium complex grease were systematically investigated. Hexagonal boron nitride powders with nominal particle sizes of 5 µm and 13 µm were incorporated into the reference grease at concentrations of 3 wt.% and 5 wt.%. The resulting formulations were evaluated in terms of reciprocating friction behavior, anti-wear performance, extreme-pressure load-carrying capability, and dropping point. The study aims to determine how particle size and concentration interact within the same lithium complex grease system and to identify the formulation providing the most balanced overall performance rather than optimizing a single tribological property alone.

MATERIALS AND METHODS

In this study, a lithium complex grease of NLGI grade 2 was used as the reference formulation. The test results for the reference grease, including penetration, maximum SRV friction coefficient, four-ball wear scar diameter, four-ball weld point, and dropping point, are presented in Table 1.

Table 2. Test results for the reference NLGI grade 2 lithium complex grease.

Property	Test method	Test Conditions	Result
Penetration (0.1 mm)	ASTM D217	25 °C	282 / 281
Maximum coefficient of friction, fmax	ASTM D5707	200 N	0.783
Four-ball wear scar diameter (mm)	ASTM D2266	75 °C, 1 h, 1200 RPM	0.737
Four-ball weld point (kgf)	ASTM D2596	1750 RPM	300
Dropping point (°C)	ASTM D566	—	250

Hexagonal boron nitride (h-BN) powders with a purity of 99% and nominal particle sizes of 5 µm and 13 µm were incorporated into the grease at concentrations of 3 and 5 wt.%. The same base grease was used for all formulations to evaluate the effects of h-BN particle size and concentration on grease performance. The experimental formulations and their corresponding h-BN particle sizes and concentrations are presented in Table 2.

Table 3. Composition of the h-BN-containing grease formulations

Sample code	h-BN particle size (µm)	h-BN content (wt.%)	Reference grease content (wt.%)
A1	13	3	97
A2	13	5	95
B1	5	3	97
B2	5	5	95

High Frequency Linear Oscillation – SRV (Schwingung, Reibung, Verschleiss)
The frictional behavior of the grease samples was evaluated using an SRV reciprocating tribometer in accordance with ASTM D5707. The test configuration consisted of a stationary steel disc and a steel ball pressed against the disc under a specified normal load, with the grease sample applied at the contact interface. During testing, the ball performed reciprocating sliding motion while the coefficient of friction was continuously recorded. The tests were conducted under a normal load of 200 N, at a frequency of 50 Hz and a stroke length of 1 mm, for 2 h. [4] The maximum coefficient of friction (fmax), defined as the highest value recorded during the test, was used to compare the samples. [1]The SRV test conditions are summarized in Table 3.

Table 4. SRV Tribometer test conditions

Test Parameters Test Conditions	Test Parameters Test Conditions
Temperature	50°C
Constant Load	200 N
Stroke	1 mm
Frequency	50 Hz
Time	120 min.
Ball Type	Steel -10mm

Extreme-pressure performance was determined according to ASTM D2596 using the four-ball method. Tests were performed at progressively increasing loads, and the weld load was recorded in kgf as the criterion for load-carrying performance.

The wear-preventive properties of the grease samples were assessed in accordance with ASTM D2266 at 40 kgf, 75 °C and 1200 rpm for 60 min. Each scar was measured in two perpendicular directions, and the mean of the six measurements was reported as the average wear scar diameter in millimetres. This value was used to compare wear protection among the samples, with smaller diameters indicating less wear under identical test conditions.

Dropping point was determined using the applicable standard method, and the results were reported in °C. The measured value was used only for comparative evaluation of the formulations and was not interpreted as the maximum service temperature.

Three-dimensional microscopy enables quantitative characterization of surface topography by combining lateral measurements with height data at the micrometre scale. Geometric features, including width, depth, surface area, and volume, can be quantified, while true-colour images and colour-coded height maps provide complementary representations of surface morphology. Wear marks formed on the contact areas of the steel discs following SRV tests were examined using a three-dimensional microscope.

RESULTS

In the SRV tests, the maximum coefficient of friction (fmax) was used as the basis for comparing the highest friction levels reached by the samples during the test duration. By representing the response at the moment of peak friction rather than the average friction behavior, this parameter enabled the evaluation of the effect of h-BN addition on peak friction values.

The maximum coefficients of friction (fmax) obtained from the SRV tests are presented in Table 4. The reference grease exhibited an fmax of 0.783. All h-BN-containing formulations yielded lower values than the reference, with the extent of reduction varying with particle size and concentration. The fmax values of A1, A2, B1, and B2 were 0.571, 0.246, 0.519, and 0.716, corresponding to reductions of 27.1%, 68.6%, 33.7%, and 8.6%, respectively. A2 exhibited the lowest fmax among the investigated formulations, whereas B2 showed the smallest reduction relative to the reference grease.

For the 13 µm h-BN series, increasing the concentration from 3% to 5% decreased fmax from 0.571 to 0.246, representing a 56.9% reduction relative to A1. The opposite trend was observed for the 5 µm series: increasing the concentration from 3% to 5% increased fmax from 0.519 to 0.716. These results indicate that the effect of increasing h-BN concentration on maximum friction differed between the two particle sizes.

Comparison at equal concentrations further demonstrated the influence of particle size. At 3% h-BN, the 13 µm formulation exhibited an fmax of 0.519, compared with 0.571 for the 5 µm formulation, corresponding to a 9.1% lower value. At 5% h-BN, the 5 µm formulation exhibited an fmax of 0.246, compared with 0.716 for the 13 µm formulation, corresponding to a 65.6% lower value. Thus, the particle-size ranking depended on concentration: the lower fmax was obtained with 13 µm particles at 3% and with 5 µm particles at 5%.

Table 5. SRV test results and reductions relative to the reference

Sample	Maximum coefficient of friction (fmax)	Reduction relative to the reference (%)
Ref. lithium complex grease	**0.783**	**—**
A1	**0.571**	**27.1**
A2	**0.246**	**68.6**
B1	**0.519**	**33.7**
B2	**0.716**	**8.6**

Three-Dimensional Microscope

Following the SRV tests, the wear tracks on the steel discs tested with the reference lithium complex grease and sample A2 were examined by three-dimensional microscopy. A2 was selected for comparison because it exhibited the lowest fmax among the investigated formulations. The corresponding surface images and three-dimensional topographies are presented in Figure 1 and Figure 2.

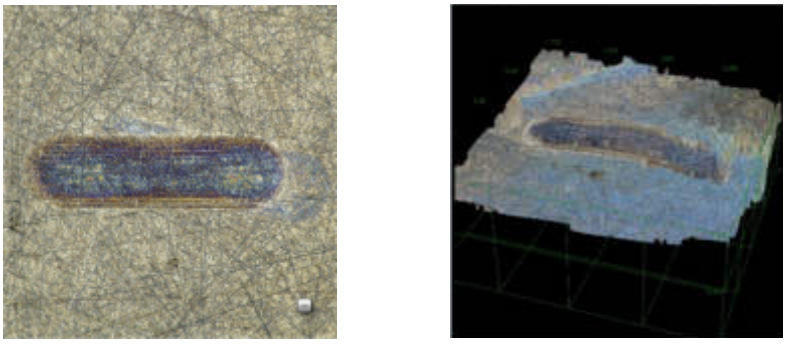


Figure 1. 3D microscope display of reference grease

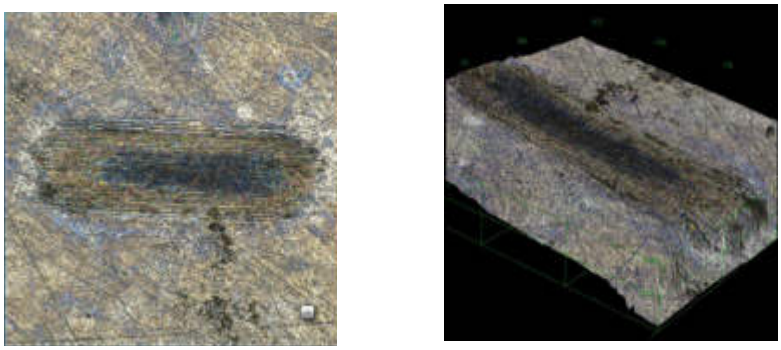


Figure 2. 3D microscope display of A2 sample

The reference grease produced a wear track measuring 1.426 mm in length, 0.422 mm in width, and 0.012 mm in depth, with a measured area of 0.574 mm². For A2, these values decreased to 1.308 mm, 0.366 mm, 0.004 mm, and 0.418 mm², respectively. Relative to the reference, A2 exhibited reductions of 8.3% in track length, 13.3% in width, 66.7% in depth, and 27.2% in measured area. The smaller wear-track dimensions, particularly the lower depth, indicate reduced surface damage on the disc tested with A2 under the applied SRV conditions.

Table 6. Geometric characteristics of the SRV disc wear tracks measured by 3D microscopy

Sample	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)	Surface area (mm^2)
Ref. Lithium complex grease	1.426	0.422	0.012	0.574
A2	1.308	0.366	0.004	0.418

Four-Ball Weld Load Test

The four-ball extreme-pressure tests showed an increase in weld load following h-BN incorporation. The reference lithium complex grease exhibited welding at 300 kgf, whereas none of the h-BN-containing samples welded at this load. At 315 kgf, welding occurred for A1 and B1, while A2 and B2 completed the test without welding. At 400 kgf, all formulations exhibited welding. Accordingly, the weld loads were 300 kgf for the reference grease, 315 kgf for A1 and B1, and 400 kgf for A2 and B2.

Within the 5 µm series, the addition of 3% h-BN increased the weld load from 300 to 315 kgf, corresponding to a 5.0% increase relative to the reference. Increasing the h-BN concentration to 5% raised the weld load to 400 kgf, representing a 33.3% increase relative to the reference and a 27.0% increase compared with A1. The same concentration-dependent response was observed for the 13 µm series: B1 exhibited a weld load of 315 kgf at 3% h-BN, while B2 reached 400 kgf at 5% h-BN.

At equal concentrations, the two particle sizes yielded identical weld loads. Both A1 and B1 welded at 315 kgf, whereas A2 and B2 welded at 400 kgf. Thus, no particle-size-dependent difference in weld load was resolved at the investigated load increments. In contrast, increasing the h-BN concentration from 3% to 5% improved the measured extreme-pressure performance for both particle sizes.

Four-Ball Wear Test

The four-ball wear test results are presented in Table 6. All h-BN-containing formulations exhibited smaller mean wear scar diameters than the reference lithium complex grease, indicating improved wear protection under the applied test conditions. The reference grease yielded a mean wear scar diameter of 0.737 mm. The corresponding values for A1, A2, B1, and B2 were 0.680, 0.580, 0.660, and 0.620 mm, respectively, representing reductions of 7.7%, 21.3%, 10.4%, and 15.9% relative to the reference. A2 exhibited the smallest wear scar diameter among the investigated formulations.

Increasing the h-BN concentration from 3% to 5% reduced the wear scar diameter for both particle sizes. Within the 5 µm series, the diameter decreased from 0.680 mm for A1 to 0.580 mm for A2, corresponding to a 14.7% reduction. Within the 13 µm series, increasing the concentration decreased the diameter from 0.660 mm for B1 to 0.620 mm for B2, corresponding to a 6.1% reduction. The reduction associated with increasing concentration was therefore greater for the 5 µm particles.

At a concentration of 3%, the 13 µm formulation produced a slightly smaller wear scar diameter than the 5 µm formulation: 0.660 mm compared with 0.680 mm, a difference of 2.9% relative to A1. At 5%, this ranking was reversed. The 5 µm formulation yielded a diameter of 0.580 mm, compared with 0.620 mm for the 13 µm formulation, corresponding to a 6.5% lower value relative to B2. Thus, neither particle size consistently yielded the smaller wear scar diameter at both concentrations.

The lowest measured wear scar diameter was achieved with 5% h-BN at a particle size of 5 µm. This formulation, A2, also exhibited the lowest maximum friction coefficient in the SRV tests and smaller disc wear-track dimensions than the reference in the three-dimensional microscopy measurements. These observations identify A2 as the formulation with the most favorable measured friction and wear results among the samples evaluated under the present test conditions.

Table 7. Four-ball wear test results

Sample	Mean wear scar diameter (mm)	Reduction relative to the reference (%)
Ref. lithium complex grease	0.737	—
A1	0.680	7.7
A2	0.580	21.3
B1	0.660	10.4
B2	0.620	15.9

Dropping Point Test

Finally, the reference lithium complex grease exhibited a dropping point of 250 °C, whereas the dropping points of all h-BN-containing formulations (A1, A2, B1, and B2) were reported as >300 °C. Thus, h-BN incorporation increased the dropping point by more than 50 °C relative to the reference under the applied test conditions.

DISCUSSION

The results demonstrate that h-BN incorporation improved the evaluated performance characteristics of the lithium complex grease. All h-BN-containing formulations exhibited lower maximum friction coefficients and smaller wear scar diameters, together with higher weld loads and dropping points, than the reference grease. However, the extent of improvement in friction and wear behavior varied with particle size and additive concentration. The concentration-dependent ranking of the two particle sizes highlights the need to evaluate these variables jointly. Overall, the findings support the potential of h-BN as an additive for improving lithium complex grease performance through appropriate selection of particle size and concentration.

Future studies could extend these findings by examining the effects of h-BN in grease systems with different soap thickeners. Comparative evaluation of lithium and calcium soap greases, particularly in terms of dropping point and other performance characteristics, could help clarify how the contribution of h-BN varies with thickener structure.

REFERENCES

[1] B. Podgornik, F. Kafexhhiu, T. Kosec, J. Jerina, M. Kalin, Friction and anti-galling properties of hexagonal boron nitride (h-BN) in aluminum forming, *Wear,* 30 April 2017.

[2] Y. Kimura, T. Wakasabayashi, K. Okada, T. Wada, H. Nishikawa, Boron nitride as a lubricant additive, *WEAR,* 1999.

[3] D.A. Lelonis, J. W. Tereshhko, C.M. Andersen Boron Nitride Powder A High-Performance Alternative for Solid Lubrication

[4] Standard Test Method for Measuring Friction and Wear Properties of Lubricating Grease Using a High-Frequency, Linear-Oscillation (SRV) Test Machine, 10.1520/D5707-19.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY PRACTICES IN THE PHARMACEUTICAL AND CHEMICAL INDUSTRY: RISK MANAGEMENT IN CHEMISTRY LABORATORIES AND FACILITY-WIDE

Melisa ŞAHİNDOKUYUCU ALIÇ
Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
ORCID: 0009-0004-3815-3421

Ersin GÜLER
Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
ORCID: 0009-0004-3815-3421

Abstract
The pharmaceutical and chemical industries are among the high-risk sectors that require a multidisciplinary approach to Occupational Health and Safety (OHS), as they combine the synthesis of Active Pharmaceutical Ingredients (APIs), precise analytical measurements, and high-volume industrial processes. In this study, the OHS and process safety management strategies implemented both in R&D/Quality Control chemistry laboratories and across the facility in an integrated chemical and pharmaceutical manufacturing plant were examined. Within the scope of the research, chemical exposure risks at the laboratory scale, as well as explosion protection (ATEX) and mechanical risks in the production facility, were systematically evaluated.
In the studies conducted at the laboratory level, hazard communication was ensured in accordance with GHS/CLP standards based on Safety Data Sheets (SDS). Substitution and engineering controls (automated fume hoods, isolator systems, and EN 14470-1 compliant ventilated safety cabinets) were prioritized based on Occupational Exposure Limits and Bands (OEL/OEB). The results demonstrate that ISO 45001 standards, alongside Proactive Risk Assessment and Near-Miss tracking systems, play a critical role in achieving the goal of zero occupational accidents in the pharmaceutical sector.
Keywords: Occupational Health and Safety, Chemical Laboratory Safety, Pharmaceutical Industry, Exposure Limits (OEL/OEB).

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

HOW PAKISTAN FRAMES CLIMATE CHANGE: A DIACHRONIC CORPUS-ASSISTED ECOLINGUISTIC STUDY OF OFFICIAL GOVERNMENT ECONOMIC DISCOURSE (2011–2026)

Muhammad Safyan
COMSATS University Islamabad, Lahore Campus

ABSTRACT

Despite Pakistan's position as one of the world's most climate-vulnerable nations, the linguistic strategies through which its government officially frames climate change in economic discourse remain largely unexamined. While ecolinguistic research has extensively investigated climate discourse in media and political texts, official government economic documents have received virtually no scholarly attention, representing a significant gap this study addresses.

The study constructs a purpose-built diachronic corpus comprising fifteen annual climate related chapters of the Pakistan Economic Survey, published by the Ministry of Finance, Government of Pakistan, spanning 2011 to 2026. The corpus is organized into three equal sub-corpora of five years each, covering an early period from 2011 to 2015, a middle period from 2016 to 2020, and a recent period from 2021 to 2026, enabling systematic diachronic comparison across distinct phases of Pakistan's climate policy development.

Methodologically, the study adopts a mixed method corpus-assisted ecolinguistic design. In the first stage, AntConc software is employed to conduct keyword analysis, collocation analysis, and frequency analysis across the three sub-corpora. In the second stage, Stibbe's (2015) ecolinguistic framing framework is applied qualitatively to interpret corpus patterns, identifying specific frames including security threat, predicament, and problem-solution framings through which climate change is linguistically constructed in each period.

The study anticipates revealing meaningful diachronic shifts in official climate framing, moving from predominantly economic and administrative framings in earlier periods toward increasingly crisis-oriented and ecological framings in recent years, particularly following Pakistan's catastrophic 2022 floods. The findings are expected to contribute to corpus-assisted eco-linguistics by providing the first diachronic eco-linguistic account of Pakistani governmental climate documentation.

Keywords: ecolinguistic, climate change, corpus-assisted analysis, diachronic study, framing, Pakistan Economic Survey

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

MICRO- AND MACROECONOMIC IMPLICATIONS OF ADOPTING AN EMISSIONS TRADING SYSTEM (ETS) IN DEVELOPING COUNTRIES

Associate Professor Elena Mărgineanu
Faculty of General Economy and Law, Academy of Economic Studies of Moldova (ASEM)
ORCID: 0000-0002-6157-8506

Abstract
Carbon pricing is more often discussed in official settings as a countermeasure to respond at climate change and objectives of a more rational good consumption. The European Union has developed a broader carbon-pricing architecture encompassing Emission Trading System (ETS), the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), and other complementary instruments. Within this architecture, the paper focuses specifically on the implications of adopting an ETS in developing countries. Even if developing countries can institutionally adopt an ETS, the *objective* is to analyse whether its adoption is economically and socially appropriate given their different income structures, firm structures, consumption patterns and adaptive capacity. The analysis *examines* how the adoption of an additional carbon-pricing mechanism may affect firms' operational strategies and capacities, as well as household consumption behavior, with particular attention to the resulting structural transformations in developing countries. Although some research addreses the question of institutional capacity to accomodate ETS for developing countries admitting that its performance tend to work better in higer-income countries, the *results* of this paper rise questions on the appropriateness of adoption itself due to a comparison with its long-term disadvantages, tangible environmental impact and cost of alterantives. Each regulatory mechanism of a state is oriented to balance the market and stimulate economic development, whereas ETS itself might concomitantly create structural and distributional disecquilibrium in a developing country, both during transition phase as well as post-adoption in long-term. In *conclusion*, the appropriateness of ETS adoption in developing countries should be assessed not only according to institutional feasibility, but also according to its distributional effects, long-term socioeconomic costs and the availability of alternative instruments capable of achieving environmental objectives with lower social and economic disruption.
Keywords: Emission Trading System (ETS), carbon-pricing, developing countries, distributional effects.

The analysis examines the micro- and macroeconomic effects of adopting an additional carbon-pricing mechanism, focusing on changes in firms' operational strategies and capacities, household consumption behavior, and the resulting structural transformations in developing countries.
There is a hypothesis that carbon policy is generating a structural disequilibrium in developing countries. While institutional feasibility and environmental targets present climate policies as a method to obtain market balancing and EU integration - firm collapse, household real income drop, supply chain shocks present distributional socio-economic costs that require answering whether the damage outweigh the environmental impact given their specific income structures and adaptive capacities [3].

The European Carbon Architecture resides on several pillars, two of the main ones being Emission Trade System 1 (ETS1) and Emission Trade System 2 (ETS2) [5]. While ETS1 was established in 2005 to cover industry, energy, aviation and maritime industry, ETS2 is a not only a new, but an additional layer or regulations, starting in 2025 as instrument (with objective to become operational in 2028) and covering road transportation (petrol/diesel) and buildings (gas/coal/heating) etc [5].

ETS 1 has a downstream regulatory point, meaning large industrial actors are the payers for additional taxes and instruments, but ETS2 has an upstream regulation point and the costs are passed down to consumers [9]. In other words, in ETS1 industry supports the costs (ex. a cement factory or a steel mill has to buy carbon allowances on the open market at the daily prices and the costs are indirectly passed into the final price of the building materials and electricity) [7]; in ETS2 the population and actors participant at transport supports the costs (ex. citizens are not required to buy carbon certificates directly, however the fuel distributors and gas suppliers will be required to acquire these certificates calculated on ton for product sold), implicitly meaning that distributors will transfer this cost directly into the final price [9].

The estimated impact at the pump and on the bill for an average home could increase by 10% (depending on consumption) [10]. All fuel suppliers in the EU are be required by law starting from 1st January 2028, to monitor emissions, as well as buy and return carbon credits for the products sold [10]. The following actions will become internalized in the business functioning system:

1. ***Obligation to obtain the Emission Permit*** - companies that are involved in any part of the fuel distribution chain, either a step within transportation and construction industry, will not be able to legally operate without a specific greenhouse gas emissions permit for ETS2 [5].
2. ***Strict Monitoring Obligation (Monitoring Plan)*** – companies will be required to make prior calculation regarding estimated emissions that the products they sell will release into the atmosphere, meaning specific formulas will have to be applied to convert the volume into tons of CO_2 equivalent, and such monitoring shall become an active internal flow of the system [10].
3. ***Annual Reporting and Audit Obligation*** – companies will be required to submit to the authorities a detailed report with the emissions calculated for the previous year, as well as providing any additional details regarding the emissions associated with every production step if requested.
4. ***Obligation to Purchase and Return Certificates.***
5. ***Sanctions*** – the sanction regime of ETS1 and ETS2 are similar, and huge fines will be applied to companies (an „x" amount per each tone of CO_2 not covered by a certificate), while the obligation to acquire it will persist. The company will remain legally obligated to purchase and return the missing certificates the following year, and in case if repeated „non-payments" are observed, the Member State will have the instruments to withdraw the environmental permit and the right to further market fuels on the national territory.

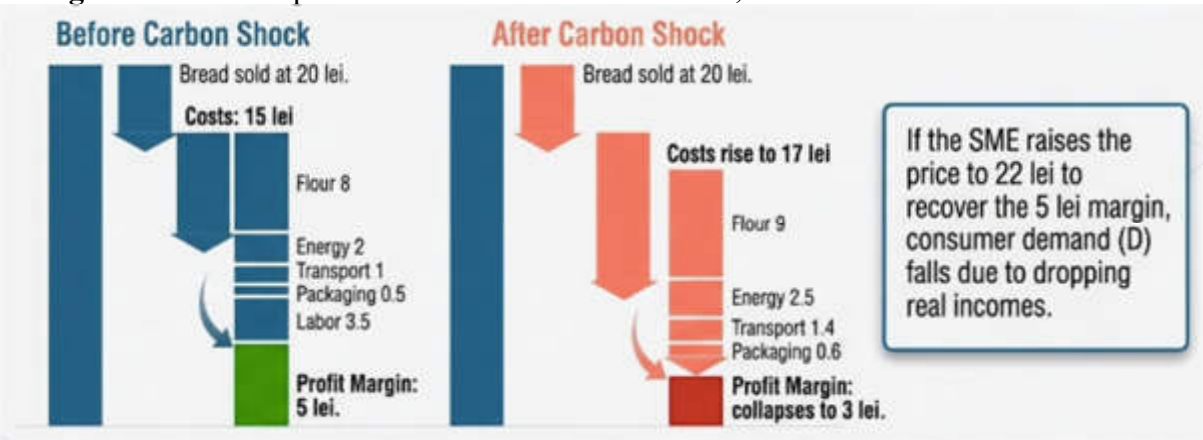
EU Solidarity Shield is distributed on vulnerability, not population. It proves that ETS2 is recognized as a regressive tax, where developing nations outside of the EU have the same structural shocks but lack access to this capital shield. The carbon transmission chain following policy to purchasing power shows that upstream carbon pricing (ETS2, CBAM applied to suppliers) increase fuel and energy costs that affects compounding logistics and material costs [6].

This, at the following turn leftwards supply shift as supply drops and equilibrium price spikes, meaning in practical terms in decreased real household income (purchasing power plummets) and a collapsing margin for Small Medium Enterprises (input costs rise with a concomitant fall of consumer demand for discretionary goods) [8].

Sectoral domino effects will be triggered by carbon pricing. Transport sector that is directly affected by ETS1 will immediately pass-through of ETS2 to diesel and gasoline at the pump, rising sharply the transport tariffs and inject costs into all physical supply chains [4]. This will affect more the food sector where demand is usually inelastic. High reliance on diesel logistics and gas-derived fertilizers, will pass the costs to shelf prices as food demand cannot be deferred [8]. In construction sector, impacted by ETS1 and CBAM, the margin pressure will increase, because cement, steel and aluminum will become vastly more expensive, drastically increasing the cost per square meter and stalling new housing [11]. Lastly, cumulating ETS1 and ETS2, as costs of natural gas inflated residential bills and commercial electricity rates, heating industry is closer to become a luxury proponent [2].

Almost 99% of the business in Moldova and Turkey are SMEs, and in a significant proportion of the meaning, they lack the capital for „green" transition and cannot pass costs into impoverished consumers [3], leading to suppressed investment. For example (*Figure 1*), if a bread sold at 20 lei, *before carbon shock,* has a total cost of 15 lei (flour – 8 lei, energy – 2 lei, transport – 1 leu, packaging – 0,5 lei and labor 3,5 lei) and a profit margin at 5 lei, *after the carbon shock*, the same bread sold at 20 lei, might rise it costs to 17 lei (flour – 9 lei, energy – 2,5 lei, transport 1,4 lei, packaging – 0,6 lei) dropping the profit margin at 3 lei. This means that in order for the SME to retain the same profit marking, it must rise the bread price from 20 to 22 lei, however this will drop the demand and affect market equilibrium [8].

Figure 1. Micro-impact before and after carbon shock, on a bread of 20 lei in Moldova.



After full implementation and correlation of the two systems (ETS1 for large industry and ETS2 for transport and builginds), the wave of price increase will affect a wide range of eneryday products [2]. The economic mechanism is simple: companies transfer the cost of carbon certificates directly into the final price paid by consumers [8]. Here are the main categories of products and services that will become more expensive:

1. **Fueld and transport** (direct affect of ETS2) [4]:

1.1. ***Gasoline and diesel*** prices are estimated to increase from a direct carbon tax, estimated at an approximate range of 45 EUR/ton, although the data is constantly presenting a wider sprectrum for different spatio-temporal coordinates;

1.2. ***Airfare tickets*** as flights within Europe will become more expensive duet o the complete elimination of free allowances for airlines in ETS1 system.
1.3. ***Freight transport*** will pressure all logistics companies that use diesel trucks or commercial vehicles to pass on the costs of a more expensive diesel in their rates.

2. **Utilities and heating** (affected combined by ETS1 and ETS2) [6
2.1. ***Natural gas, coal and fuel oil*** will increase home heating bills proportional to burned volume and suppliers are expected to add ETS2 tax to each megawatt-hour (MWh) of gas delivered to the population.
2.2. ***Electricity*** is not deprived either although renewable energy is not very much affected itself, the proportion of traditional efficient methods of generating electricity is still filtered by ETS1, the reference price of electricity on the European market remains influenced by the carbon cost paid by the gas or coal-fired power plants.

3. **Food and consumer goods** (domino effect) will become indirectly affected due to logstical costs even if agriculture is not directly taxed by the ETS.
3.1. ***Fresh products*** depend on refrigerating and distribution capabilities. The increase in diesel prices through ETS2 will be directly reflected in the price of fresh food at the shelf.
Any kilogram of fresh fuits or vegetables encompasses production, packaging, regriferation, transportation, storage and marketing. If transport increased the total cost, the supply for one kilogram shifts to the left (decrease), resulting in an increase of price and decrease of quantity, where a second effect appears – the family has lower real income and buys fewer products, leading to the next shift in market toward a decrease of demand. Therefore, although fresh products have a general inelastic demand, a slight decrease of demand concomitant with a decrease of supply is very likely. In results for this part of analysis, the price will increase if the supply shock dominates, the traded quantity will decrease, manufacturers and retailers will sell fewer units (food products) and the households will change their overal consumption structure. There is no need to explain the impact over restaurant and hospitality sector [2]. A general economic hunger might proliefate in consumer 's consciousness.
3.2. ***Chemical fertilizers*** that are produced from natural gas in large factories (regulated by ETS1), will add a new layer of expenses, automatically increasing the production costs for farmers [6].
For the fertilizers the chain has different nuances. As natural gas is an important input for the prodution of certain fertilizers, especially nitrogenous ones, the cost of fertilizers will increase leading to a decrease of the offer. Although here we also observe a perspective of increasing costs and decreasing proposed quantity, the farmers will however have 3 possibilities (in connection with 3.1): to (a) accept the costs and reduce the margin, (b) to increase the costs of agricultural products and (c) to use less fertilizers, migrating toward more expensive organic farming with significantly less products offered on the shelf [3]. Generally, the patters will lead again to an increase of food prices (*Figure 2*).

Figure 2. Result of ETS implementation for fertilizer supply on food industry

fertilizer ↓ → agricultural productivity ↓ → agricultural supply ↓ → food prices ↑

There is a particular behavior for food products: a family can opt our of holidays, restaurant, hew items, but it can not completely give up on basic food products, often considered as social products – food, milk, potatoes, meat (meaning inelastic). Therefore, a significant part of the cost increase will eventually be transferred into the consumer prices [9].

4. **Construction and real estate materials** (ETS1 combined with the effects of CBAM instrument) – large heavy industry is already paying massive amounts for pollution under current climate policies reflected in the domestic regulatory system, however the protection thorugh free certification will decrease from 2027 [10], meaning that:

4.1. ***Cement, steel and aluminium*** that are carbon-intensive products will pass on these costs in their prices.

Here the effect is very important for the construction as the scheme follows the scheme: increase of carbon price leads to an increase costs of cement production giving effect to a decrease of supply of cement and thus, implicitly, by analysing the basic theory of economy and market equilibrium, is expected an increase of price and decrease of delivered as well as purchased quantity on the market [8]. In such situation the constructor as an actor, has two options: (a) to transfer the costs into the construction price, or to (b) support it from the margin. Taking one step further, we can clearly assume that a decrease from margin will become first option chosen, leading for market exit of some suppliers and allowing remaining suppliers to rise the costs from both rationals (1) need to recover the profit margin to save the company and (b) natural reaction in the market for the situation where competition of suppliers is reduced. The combination occured, although simple in representation, beholds serious processed behind, results in: increse price of cement leads to an increase cost per square meter of household, leading to an overall increase of the housing prices (*Figure 3*) [3].

A constant nominal income with a more expesive fuel will also result in a lower purchasing power. Therefore, a family can respond to this by reducing travel, reducing spending on clothes, restaurant consumtion, non-essential purchases and increase the use of public transportation if that is cheaper. Such behavior does not correspong to the „developing economy" concept, as the dynamic is regressive and not deveoping. In other words, ETS pressure on fuel and construction industry will have a negative multiplier effect on other markets [6].

4.2. ***Imports from outside the EU*** (ex: cement imported from Turkey, China or Ukraine) will be taxed the same as those produced in the EU, eliminating the alternative of cheap materials from outside the European space.

4.3. ***New homes*** will increase their costs per square meter as a direct consequence of the above mentioned measures.

Figure 3. Result of ETS implementation for cement production industry on household

cement ↑ → cost/m² ↑ → housing price ↑

A uniform percentage price increase does not produce a uniform loss of welfare. Hosehold vulnerability matrix shown unequal welfare loss:

1. ***Low-income tier:*** *severe shock* as a masive percentage of the budget is locked into inelastic goods (heating, basic foods). A price increase reduces their standard of living.
2. ***Middle-income tier:*** *demand shock* as it absorbs the cost by aggressively cutting discretionary spending (restaurants, travel, clothing). This behavioral shift directly starves local SME's of revenue.
3. ***High-income tier:*** *mild shock* as the cost increase is absorbed mechanically through slightly reduced savings, with minimal lifestyle distruption.

The question regarding appropriateness of such agressive taxation on carbon is relevant because the numbers regarding the impact countries have in the global share might dilute the confidence in ETS efficiency. EU ETS2 leads to inflated EU diesel prices, which increase the costs of freight to developing countries [4] and induce of imported inflation across all sectors [11]. Moldova suffers an external, indirect shock. High reliance on EU road logistics means ETS2 will artificially inflate Moldovan import prices and squeeze domestic real incomes, all without generating a single percent of carbon tax revenue for the government (*Table 1*).

Table 1. Comparison of Moldovan and Turkey's share on global carbon emissions

	Moldova	**Turkey**
% of share of global carbon emissions	0.025 %	1.28%
% of carbon emitted from total carbon in the atmosphere	**0.00075%**	**0.0384%**
% of SMEs	**99%**	**99%**
% SMEs in employment	**72%**	**68%**
Current price per ton of carbon	**-**	**-**
Estimated price in 2030 per ton of carbon	20 €/tCO_2	€ 35-50 €/tCO_2 €120/tCO_2 (mid-2030)

Cumulative macroeconomic effect can resemble the following path:

1. ETS/carbon pricing in developing countries through alignment with EU regulations;
2. More expensive fuel, energy and raw materials;
3. More expensive transportation [4];
4. More expensive imports and logistics;
5. More companies' costs are incresing;
6. Domestic supply shifts to the left;
7. Domestic prices are rising [3];
8. The purchasing power of households decreases [3];
9. Demand for discretionary goods decreases [9];
10. Small and Medium Enterprises sell less;
11. Profit margin are shrinking [10];
12. Investments of some SME's may be postponed;
13. Aggregate demand slows down [9].

The implementation of the Turkish Emissions Trading System (TR ETS) primarily targets major industrial installations while indirectly affecting households and small and medium-sized enterprises (SMEs) through higher production and transport costs. Because carbon expenses ripple across various value chains, sectors like *cement, iron and steel, aluminum, and fertilizers* experience increased operational burdens that ultimately drive-up consumer prices for food, housing, and manufactured goods. Although many SMEs are exempt from direct compliance obligations, they still face higher material expenses and administrative hurdles related to carbon accounting and emissions tracking. Furthermore, the domestic carbon pricing mechanism interacts directly with the *European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)*, helping Turkish exporters offset potential border levies if their goods meet specific regulatory criteria. Ultimately, while this framework incentivizes industries to adopt so-called cleaner technologies and energy efficiency, it creates complex economic pressures characterized by elevated production expenses and shifting market demand [1].

Unlike European framework, TR ETS focuses on installations emitting above 50.000 tCO_2. However, because fossil-fuel power plants, steel mills, cement factories, aluminum and fertilizer producers may buy emission certificates, carbon pricing transmits vertically down the value chain. The increases marginal electricity production costs, freight logistics rates, and core input prices across all manufacturing sectors (automotives, machinery, construction, appliances). Turkish non-ETS SME's fall below the legal threshold and do not directly purchase allowances, they suffer an indirect carbon-cost-past-through. SME's purchasing raw sheet metal, aluminum components, energy, or transport services absorb inflated input costs without receiving free allocation or cushion mechanisms available to directly regulated installations [1]. Also, Turkey as a primary industrial supplier to the EU (unlike Moldova, which is positioned rather as an importer from the EU), has its industry facing dual pressure of domestic TR ETS costs and compliance with CBAM. Exporting firms, especially SME's, must absorb significant fixed costs for emissions measurements, carbon accounting, third-party data verification and other aspects related to EU export standards. In case if EU would be the only export point, and the main source of Turkeys income, ETS alignment could have been considered as an option for efficient calibration of the system, nevertheless, in the current situation, a separation might create rather additional advantage for the Turkish SME's that do not engage in exporting to EU.

Conclusion

The general mechanism show that ***two simultaneous effects*** can be observed: higher costs, supply decrease, price increase, lower real income decrease, demand decrease and a general decrease the traded quantity. An increase in price causes a movement along the demand curve, while a decrease in real income can shift the demand curve itself. This general observation stands not only for general households, but for SME's as well. In the same time, the issue can not be trated through the „wellfare paradox" concept, because the negative impact is not short-term eclipsated by long-term benefits, but instead it brings long-term amplifying negative effects, which can not be compensated through presumed positive expectations.

Emission Trade Systems increase the costs across most of the sectors (some directly, others indirectly), which generates cost and price increases in the market. The real income drop will decrease consumption as well, this will force SME's to reduce their margin instead of increasing the price, that will contract investments and eventually lead to amplification of the economic vulnerability.

The appropriateness of adopting an ETS in developing nations cannot be judged on institutional feasability or regulatory capacity alone. Without massive, localized financial mechanisms like EU Social Climate Fund, adopting an ETS in a developing economy fractures the socio-economic foundation. Attempting to solve a global climate issue through uniform carbon pricing creates a situation where long-term socio-economic devastation inflicted on vulnerable populations vastly outweighs the localized environmental impact. Alternatives with lower economic distruption must be prioritized.

Macroeconomic reality shows that despite negligible historic and current contributions to atmospheric carbon, these economies are being forced to align with European carbon price target scaling until over €90 per tone. Forcing developing economies to bear European-level carbon prices crushes their 99% SME-driven labor markets for an effectively invidible global environmental gain.

References

1. Aytuğ, A. (2026). Turkish carbon pricing after Climate Law No. 7552: an assessment of the CBAM and the National Emissions Trading System. *Journal of International Trade Law and Policy*, 1-11.

2. Amaddeo, E., Bergantino, A. S., & Magazzino, C. (2025). Who pays for the EU Emission Trading System? The risk of shifting tax burden from firm to final consumer. *Energy Economics*, *143*, 108240.

3. Bigio, S., Känzig, D. R., Sánchez, P., & Walsh, C. (2026). Carbon pricing and inequality: A normative perspective. *The Economic Journal*, *136*(677), 1659-1682.

4. Fageda, X., & Oesingmann, K. (2025). The impact of carbon pricing on tourist destinations: Shifts in demand, supply and emissions in the European aviation market. *Economics of Transportation*, *42*, 100414.

5. European Comission: ETS2 – buildings, road transport and additional costs: https://climate.ec.europa.eu/areas-action/carbon-markets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en

6. Garcia-Lembergman, E., Ramondo, N., Rodrıguez-Clare, A., & Shapiro, J. S. (2025). *Carbon Taxes in the Global Economy: A Quantitative Analysis*. October 2025. Mimeo, PCU-Chile, Boston University and UC Berkeley.

7. Günther, C., Pahle, M., Govorukha, K., Osorio, S., & Fotiou, T. (2026). Carbon prices on the rise? Shedding light on the emerging second EU Emissions Trading System (EU ETS 2). *Climate Policy*, *26*(1), 92-103.

8. Maulberger, A., & Rathgeber, A. W. (2026). Disentangling supply and demand shocks in the EU ETS–before and after the introduction of the market stability reserve. *Resource and Energy Economics*, 101575.

9. Morão, H. (2025). From carbon policy to consumer prices: The economic impact of carbon caps in the Euro Area. *Energy economics*, *143*, 108175.

10. The European Roundtable on Climate Change and Sustainable Transition (ERCST). 2025 State of the EU ETS Report. https://ercst.org/wp-content/uploads/2025/05/2025-State-of-the-EU-ETS-Report.pdf

11. Van den Bergh, J., & Drews, S. (2026). A review of carbon-pricing studies for developing countries. *Climate and Development*, *18*(2), 121-140.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ASSESSING THE CURRENT STATUS OF BRAND AWARENESS AND BRAND ASSOCIATIONS OF OCOP PRODUCTS AT CANTHO ECO RESORT

Nguyen Thi Phuong Anh
Faculty of Tourism and Hospitality Management, School of Economics, Can Tho University

Le Phuong Vy
Faculty of Tourism and Hospitality Management, School of Economics, Can Tho University

Vo Thi Ngoc Khue
Faculty of Tourism and Hospitality Management, School of Economics, Can Tho University

Nguyen Thi Kieu Ly
Faculty of Tourism and Hospitality Management, School of Economics, Can Tho University

Vo Kha Anh Nhi
Faculty of Tourism and Hospitality Management, School of Economics, Can Tho University

Nguyen Phu Son
Faculty of Tourism and Hospitality Management, School of Economics, Can Tho University

ABSTRACT
This study aims to assess the current status of brand awareness and brand associations of OCOP products at Cantho Eco Resort. The study employs descriptive statistics to analyze the characteristics of the survey sample and assess customers' levels of brand awareness and brand associations regarding OCOP products. The findings indicate that tourists have a relatively good level of awareness of OCOP products; however, their ability to recognize the official OCOP logo remains limited. This suggests that although tourists are relatively familiar with OCOP products, their recognition of official brand identity elements still needs to be strengthened. Regarding brand associations, the findings identify three main dimensions: quality and local value associations, emotional associations, and differentiation associations. These dimensions reflect tourists' perceptions of product quality, local characteristics, emotional responses, and the uniqueness of OCOP products. In addition, certain aspects, such as purchase preference and the distinctiveness of OCOP products compared with similar products, received relatively low evaluations.
Keywords: Brand awareness, Brand associations, OCOP products, Ecotourism, Cantho Eco Resort.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

CUSTOMER TOUCHPOINTS AND CUSTOMER EXPERIENCE: A STATE-OF-THE-ART STUDY OF DOMESTIC TOURISTS IN THE HOTEL SECTOR OF CAN THO CITY

Thanh-Phuc TRAN
Can Tho University, Vietnam
ORCID: 0009-0004-5877-8568

Nam-Khang Tri NGUYEN
Can Tho University, Vietnam.
ORCID: 0000-0001-7361-7560

ABSTRACT
Customer experience has become a key driver of loyalty and competitive advantage in the hotel industry, yet touchpoint management in Vietnam has mostly been studied through single, isolated aspects rather than an integrated framework. This study aims to describe how domestic tourists staying at 3 – 5-star hotels in Can Tho city, Vietnam, perceive six groups of customer touchpoints (environmental stimuli, brand-initiated communication, technological interfaces, customer-to-employee interaction, customer-to-customer interaction, and core service interaction) as well as their overall customer experience. Data were collected directly from 201 domestic tourists through a structured questionnaire using a 5-point Likert scale, and descriptive statistics were applied. The results show that customer-to-employee interaction received the highest mean score (4.20/5, "agree"), followed by environmental stimuli (4.02), while brand-initiated communication recorded the lowest score (3.07, "neutral") and the highest dispersion among respondents. Overall customer experience was rated at an "agree" level (mean = 3.77). In short, the findings suggest that while most touchpoints are perceived positively, brand-initiated communication received the lowest evaluation and therefore represents a key area for hotels in Can Tho city to consider improving.
Keywords: customer touchpoints, customer experience, domestic tourists, 3 – 5star hotels, Can Tho City.

INTRODUCTION
Customer journey has increasingly become a fundamental concept in marketing research and tourism and hospitality practice, driven by the widespread adoption of customer - centric thinking (He & Zhang, 2023; Tueanrat et al., 2021). Within this process, customer touchpoints are core components of the journey and experience, encompassing interactions between customers, employees, brands, organizations, and other relevant actors (Homburg et al., 2017). Thus, customer experience results from the integration of multiple touchpoints throughout the journey rather than from a single interaction (Homburg et al., 2017). In Vietnam, however, this integrated perspective remains relatively underexplored in hotel research. Can Tho City, a major tourism destination in the Mekong Delta, has experienced growth in visitor arrivals and tourism revenue in recent years. Among the city's 148 star-rated hotels, only 25 (16.89%) are classified as 3 - 5-star hotels, highlighting the relevance of examining customer touchpoints and customer experience in this segment. Despite this practical importance, most domestic studies on hotel services in Vietnam have examined customer - related issues through single, isolated aspects, such as service quality (Tuan, 2021) or online complaint behavior (Hien et al., 2022), rather than through an integrated touchpoint framework.

Internationally, Kim and So (2024) recently developed the Customer Touchpoints Index (CTi), integrating six touchpoint dimensions, but empirical applications of this model in specific hotel contexts, especially in developing destinations such as Can Tho, remain scarce. Therefore, this study aims to describe how domestic tourists staying at 3 - 5star hotels in Can Tho City perceive the six groups of customer touchpoints proposed by Kim and So (2024), as well as their overall customer experience.

CUSTOMER TOUCHPOINTS AND CUSTOMER EXPERIENCE

Customer experience is conceptualized as a multidimensional and subjective response formed throughout the customer journey (Becker & Jaakkola, 2020; De Keyser et al., 2020), where multiple touchpoints involving the firm and other relevant actors shape customer experience (Homburg et al., 2017). A customer touchpoint refers to any point of contact through which a customer interacts with a brand or service provider via human, digital, physical, or communication-based channels (Clatworthy, 2011). Given the integrated nature of hospitality services, these touchpoints do not operate in isolation but collectively contribute to the overall customer experience. Accordingly, this study conceptualizes customer experience as the overall outcome of interactions across multiple touchpoints throughout the customer journey and adopts the framework developed by Kim and So (2024), which classifies hotel customer touchpoints into six dimensions through the Customer Touchpoints Index (CTi), as summarized in Table 1.

Table 1: Conceptual domains of customer touchpoints (CTs)

Dimension	Conceptual definition	Relevant literature
Environmental stimuli	Physical characteristics and surroundings customers observe when interacting with a company.	Bitner (1992); Boyd et al. (2019); Dedeoglu et al. (2018); Mattila & Wirtz (2001); Roggeveen et al. (2020); Stead et al. (2020); Stein and Ramaseshan (2016).
Brand-initiated communication	One-way communication from a brand to its target groups using a brand- controlled marketing mix (e.g., attributes of product, pricing, and packaging) through brand-owned media (e.g., advertising, promotions, websites).	Berry & Seltman (2007); Boyd et al. (2019); Kim et al. (2022); Lemon & Verhoef (2016); Stein & Ramaseshan (2016); Villarejo-Ramos & Sanchez-Franco (2005).
Technological interfaces	Any technologies a company uses to interact or manage relationships with customers.	Davis et al. (1989); De Keyser et al. (2020); Kim et al. (2022); Stein & Ramaseshan (2016); Sunny et al. (2019); Venkatesh et al. (2003); Wöber & Gretzel (2000).
Customer-to-employee interaction	Direct and indirect interactions between customers and employees.	Boyd et al. (2019); Dong & Siu (2013); Gremler & Gwinner (2000); Lemon & Verhoef (2016); Lin & Worthley (2012); Siqueira et al. (2019); Stein & Ramaseshan (2016).

Customer-to-customer interaction	Customers' exchange of information and emotions.	Boyd et al. (2019); Huang & Hsu (2010); Lin et al. (2020); Moore et al. (2005); Siqueira et al. (2019); Yoo et al. (2012).
Core service interaction	Direct or indirect interactions customers have with a service provider's core service.	Berry & Seltman (2007); Cronin et al. (2000); Grace & O'Cass (2004); Pappu et al. (2006); Siqueira et al. (2019); So & King (2010); Stein & Ramaseshan (2016).

Source: Kim & So, 2024

METHODOLOGY

The study uses primary data collected through a direct survey of 201 domestic tourists who have experienced accommodation services at 3 – 5-star hotels within the study area of Can Tho city, based on the administrative boundaries before July 1, 2025, through a structured questionnaire. Because there is no complete and up - to - date list of the target population, the study employs a non-probability convenience sampling method.

Respondents were screened based on three criteria: (1) being domestic tourists; (2) having experienced accommodation services at 3 - 5-star hotels within the study area; and (3) having directly experienced the hotel's services and customer touchpoints. Data were collected from June to July 2026.

Descriptive statistics were used to analyze the data, with frequencies and percentages describing sample characteristics and means and standard deviations assessing tourists' perceptions of the six customer touchpoint groups and overall customer experience using a 5-point Likert scale.

RESULTS AND DISCUSSION

Sample Description

A total of 201 valid responses were obtained from domestic tourists staying at 3 – 5-star hotels in Can Tho City, as presented in Table 2 below.

Table 2: Sample characteristics

Characteristics	Category	Frequency (Number of respondents)	Percentage (%)
Hotel star rating of respondents' stay	3-star hotels	79	39.3%
	4-star hotels	76	37.8%
	5-star hotels	46	22.9%
Gender	Male	88	43.8%
	Female	113	56.2%
Age	18 – 29	69	34.3%
	30 – 39	47	23.4%
	40 – 49	26	12.9%
	50 – 59	35	17.4%
	60 and above	24	11.9%
Length of hotel stay	1 – 2 nights	168	83.6%
	3 – 4 nights	21	10.4%
	More than 5 nights	12	6%

Travel type	Independent travel	135	67.2%
	Package tour	66	32.8%
Hotel booking channel	Hotel website	31	15.4%
	OTA channels	36	17.9%
	Travel agency	4	2%
	Travel company	66	32.8%
	Direct hotel booking	54	26.9%
	Accommodation app	3	1.5%
	Social media	7	3.5%

Source: Analysis of survey data from 201 respondents, 2026

In terms of the hotel star rating of respondents' stay, 3-star and 4-star hotels account for 39.3% (79/201 respondents) and 37.8% (76/201 respondents), respectively, while 5-star hotels account for 22.9% (46/201 respondents). The mid-range segment therefore represents 77.1% (155/201 respondents) of the sample, which reflects the actual structure of star-rated accommodation in Can Tho city, where upper-tier properties remain limited in number.

Regarding gender, female respondents account for 56.2% (113/201 respondents) and male respondents account for 43.8% (88/201 respondents). The gap between the two groups is relatively modest, indicating that hotel stays in this segment are not strongly differentiated by gender.

In terms of age, the 18 - 29 group accounts for the largest proportion at 34.3% (69/201 respondents), followed by the 30 - 39 group at 23.4% (47/201 respondents), the 50 - 59 group at 17.4% (35/201 respondents), the 40 - 49 group at 12.9% (26/201 respondents), and respondents aged 60 and above at 11.9% (24/201 respondents). Taken together, respondents under 40 years old account for 57.7% (116/201 respondents), while those aged 40 and above account for 42.3% (85/201 respondents). The above results are broadly similar to the domestic tourist profile in Can Tho reported by Van et al. (2024), suggesting that the sample is reasonably aligned with the local domestic tourist market. However, this similarity is descriptive in nature and does not imply that the sample is statistically representative of all domestic tourists visiting Can Tho.

With respect to the length of hotel stay, stays of 1 - 2 nights account for 83.6% (168/201 respondents), while stays of 3 - 4 nights and more than 5 nights account for 10.4% (21/201 respondents) and 6.0% (12/201 respondents), respectively. This result is consistent with figures published by the city tourism authority, according to which the average length of stay of tourists in Can Tho is approximately 1.8 days. Given such short service exposure, each touchpoint encountered during the stay carries greater weight in shaping the overall customer experience, as hotels have limited time to compensate for an unfavourable impression.

As for travel type, independent travel accounts for 67.2% (135/201 respondents) and package tours account for 32.8% (66/201 respondents). Independent travellers typically make their own decisions at every stage of the journey, from searching for information and booking to using on-site services, which means they interact with a wider range of hotel touchpoints than tourists travelling on a pre-arranged package.

Finally, in terms of hotel booking channels, booking through a travel company accounts for the highest proportion at 32.8% (66/201 respondents), followed by direct booking with the hotel at 26.9% (54/201 respondents), OTA channels at 17.9% (36/201 respondents), and the hotel's own website at 15.4% (31/201 respondents). Social media, travel agencies, and accommodation applications account for only 3.5% (7/201 respondents), 2.0% (4/201 respondents), and 1.5% (3/201 respondents), respectively.

Notably, the proportion booking through a travel company is identical to the proportion travelling on a package tour (32.8%), which is logically consistent with the travel-type structure described above. When grouped by nature of channel, online channels - including the hotel website, OTA platforms, accommodation applications, and social media - together account for 38.3% (77/201 respondents), while intermediary channels account for 34.8% (70/201 respondents). These results indicate that respondents reach and use hotel services through a variety of channels, ranging from travel intermediaries and direct contact to digital platforms, thereby generating multiple points of contact between customers and hotels even before arrival.

RESPONDENTS' EVALUATION OF CUSTOMER TOUCHPOINTS AND OVERALL CUSTOMER EXPERIENCE IN HOTELS

To describe how domestic tourists perceive each group of customer touchpoints during their hotel stay, mean scores and standard deviations were computed for the six customer touchpoint dimensions as well as for overall customer experience. The details are presented in Table 3 below.

Table 3: Tourists' level of agreement with customer touchpoints and overall experience in hotel accommodation services in Can Tho city

Factors	Mean	Std. Deviation	Level of agreement
Brand-initiated communication	3.07	1.03	Neutral
Environmental stimuli	4.02	0.79	Agree
Customer-to-customer interaction	3.56	0.95	Agree
Technological interfaces	3.89	0.75	Agree
Customer-to-employee interaction	4.20	0.57	Agree
Core service interaction	3.89	0.82	Agree
Overall customer experience	3.77	0.82	Agree

Note: All observed variables measuring the customer touchpoint dimensions and customer experience were measured on a 5-point Likert scale, ranging from 1 (strongly disagree with the statements) to 5 (strongly agree with the statements)
Source: Analysis of survey data from 201 respondents, 2026

The descriptive statistics in Table 3 show that, among the six customer touchpoint dimensions, customer-to-employee interaction recorded the highest mean score of 4.20, which is consistent with research confirming the central role of employees in shaping guests' perceptions in hotels. Specifically, Hartline et al. (2003) concluded that the service performance of frontline employees is the most important factor in the overall hotel service experience. The finding that customer-to-employee interaction was rated the highest in this study is therefore largely consistent with Hartline et al. (2003).

Environmental stimuli ranked second, with a mean score of 4.02. In this regard, Chang & Lin (2022) found that spatial elements, décor, and atmosphere have a positive and significant effect on guests' perceived value and satisfaction, with the first impression upon entering the hotel space exerting the greatest influence on the overall perception of atmosphere. The result that environmental stimuli were rated at the "agree" level in this study is broadly similar to that finding.

Core service interaction (mean = 3.89) and technological interfaces (mean = 3.89) were both rated at the "agree" level. In addition, customer-to-customer interaction (mean = 3.56) was also rated at the "agree" level but ranked second lowest among the six customer touchpoint dimensions, higher only than brand-initiated communication. This result partly reflects comments made by several participants during the survey, who reported that they sometimes felt disturbed by noise from other guests. This finding is consistent with Martin & Pranter (1989), who regarded the presence of other customers in the service setting as a "double-edged sword" - capable of creating both positive experiences (a lively atmosphere and social interaction) and negative ones when behaviour is inappropriate. More specifically, Cai et al. (2018) also identified excessive noise from other customers as one of the most common behaviours negatively affecting the hotel service experience, which closely corresponds to the comments of participants in this study. Most notably, brand-initiated communication recorded a mean score of 3.07 and the highest standard deviation among the six dimensions (1.03), making it the only dimension rated at merely a "neutral" level. The fact that brand-initiated communication received the lowest score and showed the greatest dispersion is consistent with observations made during the survey: most respondents, when asked, reported that they were not clearly aware of how the hotel communicated with them (they did not actively notice it), while some respondents who were aware of it considered the content rather ordinary and lacking a distinctive emphasis. This partly explains the high standard deviation, reflecting substantial variation in the level of awareness across respondents.

Finally, overall customer experience (mean = 3.77) also reached only the "agree" level.

CONCLUSION

The main objective of this study was to describe how domestic tourists staying at 3 - 5-star hotels in Can Tho city perceive the six groups of customer touchpoints proposed by Kim and So (2024), as well as their overall customer experience. The results show that customer-to-employee interaction was the most positively perceived touchpoint (mean = 4.20), reaffirming the central role of frontline staff in shaping guests' impressions, followed by environmental stimuli (mean = 4.02), reflecting the importance tourists place on space, decor, and atmosphere. In contrast, brand-initiated communication was the only dimension rated at merely a "neutral" level (mean = 3.07) and showed the greatest variation among respondents, indicating that many tourists remain largely unaware of how hotels in Can Tho communicate with them. A similar, though less pronounced, pattern was found for customer-to-customer interaction, where noise from other guests was repeatedly mentioned as a source of disturbance.

Given that most respondents stayed for only one to two nights, hotels in Can Tho have a narrow window of time to shape a positive impression, making the weaker touchpoints - particularly brand-initiated communication - a priority area for improvement. Overall customer experience was rated positively but not outstandingly (mean = 3.77), leaving room for hotels to move guests from merely agreeing their experience was good toward genuine enthusiasm.

In short, this study provides early empirical evidence on how the six touchpoint dimensions of the Customer Touchpoints Index (Kim & So, 2024) are perceived in a developing tourism destination such as Can Tho City, an application that has so far remained scarce in the Vietnamese hotel context.

REFERENCES

Becker, L., & Jaakkola, E. (2020). Customer experience: Fundamental premises and implications for research. Journal of the Academy of Marketing Science, 48, 630–648.

Becker, L., Jaakkola, E., & Halinen, A. (2020). Toward a goal-oriented view of customer journeys. Journal of Service Management, 31(4), 767–790.Cai, R. R., Lu, L., & Gursoy, D. (2018). Effect of disruptive customer behaviors on others' overall service experience: An appraisal theory perspective. *Tourism Management*, 69, 330–344. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.06.021

Chang, T. Y., & Lin, Y. C. (2022). The effects of atmosphere on perceived values and customer satisfaction toward the theme hotel: The moderating role of green practice perception. *Sustainability*, 14(15), 9153. https://doi.org/10.3390/su14159153

Clatworthy, S. (2011). Service innovation through touch-points: Development of an innovation toolkit for the first stages of new service development. *International Journal of Design*, 5(2), 15–28.

De Keyser, A., Verleye, K., Lemon, K. N., Keiningham, T. L., & Klaus, P. (2020). Moving the customer experience field forward: Introducing the touchpoints, context, qualities (TCQ) nomenclature. *Journal of Service Research*, 23(4), 433–455. https://doi.org/10.1177/1094670520928390

Hartline, M. D., Wooldridge, B. R., & Jones, K. C. (2003). Guest perceptions of hotel quality: Determining which employee groups count most. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 44(1), 43–52. https://doi.org/10.1177/000183920304400105

He, A.-Z., & Zhang, Y. (2023). AI-powered touch points in the customer journey: A systematic literature review and research agenda. *Journal of Research in Interactive Marketing*, 17(4), 620–639. https://doi.org/10.1108/JRIM-03-2022-0082

Homburg, C., Jozić, D., & Kuehnl, C. (2017). Customer experience management: Toward implementing an evolving marketing concept. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 45(3), 377–401. https://doi.org/10.1007/s11747-015-0460-7

Kim, H., & So, K. K. F. (2024). Customer touchpoints: Conceptualization, index development, and validation. *Tourism Management*, 103, 104881.

Martin, C. L., & Pranter, C. A. (1989). Compatibility management: Customer-to-customer relationships in service environments. *Journal of Services Marketing*, 3(3), 5–15. https://doi.org/10.1108/EUM0000000002488

Nguyen, M. T. (2021). Service quality, customer experience and commitment affecting customer satisfaction in Vietnamese hotel industry. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*, 4(1), 68–75. https://doi.org/10.47191/ijmra/v4-i1-11

Nguyen, T. H., Su, Y.-L., Sann, R., & Le, T. P. T. (2022). Analysis of online customer complaint behavior in Vietnam's hotel industry. *Sustainability*, 14(7), 3770. https://doi.org/10.3390/su14073770

Nguyễn, T. T. V., Nguyễn, T. T., & Trần, H. T. (2024). Ảnh hưởng của các yếu tố rủi ro cảm nhận đến ý định quay trở lại du lịch của du khách nội địa trong bối cảnh du lịch bình thường mới tại thành phố Cần Thơ. *Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp*, 13(9), 23–36. https://doi.org/10.52714/dthu.13.9.2024.1367

Tueanrat, Y., Papagiannidis, S., & Alamanos, E. (2021). Going on a journey: A review of the customer journey literature. *Journal of Business Research*, 125, 336–353. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.12.028

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ANALYSIS OF TOURISTS' EXPERIENCES OF ECOTOURISM AT TRA SU MELALEUCA FOREST, AN GIANG PROVINCE

Yen-Nha Thi NGUYEN
Can Tho University

Dai-Trang Thi PHAM
Can Tho University

My-Thao TRAN
Can Tho University

Tram-Ngoc Thi PHAM
Can Tho University

Y-Huynh LE
Can Tho University

Nam-Khang Tri NGUYEN
Corresponding author. Can Tho University
ORCID: 0000-0001-7361-7560

ABSTRACT
Tra Su Melaleuca Forest, located in An Giang Province, is a renowned ecotourism destination that attracts tourists from across Vietnam. This study aims to analyze tourists' experiences of ecotourism at Tra Su Melaleuca Forest, An Giang Province, based on the Experience Economy Model proposed by Pine and Gilmore, which comprises four dimensions: Entertainment, Education, Escapism, and Esthetics. A convenience sampling method was employed to survey 174 domestic tourists regarding their demographic characteristics, including gender, age group, educational level, and employment status. Descriptive statistical analysis was used to provide a basis for further examination of tourists' ecotourism experiences at the destination. Cronbach's alpha reliability analysis was conducted to eliminate observed variables that did not contribute significantly to the constructs being measured, thereby ensuring the internal consistency of the remaining items in the scales before proceeding with subsequent analyses. The findings indicate that tourists highly rated the Escapism dimension. However, the Education and Entertainment dimensions received relatively low ratings. The study highlights the need to enhance the educational value of ecotourism experiences and proposes management solutions that prioritize improving the educational experience and raising tourists' awareness of nature and the environment.
Keywords: Ecotourism, tourist experience, tourists, melaleuca forest, environment.

INTRODUCTION
Tra Su Melaleuca Forest is a wetland ecosystem of high value in terms of biodiversity, landscape, and ecological significance, and is also a prominent ecotourism destination in An Giang Province. As ecotourism has received increasing attention, utilizing natural resources while ensuring environmental conservation and local community benefits has become an important requirement for sustainable tourism development.

This is also consistent with the tourism development orientation of An Giang Province, which emphasizes the protection of natural resources and the environment, as well as the promotion of natural and cultural values in association with the interests of local communities (An Giang Provincial E-Portal, 2024).

However, the ecosystem of Tra Su Melaleuca Forest continues to face threats that may affect biodiversity and habitat quality, including habitat changes, resource exploitation, and the invasion of non-native plant species (Buckton et al., 1999). In this context, the development of ecotourism should not focus solely on the number of visitors but also place greater emphasis on the quality of their experiences, as positive tourism experiences can contribute to enhancing visitors' awareness of conservation, satisfaction, and support for the protection of destination resources.

Although Tra Su Melaleuca Forest has attracted considerable visitor interest and plays an important role in the development of ecotourism in An Giang Province, research on visitors' ecotourism experiences at this destination remains limited. This research gap highlights the need for empirical research to identify and assess visitors' experiences, thereby providing a scientific basis for improving tourism product quality, conserving natural resources, and promoting sustainable ecotourism development.

Therefore, the study entitled "An Analysis of Visitors' Experiences of Ecotourism at Tra Su Melaleuca Forest, An Giang Province" was conducted to provide empirical evidence on visitors' experiences at the destination and to propose appropriate solutions to enhance visitor experiences, strengthen conservation values, and contribute to the sustainable development of ecotourism at Tra Su Melaleuca Forest and in An Giang Province.

LITTERATURE REVIEW

Concept of Tourism Experience and the 4Es Model

Tourism experience is a multidimensional concept that reflects what visitors perceive, think, feel, and do during their interactions with a destination. Cohen (1979) approached tourism experience from a phenomenological perspective, arguing that experiences exist along a continuum, with varying degrees of familiarity, novelty, and depth depending on the meanings that visitors attribute to their journeys. Aho (2001) also emphasized the holistic nature of experience, encompassing individuals' mental, emotional, and interactive dimensions.

In contemporary tourism research, memorable tourism experience has increasingly been recognized as an important concept, emphasizing visitors' subjective and emotional responses (Kladou & Mavragani, 2015). Kim et al. (2012) suggested that experiences are shaped by core factors associated with visitors' behavioral, emotional, and cognitive responses at destinations. Among the various approaches, the Experience Economy model proposed by Pine and Gilmore (1998) provides an appropriate framework for assessing visitor experiences through four realms, commonly referred to as the 4Es: Entertainment, Education, Escapism, and Esthetics. These four realms are structured along two dimensions: the degree of visitor participation (passive–active) and the extent to which visitors are connected to the experience (absorption–immersion). The model emphasizes that valuable experiences are formed through the combination of multiple realms of experience rather than through a single dimension alone.

In the context of ecotourism at Tra Su Melaleuca Forest, the 4Es model is highly applicable because it captures the distinctive forms of visitor experience, ranging from appreciating the natural landscape (Esthetics), learning about the ecosystem (Education), becoming immersed in the natural environment (Escapism), to participating in exploration and recreational activities (Entertainment).

Compared with Cohen's approach, which focuses more on the degree of unfamiliarity and the sociocultural meanings of experience, the 4Es model provides more direct support for identifying and measuring the components of visitor experience at a destination. Several empirical studies have also demonstrated the applicability of this model to research on tourism experiences and visitor behavior (Oh et al., 2007; Mehmetoglu & Engen, 2011). Therefore, this study adopts Pine and Gilmore's (1998) 4Es model as the primary theoretical framework for analyzing visitors' ecotourism experiences at Tra Su Melaleuca Forest.

METHODOLOGY

The study employed a non-probability convenience sampling method, with 174 domestic tourists surveyed at Tra Su Melaleuca Forest in 2026. The research focused on domestic tourists' ecotourism experiences at Tra Su Melaleuca Forest, examined in relation to demographic characteristics, including gender, age group, educational level, and occupation. The focus on domestic tourists was based on their accessibility as a sample group and their travel needs and behavioral characteristics, particularly their potential concerns regarding factors such as cost, service quality, and experiences with family members (Hong et al., 2002; An et al., 2019; Vu, 2023). With 174 valid observations, the collected data provided a basis for analyzing and evaluating various aspects of domestic tourists' ecotourism experiences at the destination.

The study employed statistical methods to analyze and evaluate visitors' experiences at Tra Su Melaleuca Forest. Descriptive statistics were used to determine the mean, minimum, maximum, and standard deviation of the variables, thereby assessing central tendencies and data dispersion, as well as checking the plausibility of the data before conducting further analyses. Cronbach's alpha reliability analysis was conducted to assess the internal consistency of the measurement scales and to identify and remove inappropriate observed variables. A scale was considered reliable when Cronbach's alpha was 0.70 or higher, while a value of 0.60 or higher could be accepted in exploratory research. The item–total correlation was also examined, with a threshold of 0.30 (Tavakol & Dennick, 2011). The Independent Samples t-test was employed to determine whether there were statistically significant differences in experience evaluations between two groups of visitors, such as groups classified by gender or trip organization method. One-way Analysis of Variance (ANOVA) was used to examine differences in experience evaluations among three or more groups based on demographic characteristics and trip-related information, including age, marital status, number of visits to the destination, and trip organization method. The analyses focused on the four realms of experience in the 4Es model, namely Education, Entertainment, Escapism, and Esthetics, thereby clarifying differences among visitor groups and providing a scientific basis for proposing solutions to enhance ecotourism experiences at Tra Su Melaleuca Forest.

RESULT

* GENERAL CHARACTERISTICS OF RESPONDENTS

To ensure the quality and representativeness of the collected data, the research team surveyed 200 tourists who visited Tra Su Melaleuca Forest, An Giang Province, to explore and experience its ecotourism activities. A total of 174 valid observations were obtained.

Table 1. Description of Respondent Characteristics

Characteristics	**Number of Respondents**	**Percentage (%)**
Gender		
Female	90	51.7%
Male	84	48.3%
Marital Status		
Single	98	56.3%
Married (without children)	12	6.9%
Married (with children)	62	35.6%
Other	2	1.1%
Age Group		
18 - 24 years	56	32.2%
25 - 39 years	56	32.2%
40 - 55 years	38	21.8%
Trên 55 years	24	13.8%
Educational Level		
High school	48	27.6%
Vocational or professional training	9	5.2%
College or university	107	61.5%
Other	10	5.7%
Occupation		
Civil servants and public employees	55	31.6%
Professionals (engineers, bachelor's degree holders, doctors, workers, etc.)	68	39.1%
Producers, business owners, and farmers	32	18.4%
Retirees	19	10.9%
Average Monthly Income		
Below VND 10 million	82	47.1%
Over VND 10 million to VND 15 million	40	23.0%
Over VND 15 million to VND 20 million	23	13.2%
Over VND 20 million to VND 30 million	12	6.9%
Over VND 30 million to VND 40 million	4	2.3%
Over VND 40 million	13	7.5%

Among the 174 respondents, the gender distribution was relatively balanced, with females accounting for 51.7% and males accounting for 48.3%. This distribution is consistent with the significant role of women in destination choice, travel planning, and keeping up with tourism trends (Skift Research, 2024). In terms of age, 64.4% of the respondents were between 18 and 39 years old. Meanwhile, single respondents accounted for 56.3% of the sample, representing a group that may have greater flexibility in terms of travel time and choice of experiences. In contrast, respondents aged over 55 accounted for only 13.8% and tended to prefer more traditional destinations (Boley, 2026). Regarding educational attainment, 61.5% of the respondents had a college or university education. This is consistent with the characteristics of visitors who may have greater access to information and higher awareness of environmental issues (Gültekin & Gültekin, 2017). The educational profile was also reflected in the occupational structure, with professionals and civil servants/public employees accounting for 70.7% of the respondents, representing groups with relatively stable employment and income.

In terms of income, 83.3% of the respondents reported a monthly income below VND 20 million, with those earning below VND 10 million accounting for 47.1%. This indicates that a large proportion of respondents may tend to select experiences that are compatible with their spending capacity, while higher-income visitors may place greater emphasis on product and service quality as well as experiential value (Struwig & Du Preez, 2024). Overall, the sample was predominantly composed of young and single visitors with relatively high educational attainment, stable occupations, and moderate income levels. These characteristics provide an overview of the demographic profile of domestic visitors participating in ecotourism activities at Tra Su Melaleuca Forest.

*** OVERVIEW OF RESPONDENTS' TRAVEL INFORMATION**

In this study, data on respondents' travel information were collected from 174 tourists visiting Tra Su Melaleuca Forest in June 2026. The collected information is presented in the figures below.

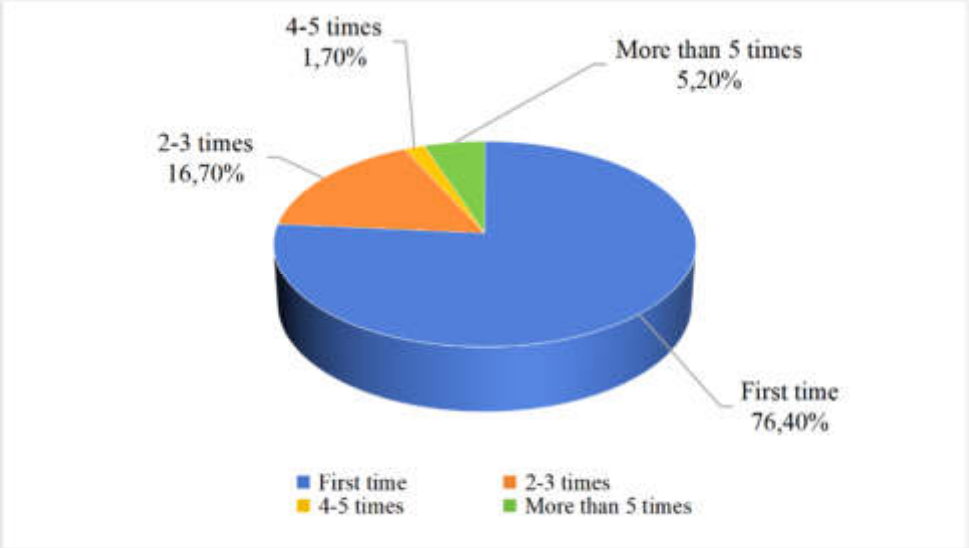


Figure 1. Number of Visits to Tra Su Melaleuca Forest by Respondents
Source: Survey results from 174 respondents, 2026

Regarding the number of visits to Tra Su Melaleuca Forest, first-time visitors accounted for the highest proportion (76.4%), followed by those who had visited two to three times (16.7%). Meanwhile, respondents who had visited four to five times and more than five times accounted for 1.7% and 5.2%, respectively. These findings indicate that the destination has the potential to attract new visitors, while the proportion of repeat visitors remains relatively limited. According to Dung (2023), revisit intention is influenced by emotions, satisfaction, attitudes, previous experiences, destination perceptions, and memorable tourism experiences. Similarly, Vinh (2023) argued that the success of a destination depends on the attractiveness of its resources, service quality, and various other related factors. Therefore, Tra Su Melaleuca Forest should continue to improve the quality of visitor experiences and promote the destination's distinctive values in order to enhance visitor satisfaction and encourage revisit intentions.

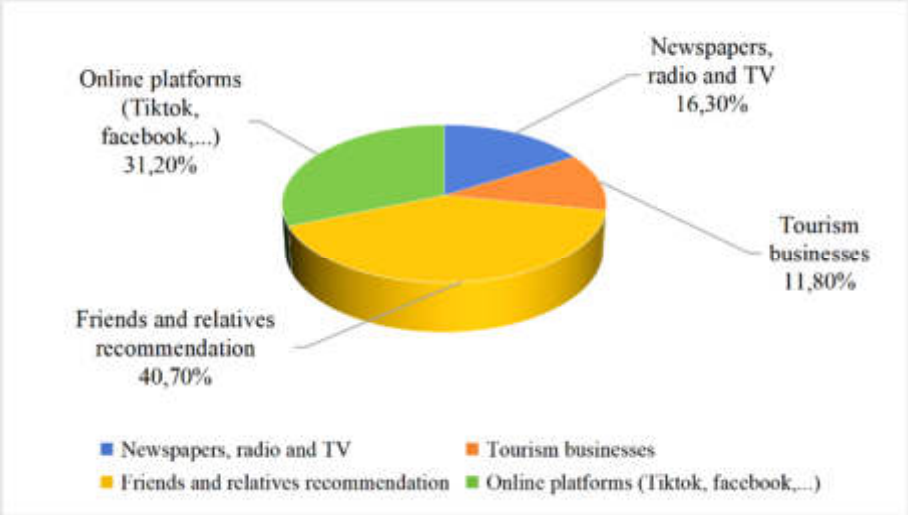


Figure 2. Information Sources Used by Respondents to Learn About Tra Su Melaleuca Forest
Source: Survey results from 174 respondents, 2026

The survey results show that visitors primarily learned about Tra Su Melaleuca Forest through friends and relatives (40.7%) and online platforms (31.2%), followed by newspapers and television/radio (16.3%) and tourism businesses (11.8%). These findings highlight the prominent role of word-of-mouth (WOM) in destination promotion, owing to its perceived credibility, two-way interaction, and ability to provide information about actual travel experiences (Chi et al., 2013; Shisavar et al., 2012). At the same time, electronic word-of-mouth (eWOM) has become increasingly important due to its rapid dissemination and broad reach, contributing to the formation of visitors' destination images and attitudes (Huong et al., 2023). Therefore, Tra Su Melaleuca Forest should integrate WOM and eWOM by encouraging visitors to share and review their experiences and strengthening its presence on online platforms to enhance the effectiveness of destination promotion.

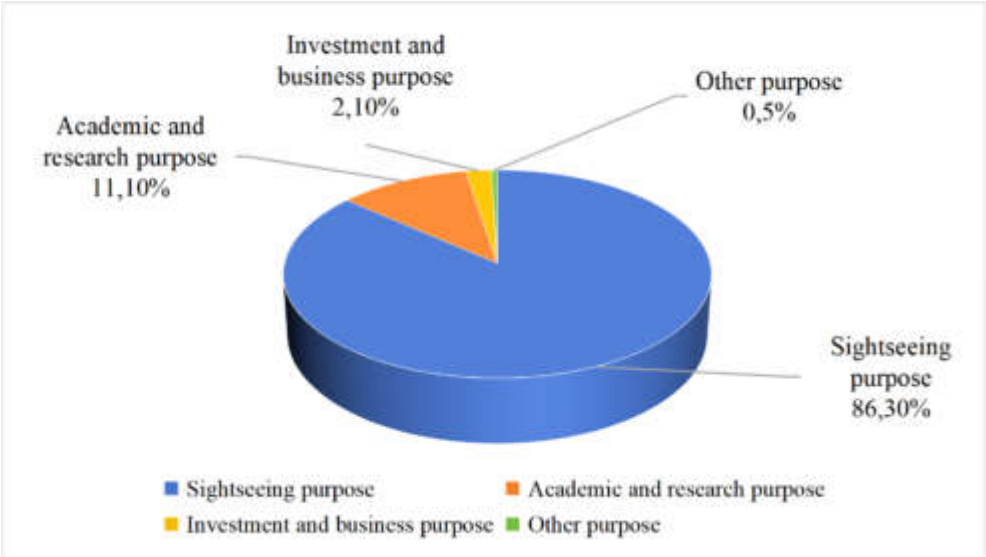


Figure 3. Purpose of the Trip to Tra Su Melaleuca Forest by Respondents
Source: Survey results from 174 respondents, 2026

The survey results show that sightseeing was the primary purpose of visitors to Tra Su Melaleuca Forest (86.3%), followed by study and research (11.1%), while investment, business, and other purposes accounted for very small proportions. This distribution indicates that visitors' needs are primarily oriented toward sightseeing, recreation, experiencing, and exploring new values at the destination, which is consistent with the findings of Dinh et al. (2009) that tourism needs arise from the desire to seek new experiences, knowledge, and emotions, while also providing mental relaxation and comfort.

Forms of tourism organization	Frequency	Percent (%)
Self-guided travel	141	81.0%
Guided tour	33	19.0%
Total	174	100.0%

Table 2. Travel Arrangement of Respondents
Source: Survey results from 174 respondents, 2026

The survey results show that independent travel was predominant (81.0%), while guided tours accounted for only 19.0%. This finding indicates that visitors tend to value flexibility, autonomy, and freedom in their travel experiences, which is consistent with Alexandra (2025), who suggested that travel preferences are influenced by factors such as flexibility, safety, cultural experiences, and convenience. In particular, independent travel is suitable for visitors seeking comfort and more authentic experiences.

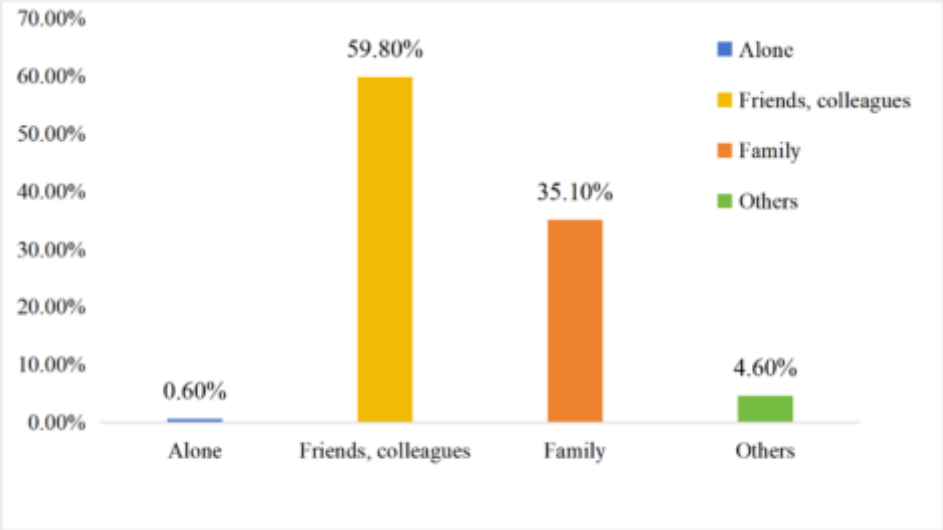


Figure 4. Travel Companions of Respondents Visiting Tra Su Melaleuca Forest
Source: Survey results from 174 respondents, 2026

The survey results show that 59.8% of visitors traveled with friends or colleagues, while 35.1% traveled with family members, whereas only 0.6% traveled alone. Thus, 94.9% of visitors experienced the destination in groups. This form of travel may influence visitors' experiences through group interaction and shared experiences, as traveling with others can provide a sense of safety, support activity selection, facilitate cost sharing, and encourage emotional exchanges during the visit. At the same time, the reactions and preferences of group members may influence decisions regarding activity selection, length of stay, and spending, thereby shaping how individuals perceive and evaluate their experiences (Horner & Swarbrooke, 2020).

Given this characteristic, Tra Su Melaleuca Forest should focus on activities that emphasize interaction, exploration, and shared experiences, thereby enhancing the experiential value for groups of friends, colleagues, and families.

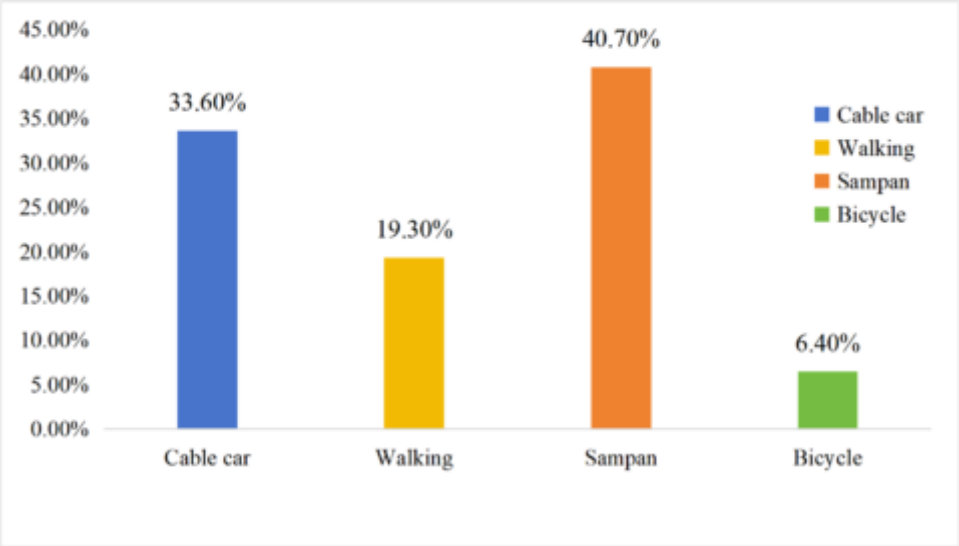


Figure 5. Means of Transportation Used by Respondents at Tra Su Melaleuca Forest
Source: Survey results from 174 respondents, 2026

The results show that water-based transportation was predominant, with three-leaf boats accounting for 40.7% and motorized boats (*tắc ráng*) accounting for 33.6%, followed by walking (19.3%) and cycling (6.4%). This finding is consistent with the characteristics of Tra Su Melaleuca Forest as a wetland ecosystem with high biodiversity value and a conservation-oriented approach (Buckton et al., 1999). Specifically, three-leaf boats provide visitors with an opportunity to connect closely with nature and explore the destination's distinctive ecosystem, while motorized boats meet the need for faster transportation and deeper access into the forest. Walking allows visitors to observe the landscape, take photographs, and enjoy the natural environment, whereas cycling serves as an additional option for the sightseeing journey.

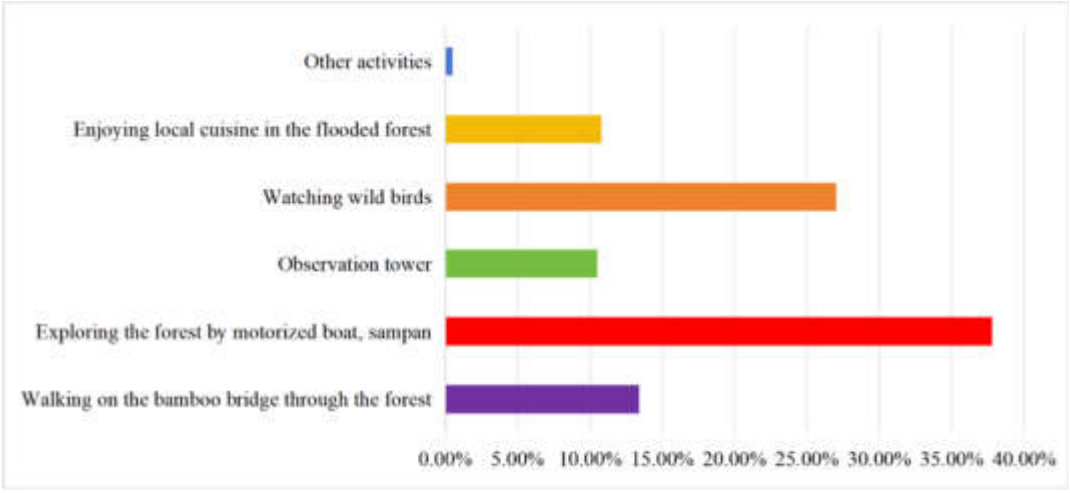


Figure 6. Respondents' Favorite Activities at Tra Su Melaleuca Forest
Source: Survey results from 174 respondents, 2026

The survey results show that traveling by motorized boat and three-leaf boat was the most frequently selected activity (37.8%), followed by observing wild birds (27.0%), walking across the bamboo bridge through the forest (13.4%), enjoying traditional local cuisine (10.8%), and visiting the observation tower (10.5%). These findings indicate that visitors primarily prioritize activities associated with exploring the landscape and wetland ecosystem, with water-based experiences and nature observation playing a prominent role. Culinary activities, bamboo-bridge walks, and sightseeing further diversify the overall experience by combining sightseeing, relaxation, and exploration of local culture.

*** RELIABILITY ANALYSIS OF THE EXPERIENCE SCALE**

In this study, visitors' experiences of ecotourism at Tra Su Melaleuca Forest were measured using 16 observed variables across four scale dimensions. Cronbach's Alpha reliability analysis was conducted to assess the internal consistency of the measurement scales and to identify and remove inappropriate observed variables before conducting further analyses.

Table 3. Reliability Analysis of the Entertainment–Passive Absorption Scale at Tra Su Melaleuca Forest

Code	Criteria	Corrected Item–Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
Cronbach's Alpha for the Entertainment Scale = 0.854			
GT1	Tra Su Melaleuca Forest provides a unique experience.	0.688	0.818
GT2	The activities at Tra Su Melaleuca Forest are very enjoyable.	0.709	0.808
GT3	The activities at Tra Su Melaleuca Forest help relieve stress.	0.693	0.815
GT4	I feel positively stimulated emotionally at Tra Su Melaleuca Forest.	0.695	0.814

The reliability analysis indicates that the Entertainment–Passive Absorption scale at Tra Su Melaleuca Forest meets all reliability requirements. Specifically, the observed variables GT1, GT2, GT3, and GT4 all meet the required criteria, with corrected item–total correlations ranging from 0.688 to 0.709 (>0.3). In addition, the Cronbach's Alpha coefficient is 0.854 (>0.6), indicating a high level of internal consistency and good reliability of the scale.

Table 4. Reliability Analysis of the Education–Active Absorption of Knowledge Scale at Tra Su Melaleuca Forest

Code	Criteria	Corrected Item–Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
Cronbach's Alpha for the Education Scale = 0.853			
GD1	The experience at Tra Su Melaleuca Forest enhances my knowledge of nature.	0.617	0.845
GD2	The experience at Tra Su Melaleuca Forest stimulates my curiosity and desire to learn new things.	0.804	0.767
GD3	The experience at Tra Su Melaleuca Forest provides me with valuable knowledge.	0.779	0.778
GD4	The experience at Tra Su Melaleuca Forest helps me develop my personal skills.	0.593	0.857

The Cronbach's Alpha reliability analysis shows that all observed variables of the Education–Active Absorption of Knowledge scale at Tra Su Melaleuca Forest—GD1, GD2, GD3, and GD4—meet the required criteria, with corrected item–total correlations ranging from 0.593 to 0.804 (>0.3). The Cronbach's Alpha coefficient is 0.853 (>0.6), indicating a high level of internal consistency and good reliability of the scale.

Table 5. Reliability Analysis of the Escapism–Active Immersion Scale at Tra Su Melaleuca Forest

Code	Criteria	Corrected Item–Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
Cronbach's Alpha for the Escapism Scale = 0.854			
TL1	I feel as if I am living in a different time and space when visiting Tra Su Melaleuca Forest.	0.698	0.813
TL2	Visiting Tra Su Melaleuca Forest allows me to escape the crowds and the hustle and bustle of everyday life.	0.715	0.805
TL3	Visiting Tra Su Melaleuca Forest helps me forget the pressures of everyday life.	0.651	0.832
TL4	I forget my daily routines and focus on the present moment at Tra Su Melaleuca Forest.	0.716	0.805

Based on the analysis results, all observed variables TL1, TL2, TL3, and TL4 in the Escapism–Active Immersion scale at Tra Su Melaleuca Forest meet the required criterion for corrected item–total correlation (>0.3), ranging from 0.651 to 0.716. In addition, the Cronbach's Alpha coefficient is 0.854 (>0.6), indicating a high level of internal consistency and good reliability of the scale.

Table 6. Reliability Analysis of the Esthetics–Passive Immersion Scale at Tra Su Melaleuca Forest

Code	Criteria	Corrected Item–Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
Cronbach's Alpha for the Esthetics Scale = 0.847			
TM1	Simply being at Tra Su Melaleuca Forest gives me a very pleasant feeling.	0.681	0.807
TM2	I find the surroundings at Tra Su Melaleuca Forest very harmonious.	0.696	0.801
TM3	The setting at Tra Su Melaleuca Forest truly reflects careful attention to detail.	0.637	0.828
TM4	The surroundings at Tra Su Melaleuca Forest provide a relaxing experience for my senses.	0.730	0.787

The Cronbach's Alpha reliability analysis results presented in the table indicate that all four observed variables, TM1, TM2, TM3, and TM4, in the Esthetics–Passive Immersion scale at Tra Su Melaleuca Forest meet the required criteria, with corrected item–total correlations ranging from 0.637 to 0.730 (>0.3). The Cronbach's Alpha coefficient is 0.847 (>0.6), indicating a high level of internal consistency and good reliability of the scale.

*** ANALYSIS OF TOURISTS' EVALUATIONS OF THE EXPERIENCE SCALE**

The study employed descriptive statistical analysis based on a survey of 174 respondents to assess tourists' actual experiences across the four dimensions of the experience scale at Tra Su Melaleuca Forest, An Giang Province. Using a five-point Likert scale, with a threshold of Agree ≥ 3.41, the descriptive statistics indicate that tourists' overall experiences were positive. However, the evaluation scores varied considerably across the criteria, with mean values ranging from 3.49 (Agree) to 4.22 (Strongly Agree). These findings indicate that Tra Su Melaleuca Forest has several core strengths in terms of the ecotourism experience, providing a basis for further in-depth analysis.

Table 7. Mean Scores of the Entertainment Criteria Evaluating Tourists' Experiences

Code	Criteria	Mean Value	Level
Entertainment–Passive Absorption at Tra Su Melaleuca Forest			
GT1	Tra Su Melaleuca Forest provides a unique experience.	4.03	Agree
GT2	The activities at Tra Su Melaleuca Forest are very enjoyable.	3.89	Agree
GT3	The activities at Tra Su Melaleuca Forest help relieve stress.	4.22	Strongly Agree
GT4	I feel positively stimulated emotionally at Tra Su Melaleuca Forest.	4.01	Agree

As shown in Table 7, the Entertainment–Passive Absorption scale at Tra Su Melaleuca Forest shows relatively consistent evaluations across the criteria, with mean scores ranging from 3.89 to 4.22.

The criterion with the highest mean score is "The activities at Tra Su Melaleuca Forest help relieve stress," with a mean score of 4.22, reaching the "Strongly Agree" level. This finding suggests that the wetland ecosystem of Tra Su Melaleuca Forest plays an important role in providing visitors with relaxing experiences and helping them relieve stress, thereby contributing to their sense of entertainment during their visit. This distinctive experiential value may contribute to the destination's attractiveness and differentiate it from other destinations. Although slight differences exist among the observed variables, all mean scores remain at positive levels, ranging from "Agree" to "Strongly Agree," indicating generally positive evaluations of the entertainment experience among visitors.

Table 8. Mean Scores of the Education Criteria Evaluating Tourists' Experiences

Code	Criteria	Mean Value	Level
Education–Active Absorption of Knowledge at Tra Su Melaleuca Forest			
GD1	The experience at Tra Su Melaleuca Forest enhances my knowledge of nature.	4.04	Agree
GD2	The experience at Tra Su Melaleuca Forest stimulates my curiosity and desire to learn new things.	3.80	Agree
GD3	The experience at Tra Su Melaleuca Forest provides me with valuable knowledge.	3.76	Agree
GD4	The experience at Tra Su Melaleuca Forest helps me develop my personal skills.	3.49	Agree

The Education–Active Absorption of Knowledge scale at Tra Su Melaleuca Forest, as presented in the table, has mean scores ranging from 3.49 to 4.04, indicating that respondents generally rated all criteria at the "Agree" level. The criterion "The experience at Tra Su Melaleuca Forest enhances my knowledge of nature" received the highest mean score of 4.04, suggesting that the destination has effectively promoted its educational value by helping visitors enhance their awareness and acquire new knowledge about nature. In contrast, the criterion "The experience at Tra Su Melaleuca Forest helps me develop my personal skills" received the lowest mean score of 3.49, although it still reached the "Agree" level. Overall, tourists maintained positive evaluations of the destination's ability to support personal skill development through ecotourism experiences and exploration.

Table 9. Mean Scores of the Escapism Criteria Evaluating Tourists' Experiences

Code	Criteria	Mean Value	Level
Escapism–Active Immersion at Tra Su Melaleuca Forest			
TL1	I feel as if I am living in a different time and space when visiting Tra Su Melaleuca Forest.	4.01	Agree
TL2	Visiting Tra Su Melaleuca Forest allows me to escape the crowds and the hustle and bustle of everyday life.	4.15	Agree
TL3	Visiting Tra Su Melaleuca Forest helps me forget the pressures of everyday life.	4.05	Agree
TL4	I forget my daily routines and focus on the present moment at Tra Su Melaleuca Forest.	4.04	Agree

As shown in Table 9, the Escapism–Active Immersion scale at Tra Su Melaleuca Forest has mean scores ranging from 4.01 to 4.15, indicating that tourists generally "Agree" with the statements regarding the escapism experience at the destination. Among the criteria, "Visiting Tra Su Melaleuca Forest allows me to escape the crowds and the hustle and bustle of everyday life" received the highest mean score of 4.15, reflecting that most tourists clearly perceive the destination as a quiet and relatively secluded space away from the fast-paced urban lifestyle. The remaining criteria also received relatively high and consistent mean scores, including "I feel as if I am living in a different time and space when visiting Tra Su Melaleuca Forest" (4.01), "Visiting Tra Su Melaleuca Forest helps me forget the pressures of everyday life" (4.05), and "I forget my daily routines and focus on the present moment at Tra Su Melaleuca Forest" (4.04). These findings suggest that Tra Su Melaleuca Forest not only meets visitors' needs for entertainment and education but also provides opportunities for visitors to actively immerse themselves in the natural environment and temporarily escape from everyday pressures. This escapism experience may therefore be an important factor contributing to visitors' interest in visiting and experiencing Tra Su Melaleuca Forest.

Table 10. Mean Scores of the Esthetics Criteria Evaluating Tourists' Experiences

Code	Criteria	Mean Value	Level
Esthetics–Passive Immersion at Tra Su Melaleuca Forest			
TM1	Simply being at Tra Su Melaleuca Forest gives me a very pleasant feeling.	4.15	Agree
TM2	I find the surroundings at Tra Su Melaleuca Forest very harmonious.	4.16	Agree
TM3	The setting at Tra Su Melaleuca Forest truly reflects careful attention to detail.	3.75	Agree
TM4	The surroundings at Tra Su Melaleuca Forest provide a relaxing experience for my senses.	4.17	Agree

The "Esthetics – Passive immersion at Tra Su Melaleuca Forest" scale is presented in the table, with mean scores ranging from 3.75 to 4.17, indicating that the respondents generally rated all items at the "Agree" level. This result suggests that the respondents had positive perceptions of the aesthetic value of the destination. The item "The environment at Tra Su Melaleuca Forest provides a relaxing experience for my senses" received the highest mean score of 4.17. This finding indicates that the destination effectively delivers aesthetic value through its natural landscape and environment, which provide tourists with a strong sense of relaxation and sensory enjoyment. In contrast, the item "The experience at Tra Su Melaleuca Forest helps me improve my personal skills" received the lowest mean score of 3.75. Although this item was still rated at the "Agree" level, the respondents perceived its contribution to personal skill development to a relatively lesser extent compared with the other items in the scale.

CONCLUSION

Based on the Experience Economy model proposed by Pine and Gilmore, this study developed a scale to measure ecotourism experiences comprising four dimensions: Entertainment, Education, Escapism, and Esthetics. The descriptive statistics indicate that Escapism and Aesthetics received the highest ratings from tourists, followed by Entertainment, while Education received the lowest rating.

These findings suggest that the natural landscape and environment play a prominent role in creating positive tourist experiences, while also highlighting the need to strengthen environmental education activities at the destination. The t-test results revealed no statistically significant differences in the four experience dimensions by gender or trip organization type ($p > 0.05$). Meanwhile, the ANOVA results indicated statistically significant differences in tourist experiences across age groups and marital status. Specifically, age and marital status were associated with differences in tourists' perceptions of the four dimensions of Entertainment, Education, Escapism, and Aesthetics. Overall, the findings support the applicability of the 4Es model in analyzing ecotourism experiences at Tra Su Melaleuca Forest. From a practical perspective, destination managers should prioritize enhancing the Education dimension, particularly by strengthening environmental education content and activities, while maintaining and promoting the values of Escapism, Aesthetics, and Entertainment to improve the overall quality of tourist experiences and enhance the destination's ability to attract and retain visitors.

REFERENCE

Cohen, E. (1979). *A phenomenology of tourist experiences.* Sociology, 13(2), 179–201 https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/003803857901300203.

Cohen, E. (1972). *"Toward a Sociology of International Tourism". Social Research.* https://tourismteacher.com/cohens-tourist-typology-types-of-tourists/?referrer=grok.com#5-cohens-tourist-typology-4-types-of-tourists-.

Seppo K. Aho (2001), Towards a general theory of touristic experiences: Modelling experience process in tourism,56 (3-4): 33–37. https://www.emerald.com/tr/article-abstract/56/3-4/33/377115/Towards-a-general-theory-of-touristic-experiences?redirectedFrom=fulltext.

Kladou, S., & Mavragani, E. (2015). Assessing destination image: An online marketing approach and the case of TripAdvisor. *Journal of Destination Marketing and Management*, 4(3), 187–193.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212571X15000220?via%3Dihub.

Kim, J.-H., Ritchie, J. R. B., & McCormick, B. (2012). Development of a scale to measure memorable tourism experiences. *Journal of Travel Research*, 51(1), 12–25.

https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0047287510385467.

Pine, B. J., II, & Gilmore, J. H. (1998). Welcome to the Experience Economy. *Harvard Business Review*, 76(4), 97–105. https://hbr.org/1998/07/welcome-to-the-experience-economy?referrer=grok.com.

Phan Nguyen Hong, Quan Thi Quynh Dao, và Le Kim Thoa. (2002). Ecotourism in Vietnam: Potential and reality. Kyoto Review of Southeast Asia, (2). *Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University.* https://kyotoreview.org/issue-2-disaster-and-rehabilitation/ecotourism-in-vietnam-potential-and-reality/?referrer.

Le Thanh An, Markowski, J., Bartos, M., Rzenca, A., & Namiecinski, P. (2019). *An evaluation of destination attractiveness for nature-based tourism: Recommendations for the management of national parks in Vietnam. Nature Conservation, 32, 51–80.* https://natureconservation.pensoft.net/article/30753/.

Ly Phuong Vu. (2023). *Understanding tourists' decisions for eco-tourism in Vietnam. Thammasat University.* https://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2023/TU_2023_6502043075_18215_27886.pdf?referrer.

Skift Research. (2024). *The woman traveler: A guide for hospitality and tourism brands*. Skift. https://skift.com/insight/the-woman-traveler/

Constanza Bianchi. (2016). Solo holiday travellers: Motivators and drivers of satisfaction and dissatisfaction. International Journal of Tourism Research, 18(2), 197–208. https://eprints.qut.edu.au/84487/1/Solo%20Holiday%20Travellers%20_Motivations%20and%20Drivers%20of%20Satisfaction%20and%20Dissatisfaction%20%28Final%20Revision%20150415%29.pdf

B. Bynum Boley, et al (2026). Social return and travel intentions: The moderating role of generational cohorts. Current Issues in Tourism. Advance online publication.

https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/13683500.2026.2669626

Pınar Gültekin & Yaşar Selman Gültekin, Y. S. (2017). Determining young people's attitudes towards ecotourism activities: Example of Duzce University students. In Proceedings of the 1st International Sustainable Tourism Congress. Kastamonu University, Faculty of Tourism.

World Tourism Organization. (2016). Manual on Accessible Tourism for All: Principles, Tools and Best Practices. UNWTO. https://doi.org/10.18111/9789284418077

Jare Struwig & Elizabeth A. du Preez. (2024). The effect of income on the relationship between travel motives and destination choices. South African Journal of Economic and Management Sciences, 27(1), a5286.

https://sajems.org/index.php/sajems/article/view/5286/3035

Nguyễn Xuân Vinh. (2023). *Kiểm định sự khác biệt giữa tham quan lần đầu và tái tham quan điểm đến Đà Nẵng - Nghiên cứu trường hợp khách du lịch nội địa. https://jst.tnu.edu.vn/jst/article/view/7776*

Hoàng Lệ Chi & Nguyễn Thị Minh An. (2013). *Tác động của hiệu quả truyền thông lên lời nói truyền miệng - Nghiên cứu trường hợp khách hàng là thuê bao điện thoại di động* https://ktpt.neu.edu.vn/Uploads/Bai%20bao/2013/So%20197/372972.pdf

Fitzgerald Bone, Paula. (1992). *Determinants of word-of-mouth communication during product consumption* . https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A16%3A17410896/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Acrawler-gcd&id=ebsco%3Agcd%3A9301106583&crl=c&jrnl=00989258&link_origin=scholar.google.com

Marsch L.Richins. (1983). *Negative Word-of-Mouth by Dissatisfied Consumers: A Pilot Study* .https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/002224298304700107

Hsiao - Ching Kuo & Chinintorn Nakhata. (2019). *The impact of word of mouth on customer perception and satisfaction.* https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10696679.2019.1615840?scroll=top&needAccess=true

Horner, S. and Swarbrooke, J. (2007). *Consumer Behaviour in Tourism.* https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781000290790_A40689877/preview-9781000290790_A40689877.pdf

Buckton et al (1999). *The Conservation of Key Wetland Sites in the Mekong Delta. https://data.opendevelopmentmekong.net/dataset/fd1e8de3-f284-4466-b72e-0232a02b5728/resource/da53ec24-ee67-461a-a953-5b8754be6fef/download/report12.pdf*

Marčišová, A. (2025). . *Exploring Travelers' Preferences: A Comparative Analysis of Independent Vs. Guided Travel Experiences in Iceland* https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/890148/Marcisova_Alexandra.pdf;jsessionid=91408F0626B027BF40D4DD086B279070?sequence=2

Nguyễn Thị Hoài Dung & Trần Thị Thu Huyền. (2023). *Tác động của quy mô nhóm du lịch tới mối quan hệ giữa trải nghiệm du lịch đáng nhớ và ý định quay lại điểm đến của khách du lịch nội địa trong du lịch cộng đồng ở Việt Nam.* http://js.ktpt.edu.vn/index.php/jed/article/view/1105/371

Nguyễn Văn Đính và Trần Thị Minh Hòa, (2009). *Giáo trình kinh tế du lịch. Nhà xuất bản đại học kinh tế quốc dân. Hà Nội, 371 trang.* https://dulich.tnus.edu.vn/uploads/files/Van-ban/Giao%20trinh%20Kinh%20te%20Du%20lich%20-%20GS_TS_%20Nguyen%20Van%20Dinh%2C%20TS_%20TRan%20Thi%20Minh%20Hoa_116253.pdf

Nguyễn Võ Châu Ngân, Lê Văn Dũ & Kim Lavane (2023). *Phân tích hiện trạng kinh tế - xã hội địa hỗ trợ phát triển du lịch sinh thái bền ở Rừng tràm Trà Sư, tỉnh An Giang.* https://tapchikhoahoc.nnmt.net.vn/index.php/vjae/article/view/1537/142

Lê Quốc Tuấn, Nguyễn Thị Hà Vy & Bùi Xuân An Khoa (2010). *Nghiên cứu và định hướng phát triển du lịch sinh thái tại Rừng tràm Trà Sư.* https://www2.hcmuaf.edu.vn/data/quoctuan/Bai%20bao%203%20_Khoa%20MT-TN_.pdf

Joseph F. Hair, et al (1998). Multivariate data analysis (5th ed.). Prentice Hall.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ASSESSING LOCAL READINESS TO ATTRACT FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN THE DIGITAL ECONOMY: THE CASE OF DA NANG, VIETNAM

Dr. Dang VINH
Vietnam - Korea University of Information and Communication Technology, The University of Danang
ORCID: 0000-0002-1176-8248

Dr. Phan Thi YEN
University of Foreign Languages Studies, The University of Danang
ORCID: 0000-0003-4966-0352

ABSTRACT

Objectives

This study develops an indicator-based framework to assess local readiness to attract foreign direct investment (FDI) in the digital economy, using Da Nang, Vietnam, as a case study. It identifies the city's location-specific advantages, structural constraints, and policy priorities amid intensifying competition for technology-intensive investment.

Methods

The study uses a documentary case-study design and secondary observations for 2020–2025. Quantitative observations and documentary codes are placed on a common 0–100 scale. The six dimension means receive equal weights in the composite index. Coding sensitivity is calculated by moving HR4 and HR5, the two indicators classified as low confidence, down or up one category.

Results

The 24-indicator framework yielded an equal-weight readiness index of 65.16/100. Connectivity and investment-ready sites scored highest (79.18), followed by institutions and governance (76.24), digital infrastructure (75.96), and digital human resources (67.47). Innovation (46.37) and the business ecosystem and market linkages (45.76) scored lowest. The documentary profile suggests stronger entry conditions than innovation and linkage capabilities.

Conclusions

The framework provides a diagnostic baseline for selective investment promotion and local capability development. Priorities include specialised skills, measurable investor aftercare, supplier development, and university–industry collaboration. Mixed observation years, territorial boundaries, and indirect proxies limit interpretation; the index does not establish causal effects on FDI or spillovers.

Keywords: foreign direct investment; digital economy; local readiness; location advantages; Da Nang.

1. INTRODUCTION

Foreign direct investment contributes to capital formation, technological upgrading, and participation in global value chains. However, the expansion of the digital economy has changed the location requirements of multinational enterprises. Alongside market size and production costs, digital infrastructure, specialised human resources, institutional quality, innovation capacity, and local business linkages increasingly influence investment decisions.

The latest global evidence also indicates that digital-economy investment is expanding faster than investment in many traditional activities, although its distribution remains highly concentrated. Accordingly, attracting digital-economy FDI requires an enabling ecosystem rather than isolated investment incentives (OECD, 2022; UNCTAD, 2025, 2026).

Vietnam has identified the digital economy as a major driver of growth, with digital infrastructure, digital skills, digital enterprises, and digital governance constituting its principal foundations (Prime Minister of Vietnam, 2022). Within this context, Da Nang has pursued a development model based on high technology, information technology, innovation, and high-value services (Prime Minister of Vietnam, 2023). Despite these advantages, the city faces constraints relating to its market size, specialised technological workforce, local supplier base, and linkages among foreign enterprises, domestic firms, and research institutions.

Previous studies have examined conventional FDI determinants and the relationship between digital transformation and FDI inflows (Blonigen & Piger, 2014; Mai, 2025; Nguyen & Vu, 2024). Nevertheless, limited attention has been paid to local readiness for attracting FDI specifically in the digital economy. Existing assessments also tend to use realised FDI as a measure of attractiveness without clearly separating investment outcomes from the conditions that produce them.

This study addresses this gap by developing a framework of 24 indicators across six dimensions to assess Da Nang's readiness to attract digital-economy FDI. By distinguishing enabling conditions from realised investment outcomes, the study identifies local advantages, structural bottlenecks, and policy priorities for attracting high-quality technology investment.

2. LITERATURE REVIEW

2.1. Location advantages and digital-economy FDI

The eclectic paradigm identifies location advantages as host-economy conditions that allow multinational enterprises to combine ownership-specific assets with local resources, markets, infrastructure, and institutions (Dunning, 2000). Digital-economy investment adds requirements relating to connectivity, data infrastructure, specialised skills, and innovation linkages (UNCTAD, 2025; OECD, 2026). These requirements provide the conceptual basis for the indicator framework; their relative importance is not estimated in this case study.

Digital-economy FDI modifies this conventional configuration rather than replacing it. Reliable broadband and mobile networks, cloud and data infrastructure, cybersecurity, specialized digital skills, and predictable data governance directly affect the cost and scalability of technology-intensive operations. Digital government also matters because transparent and interoperable administrative procedures reduce information and compliance costs. Evidence from Vietnam indicates that digital transformation can support FDI inflows through improved connectivity, governance, and transaction efficiency (Mai, 2025; Nguyen & Vu, 2024). Consequently, local readiness should capture both general investment conditions and the digital capabilities that are specifically relevant to data-intensive and innovation-oriented activities.

2.2. Readiness, linkages, and development effects

Investment attraction is not equivalent to development impact. The quality of FDI depends on whether investment contributes to productivity, innovation, employment quality, and domestic enterprise upgrading (OECD, 2022). Technology and knowledge spillovers are not automatic; they depend on the absorptive capacity of local firms, workforce capabilities, supplier relationships, and interactions between foreign enterprises and research institutions (Newman et al., 2015). For this reason, a locality may be successful in receiving investment yet remain weak in converting it into durable local capabilities.

The literature therefore supports a multidimensional concept of readiness comprising resource endowments, institutional capacity, innovation assets, physical and digital connectivity, and market linkages. OECD guidance on FDI–SME linkages further emphasizes information networks, supplier development, skills, innovation cooperation, and investment aftercare as mechanisms that connect foreign investment with the domestic economy (OECD, 2023). These considerations are particularly relevant to Da Nang, whose development strategy prioritizes information technology, high technology, innovation, and high-value services (Prime Minister of Vietnam, 2023).

2.3. Research gap and analytical proposition

Three gaps motivate the framework: national indicators can conceal subnational differences; general competitiveness indices are not specific to digital-economy FDI; and incorporating realised FDI into readiness scores can conflate enabling conditions with investment outcomes. The framework assesses six dimensions: digital infrastructure; digital human resources; institutions and investment governance; the innovation ecosystem; connectivity and investment-ready sites; and the business ecosystem and market linkages. Realised FDI is excluded from the scores and may serve as a criterion for subsequent external validation; such validation is not undertaken here.

3. METHODOLOGY

3.1. Research design and scope

This documentary case study assesses Da Nang City using observations for 2020–2025 and sources available through September 2026. Publication year is distinguished from observation year: a source released in 2026 may supply a baseline observation if that observation refers to 2020–2025. Developments occurring after 2025 are used only for contextual interpretation. The 2025 merger of Da Nang and Quang Nam creates a territorial break. The assessment combines evidence for the former city and the enlarged city and is therefore a transition-period diagnostic profile, rather than a harmonised estimate for a single constant territory.

The study distinguishes local readiness from realised investment outcomes. Registered capital, project numbers, and disbursement are excluded from the indicator scores. Contextual FDI reporting does not serve as validation of the index. The distinction reduces circularity but does not, by itself, establish predictive or causal validity.

3.2. Data sources

The study uses secondary data and documentary sources available through September 2026, with baseline observations restricted to 2020–2025. Sources include national and municipal statistics; the Digital Transformation Index (DTI); the Provincial Innovation Index (PII); the Provincial Competitiveness Index (PCI) and its successor framework; government and municipal policy documents; investment-promotion reports; and OECD and UNCTAD publications. Publication dates do not determine eligibility for the baseline; the reference period and territorial coverage of each observation do.

Table 2 identifies the source, reference period or index edition, territorial scope, transformation, score, and evidence-confidence classification for each indicator. Official observations are preferred. Documentary descriptions support coding only to the extent that they establish an approved mechanism, operational activity, or a measurable implementation output. The assessment does not assume that reported activities establish investment outcomes, and it does not pool pre- and post-merger statistics into a time series.

3.3. Indicator framework and documentary coding

The assessment framework comprises 24 indicators organised into six dimensions: digital infrastructure; digital human resources; institutions and investment governance; the innovation ecosystem; connectivity and investment-ready sites; and the business ecosystem and market linkages. The indicators were selected according to four criteria: relevance to FDI location decisions, specific importance to digital-economy activities, availability of documentary evidence, and actionability for local policymakers.

Table 1. Operational framework for assessing local readiness for digital-economy FDI

Dimension	Code	Indicator	Operational evidence
Digital infrastructure	DI1	ICT infrastructure conditions	Published ICT-infrastructure index; broadband performance is a complementary measure not directly scored here.
	DI2	5G availability	Population/business-area coverage and commercial availability.
	DI3	Data and cloud capacity	Data centres, cloud services, redundancy, and scalable computing capacity.
	DI4	Cybersecurity readiness	Incident-response capability, standards, services, and documented resilience.
	DI5	External digital connectivity	National and international backbone connectivity and network redundancy.
Digital human resources	HR1	ICT workforce availability	Size and occupational depth of the local ICT and digital workforce.
	HR2	Education and training capacity	Relevant enrolment, graduates, vocational training, and reskilling provision.
	HR3	Skill–industry alignment	Employer assessment, curriculum responsiveness, and work-integrated learning.
	HR4	International work capability	Foreign-language capability and experience in international projects.
	HR5	Talent attraction and retention	Net talent flows, retention mechanisms, and quality-of-life support.
Institutions and governance	IG1	Digital investment procedures	Online, integrated, and trackable investment-related procedures.
	IG2	Transparency and information access	Timely rules, land, planning, incentives, and sector information in accessible formats.
	IG3	Administrative efficiency	Processing time, predictability, coordination, and investor-reported administrative burden.
	IG4	Investor aftercare	Operational support, grievance resolution, expansion support, and response tracking.

Dimension	Code	Indicator	Operational evidence
	IG5	Digital-policy maturity	Coherent local policies on digital economy, data, cybersecurity, experimentation, and implementation.
Innovation ecosystem	IE1	Technology-firm density	Number and concentration of active digital and technology enterprises.
	IE2	Startup dynamism	Formation, survival, acceleration, and scaling of technology startups.
	IE3	Research and development capacity	R&D personnel, laboratories, expenditure, patents, and applied research outputs.
	IE4	University–industry collaboration	Joint projects, contract research, internships, technology transfer, and shared facilities.
	IE5	Innovation finance	Access to venture capital, angel finance, corporate investment, and public innovation funds.
Connectivity and sites	CS1	Serviced industrial land and technology sites	Share of industrial land with constructed infrastructure; technology-zone facilities provide contextual evidence.
	CS2	Basic infrastructure and regional accessibility	Published basic-infrastructure index; airport, seaport, and regional connections provide contextual evidence.
Business ecosystem	BE1	Local firm capability	Professional/S&T-service firm density, innovation participation, and ISO certification; broader proxies for potential supplier capability.
	BE2	FDI–local linkage capacity	Supplier networks, cluster organisations, business matching, and evidence of sustained partnerships.

The empirical assessment uses a hybrid scoring procedure consistent with the study objectives. Quantitative indicators are normalised to a common 0-100 scale, whereas indicators for which comparable numerical observations are unavailable are assessed through structured documentary coding.

- For a quantitative indicator k, the normalised score is calculated using observed national goalposts or a formally stated policy target. Where higher values represent greater readiness, the min-max transformation is applied; values exceeding an explicit target are capped at 100.
- Published indices already expressed on a 0-1 or 0-10 scale are linearly rescaled to 0-100. Percentages with a natural 0-100 range are retained, while ratios without a natural upper bound are divided by a documented target or normalised using the minimum and maximum reported in the same national dataset. Target ratios are calculated as min(100, 100 × X/T), where T is the stated policy benchmark.

For HR1, the ICT headcount and the broader high-quality-workforce target have different definitions; the ratio is therefore a benchmark proxy, not an estimate of target completion. Indicator scores are reported to two decimal places and these reported scores are used consistently in aggregation and coding scenarios.

- Qualitative indicators are coded as follows: 0 = no documented evidence; 1 = formal commitment or an approved mechanism without documented operation; 2 = operational implementation without complete outcome measurement; and 3 = measurable or recurrent implementation outputs. The categories map to 0, 33.33, 66.67, and 100. DI5 receives code 3 for a commissioned international terrestrial route with reported length and destinations; the ALC construction project does not contribute to that code. HR2 receives code 3 for documented enrolment and completed training delivery. A score of 100 denotes the highest documentary category, not complete capacity, adequate labour supply, or proven investment effects.
- BE1 is an author-calculated proxy, not a published PII sub-pillar. It averages three min–max scores from the PII 2023 provincial profiles: professional/S&T-service firms per 1,000 firms (X = 72.87, L = 24.08, U = 115.24; score 53.52); firms with innovation activities (%) (X = 2.50, L = 0.10, U = 25.60; score 9.41); and ISO-certified firms per 1,000 firms (X = 7.79, L = 4.16, U = 35.41; score 11.62). Using unrounded component calculations gives BE1 = 24.84968, reported as 24.85. The national goalposts come from the same edition, and its FDI/GRDP indicator is excluded (Ministry of Science and Technology, 2024).
- Table 2 records the evidence basis, score, and confidence classification for each indicator. Confidence describes the documentary evidence: direct official statistics are classified as high confidence, operational evidence without complete outcome measures as medium confidence, and indirect or policy-only evidence as low confidence. This classification does not establish construct validity. Several published indices measure broader conditions than the readiness indicators they represent; for example, PCI entry costs proxy investment procedures and the overall DTI proxies digital-policy maturity. These scores are interpreted as indirect evidence, not direct measures of every component in Table 1. DI1 uses the PII ICT-infrastructure sub-pillar, which also contains electronic governance, while CS1 and CS2 use serviced industrial land and basic infrastructure. BE1 represents broader firm capabilities rather than a direct survey of digital suppliers. Confidence refers to evidence provenance and documentation, not a probability or a test of indicator validity.

Observation year and territorial coverage are distinguished from source publication year. The baseline combines pre-merger index data and some end-2025 observations for the enlarged city. These differences limit cross-indicator comparability and are retained explicitly in the interpretation; identifying territorial coverage does not make the underlying observations territorially equivalent.

3.4. Data analysis

Let Qij denote the 0–100 score of indicator i in dimension j. Quantitative observations are normalised and qualitative codes are converted to the same scale before aggregation. For min–max normalisation, Xk is the observed value and Lk and Uk are the documented lower and upper goalposts (Uk > Lk). Each dimension score is the arithmetic mean of its indicator scores:

Normalisation of quantitative indicators: $$Q_k = \frac{X_k - L_k}{U_k - L_k} \times 100$$

Score for each assessment dimension: $$D_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} Q_{ij}}{n_j}$$

where Dj denotes the score of dimension j, Qij the normalised or documentary-coded score of indicator i in dimension j, and nj the number of indicators in that dimension.
The overall Local Digital-Economy FDI Readiness Index (LDFRI) is the unweighted mean of the six dimension scores:

$$\text{Overall LDFRI composite index: } LDFRI = \frac{\sum_{j=1}^{6} D_j}{6}$$

The baseline assigns equal weights to the six dimensions because no empirically validated dimension weights are available. Consequently, indicators within a two-indicator dimension have greater composite weight than indicators within a five-indicator dimension. Coding sensitivity is examined for the two indicators classified as Low in Table 2: HR4 and HR5. The conservative scenario moves each down one coding category (HR4: 2 to 1; HR5: 1 to 0); the optimistic scenario moves each up one category (HR4: 2 to 3; HR5: 1 to 2). All other indicator scores and dimension weights remain unchanged. These are deterministic scoring scenarios, not statistical confidence intervals.
The index is used as a diagnostic device rather than a league-table ranking. Indicator, dimension, and composite scores are reported together with confidence classifications and territorial notes, so that numerical results do not obscure limitations in the underlying evidence.

4. RESULTS

4.1. Structure and analytical contribution of the framework

The framework operationalises readiness through 24 indicators across six dimensions (Table 1). It separates infrastructure and workforce inputs, institutional capabilities, and innovation and business linkages from realised FDI outcomes. The case-study scores are summarised in Table 2.
The six dimensions cover productive inputs, institutional support, and capabilities for local investment linkages. Their scores are interpreted separately because a favourable entry environment does not, by itself, demonstrate local knowledge transfer, reinvestment, or supplier upgrading.
The documentary profile is uneven. Infrastructure and digital administration have comparatively visible operational evidence, whereas outcome evidence for specialist labour, commercialisation, investor aftercare, and FDI–local linkages is less complete. Low scores may indicate limited documented capability, incomplete reporting, or both.

Table 2. Indicator-level scores for Da Nang's digital-economy FDI readiness

Code	Indicator and evidence basis	Score	Confidence
DI1	ICT infrastructure conditions. PII 2023 ICT-infrastructure sub-pillar for the former city: 99.44/100; includes digital infrastructure and electronic governance, not broadband quality alone (Ministry of Science and Technology, 2024).	99.44	High
DI2	5G availability. End-2025 population coverage in the enlarged city: 47%; natural percentage score = 47.00 (Da Nang City Portal, n.d.).	47.00	High
DI3	Data and cloud capacity. Municipal data-centre infrastructure is operational; commercial cloud capacity and redundancy are incompletely documented. Code 2 = 66.67; evidence through 2025 (Da Nang City People's Committee, 2025).	66.67	Medium
DI4	Cybersecurity readiness. A practical cybersecurity exercise operated in 2025; comparable resilience outcomes are incomplete. Code 2 = 66.67 (Da Nang City Portal, 2025a).	66.67	Medium
DI5	External digital connectivity. The approximately 3,900-km VSTN route entered operation in August 2025. Commissioned infrastructure with reported extent supports code 3 = 100; ALC construction is excluded from coding (Da Nang City People's Committee, 2025).	100.00	High
HR1	ICT workforce availability. Former-city ICT headcount at end-2023: approximately 53,000; broader 2025 high-quality-workforce target: 75,000. Benchmark ratio 100 × 53,000/75,000 = 70.67; definitions differ (Da Nang City People's Committee, 2021, 2025).	70.67	High
HR2	Education and training capacity. By 2025, eight universities/colleges recruited semiconductor majors with approximately 1,000 students; six courses served more than 255 lecturers/students. Reported training delivery supports code 3 = 100, not specialist-workforce adequacy (Da Nang City People's Committee, 2025).	100.00	High
HR3	Skill–industry alignment. University–enterprise engagement operated through DevDay 2025; placement and skill-match outcomes are incomplete. Code 2 = 66.67; an implementation proxy (Da Nang City People's Committee, 2025).	66.67	Medium
HR4	International work capability. Software exports of USD 165 million in 2024 provide indirect evidence; language and individual project-competence data are unavailable. Code 2 = 66.67 (Da Nang City People's Committee, 2025).	66.67	Low
HR5	Talent attraction and retention. Resolution 57/2024/NQ-HĐND approved semiconductor/AI workforce support, effective January 2025; comparable beneficiary and retention outcomes were not identified. Code 1 = 33.33 (Da Nang People's Council, 2024).	33.33	Low

Code	Indicator and evidence basis	Score	Confidence
IG1	Digital investment procedures. Former-city PCI 2024 entry costs: 8.05/10 × 10 = 80.50; a general entry-conditions proxy (VCCI, 2025).	80.50	High
IG2	Transparency and information access. Former-city PCI 2024 transparency: 7.00/10 × 10 = 70.00 (VCCI, 2025).	70.00	High
IG3	Administrative efficiency. Former-city PCI 2024 time costs: 8.07/10 × 10 = 80.70 (VCCI, 2025).	80.70	High
IG4	Investor aftercare. A 2023 FDI procedural-guidance programme documents operational support; resolution, reinvestment, and response-time outcomes are incomplete. Code 2 = 66.67 (Da Nang City Portal, 2023).	66.67	Medium
IG5	Digital-policy maturity. Former-city overall DTI 2024: 0.8335 × 100 = 83.35; a broader digital-transformation proxy (Ministry of Science and Technology, 2025).	83.35	High
IE1	Technology-firm density. Former-city 2024 report: 2.35 digital firms per 1,000 residents; 2025 policy target: 3.00. Benchmark ratio 100 × 2.35/3.00 = 78.33 (Da Nang Center for Disease Control, 2025; Da Nang City People's Committee, 2021).	78.33	High
IE2	Startup dynamism. PII 2023 innovative startups as a share of newly established firms: 1.08%; national goalposts 0–16.43%. Score 100 × 1.08/16.43 = 6.57 (Ministry of Science and Technology, 2024).	6.57	High
IE3	Research and development capacity. Former-city PII 2023 R&D sub-pillar: 76.86/100, retained directly (Ministry of Science and Technology, 2024).	76.86	High
IE4	University–industry collaboration. PII 2023 research-cooperation rate: 2.63%; national goalposts 0–77.45%. Score 100 × 2.63/77.45 = 3.40 (Ministry of Science and Technology, 2024).	3.40	High
IE5	Innovation finance. SURF 2025 brought investment funds, incubators, and startups into direct dialogue. Code 2 = 66.67 for operational investor access; realised financing is not established (Da Nang City Portal, 2025b).	66.67	Medium
CS1	Serviced industrial land and technology sites. Former-city PII 2023 share of planned industrial land with constructed infrastructure: 96.81%, retained directly; not a technology-site inventory (Ministry of Science and Technology, 2024).	96.81	High
CS2	Basic infrastructure and regional accessibility. Former-city PII 2023 basic-infrastructure indicator: 61.55/100, retained directly; not a direct international-connectivity index (Ministry of Science and Technology, 2024).	61.55	High

Code	Indicator and evidence basis	Score	Confidence
BE1	Local firm capability. Author-calculated equal-weight mean of three min–max-normalised PII 2023 firm indicators: 24.85/100. Constituents and national goalposts are specified in Section 3.3; a broad capability proxy (Ministry of Science and Technology, 2024).	24.85	Medium
BE2	FDI–local linkage capacity. International B2B matching was offered in the 2025 Italian Expo programme. Code 2 = 66.67 for matching provision; evidence does not establish digital-FDI procurement or sustained supplier relationships (Italian Chamber of Commerce in Vietnam, n.d.).	66.67	Medium

Note. PII 2023 is an index edition containing observations from different underlying years; it does not mean that all observations occurred in 2023. PII 2023 and PCI/DTI 2024 represent the former city. End-2025 infrastructure, training, and matching evidence represents the enlarged city; the 2024 firm-density observation represents the former city. Documentary codes describe the cited activities, not comprehensive investor outcomes. Sources and transformations are specified in each row; see Section 3.3 for BE1 goalposts and coding decisions.

4.2. Digital infrastructure and investment connectivity

Digital infrastructure scored 75.96. The former city's PII 2023 ICT-infrastructure sub-pillar scored 99.44, while end-2025 5G population coverage for the enlarged city was 47%. The latter report recorded 721,029 fixed-internet subscriptions and 2,928,790 mobile-internet subscriptions, with nine villages without mobile broadband and 18 with weak coverage (Ministry of Science and Technology, 2024; Da Nang City Portal, n.d.). The index component and coverage rate measure different constructs and territories.

The available evidence distinguishes an established urban digital-infrastructure base from incomplete coverage across the enlarged territory. It does not provide comparable site-level speed, affordability, uptime, or commercial-cloud-capacity measures. External connectivity includes the approximately 3,900-km VSTN terrestrial route, commissioned in August 2025; the ALC landing-station project began construction in October 2025 and is treated as a pipeline project (Da Nang City People's Committee, 2025; Da Nang City Portal, n.d.).

Connectivity and investment-ready sites scored 79.18. For the former city, PII 2023 recorded 96.81% of planned industrial land with constructed infrastructure and a basic-infrastructure indicator score of 61.55 (Ministry of Science and Technology, 2024). These broad proxies do not establish the availability or service quality of a particular technology site. Technology parks, concentrated IT zones, airports, and seaports provide investment context. The Free Trade Zone was established in 2025, but legal establishment does not mean that every planned facility was operational (Prime Minister of Vietnam, 2025).

4.3. Digital human resources and innovation capacity

Digital human resources scored 67.47. The former city reported approximately 53,000 ICT workers at end-2023. HR1 compares this headcount with the broader 2025 policy benchmark of 75,000 high-quality workers; the resulting 70.67 is a proxy comparison across definitions and years, not measured target completion. Government reporting identified approximately 550 semiconductor engineers in 2024.

The municipal 2025 implementation review recorded eight universities/colleges recruiting semiconductor majors with approximately 1,000 students and six courses for more than 255 lecturers/students (Da Nang City People's Committee, 2021, 2025; Government News, 2024). These counts describe workforce and training inputs, not graduates or experienced specialists available for immediate recruitment.

The workforce–target comparison suggests a potential capacity gap, but the available data do not quantify unmet employer demand. Investment readiness also depends on occupation-specific competence, international project experience, foreign-language proficiency, and familiarity with quality and security standards. Aggregate enrolment and training counts do not establish that these skills are available at the scale or time required by investors.

Talent retention may affect the local supply of experienced specialists. However, comparable data on net talent flows and programme retention outcomes were not identified. HR5 therefore captures a documented support mechanism rather than an observed retention effect. Workforce availability, training capacity, skill alignment, international work capability, and retention are assessed separately.

The innovation ecosystem scored 46.37. PII 2023 reported an R&D sub-pillar score of 76.86. Innovative startups represented 1.08% of newly established firms, and the research-cooperation rate was 2.63%; their min–max scores are 6.57 and 3.40 (Ministry of Science and Technology, 2024). These edition-specific proxies suggest an imbalance between documented research resources and enterprise collaboration. The enlarged city's PII 2025 score of 47.2 and eighth-place ranking provide context, but a different territory and index prevent interpretation as a trend in this readiness dimension (Innovation Agency, Ministry of Science and Technology, 2025).

4.4. Institutions and investment governance

Institutions and investment governance scored 76.24. For the former city, PCI 2024 reported 8.05 for entry costs, 7.00 for transparency, and 8.07 for time costs; DTI 2024 was 0.8335 and ranked second nationally (VCCI, 2025; Ministry of Science and Technology, 2025). These published indices suggest comparatively favourable general administrative and digital-government conditions. They do not directly measure the completeness of digital investment procedures or every aspect of digital-policy maturity.

The PCI 2.0 profile for 2025 places the enlarged city in the five-member "Good" governance group. It reports 8.70 for market entry, 7.54 for transparency, 8.20 for administrative-compliance costs, and 5.61 for developmental government (VCCI, 2026). Within that profile, procedural scores are higher than developmental-government scores. The changed framework and territorial basis preclude a like-for-like trend comparison with PCI 2024; these contextual figures do not replace the baseline components.

Investor aftercare was coded at 66.67 because the 2023 FDI procedural-guidance programme documents an operational support mechanism (Da Nang City Portal, 2023). Comparable response-time, resolution-rate, reinvestment, and expansion-support outcomes were not identified. The code captures implementation rather than demonstrated aftercare effectiveness.

4.5. Business ecosystem and local linkages

The business ecosystem and market linkages scored 45.76, the lowest dimension. Official reporting identifies a 2024 former-city density of approximately 2.35 digital enterprises per 1,000 residents, core digital-economy revenue of VND 39,888 billion, and software exports of USD 165 million (Da Nang Center for Disease Control, 2025; Da Nang City People's Committee, 2025).

These aggregates do not measure qualified domestic suppliers. The author-calculated BE1 proxy is 24.85, using professional/S&T-service firm density, innovation participation, and ISO certification. BE2 scores 66.67 for international business-matching provision, without evidence of sustained digital-FDI supplier outcomes.

Broader firm capability and business matching are distinct from actual FDI–local procurement. Literature suggests that supplier competence, certification, finance, and absorptive capacity can affect spillovers (Newman et al., 2015; OECD, 2023). This assessment does not observe investor sourcing decisions or estimate the effects of local capabilities on productivity. BE1 and BE2 identify areas for subsequent supplier and investor surveys rather than demonstrate that particular projects are weakly embedded.

University–enterprise engagement and investor–startup dialogue were documented in 2025 through DevDay and SURF. However, the PII 2023 research-cooperation rate of 2.63% refers to a separate, earlier evidence base (Da Nang City People's Committee, 2025; Da Nang City Portal, 2025b; Ministry of Science and Technology, 2024). Formal partnerships and event participation do not establish contract research, licensing, joint intellectual property, or employment conversion. The sources document collaboration mechanisms, while comparable outcome measurement remains incomplete.

4.6. Integrated readiness profile

Table 3 consolidates the six dimension scores and their economic interpretation. The scores identify relative strengths and bottlenecks; they should not be read as a ranking against other localities because several indicators use different reference years and the 2025 merger introduced a territorial break.

Table 3. Dimension scores and evidence-based interpretation of Da Nang's readiness

Dimension and score	Supported conclusion	Principal constraint	Economic implication
Digital infrastructure **Score: 75.96/100**	Subscription volumes and an operational terrestrial link support connectivity; the submarine landing-station project was at construction stage in 2025.	Post-merger 5G population coverage was 47% at end-2025, with remaining unserved and weak-coverage villages; site-level reliability is not fully documented.	Favourable for software and digital services in the urban core, but location-specific verification is required for data-intensive and peripheral projects.
Digital human resources **Score: 67.47/100**	Universities, ICT firms, and an initial semiconductor workforce support specialised development.	Comparable data on experienced specialists, international work capability, and retention outcomes are incomplete.	Expansion may require occupation-specific labour verification; the study does not identify a binding causal constraint.
Institutions and governance **Score: 76.24/100**	Pre-merger digital-government performance was strong, and Da Nang entered the 'good' group under PCI 2.0 in 2025.	Territorial and framework changes limit trend comparisons; aftercare and developmental outcomes require direct measurement.	Further monitoring can assess whether administrative implementation supports reinvestment and local partnerships.
Innovation ecosystem **Score: 46.37/100**	Startup activity, technology firms, and university-enterprise initiatives provide an emerging base.	Scale-up finance, commercialised research, patents, and contract R&D remain insufficiently evidenced.	The relative score identifies a priority for research and supplier verification; spillover effects are not estimated.
Connectivity and sites **Score: 79.18/100**	Published serviced-land and basic-infrastructure proxies indicate general conditions; technology zones and transport assets provide context.	Several facilities and multimodal connections remain under development, and service readiness varies substantially by location.	The enlarged asset base is valuable only if serviced land, utilities, digital infrastructure, and logistics are integrated and delivered on time.
Business ecosystem and linkages **Score: 45.76/100**	Digital firms and software-export activity provide a potential base for business partnerships.	Qualified suppliers, local procurement, and sustained FDI–local partnerships remain weakly documented on a comparable basis.	Limited supplier capability and sustained partnerships may restrict local spillovers; these effects are not estimated here.

The equal-weight index was 65.16/100 (Figure 1). Connectivity and investment-ready sites scored highest (79.18), followed by institutions and investment governance (76.24), digital infrastructure (75.96), and digital human resources (67.47). Innovation (46.37) and the business ecosystem and market linkages (45.76) scored lowest. This is a relative comparison within the documentary profile; it does not establish a readiness threshold or an inter-city ranking.

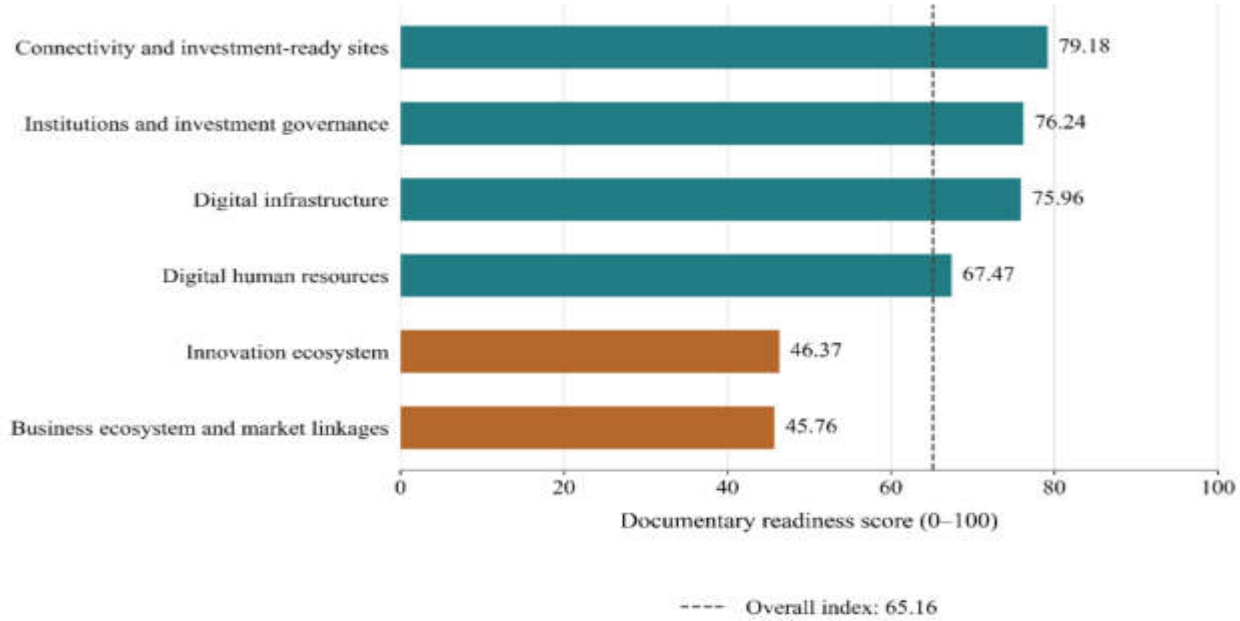


Figure 1. Da Nang's documentary readiness profile across six dimensions

Note. Calculated from the indicator scores in Table 2 with equal dimension weights. The dashed line is the overall index, not a readiness threshold. Scores combine different observation years and territorial coverage; no statistical confidence intervals are implied.

Recoding HR4 and HR5 by one category, with all other scores unchanged, produced composite scores of 62.94 in the conservative scenario and 67.38 in the optimistic scenario. The human-resource dimension ranged from 54.13 to 80.80, compared with 67.47 at baseline. Innovation (46.37) and business linkages (45.76) remained the lowest-scoring dimensions in these two scenarios. This result concerns only sensitivity to HR4 and HR5 coding; it does not establish robustness to alternative dimension weights, other coding choices, or source-data errors.

5. DISCUSSION

5.1. Readiness as a system of complementary location advantages

The relative scores are consistent with a complementary interpretation of location advantages. Stronger infrastructure and administrative scores coexist with weaker innovation and linkage scores. Literature on absorptive capacity provides a possible mechanism connecting these capabilities to local spillovers (Newman et al., 2015; OECD, 2023). The case study does not estimate interactions among dimensions or their effects on FDI outcomes.

The documentary profile suggests potential location advantages for software and digital services, alongside weaknesses in innovation and business linkages. Activities requiring deep supplier networks, contract research, or rapid recruitment of experienced specialists may require further capability verification.

The study identifies policy priorities but does not establish which factor is a binding causal constraint on investment (Newman et al., 2015; OECD, 2023).

5.2. Implications for investment strategy

The results support selective investment promotion tied to verified local capabilities. Candidate activities include software and IT services, semiconductor design, cybersecurity, digital content, specialised R&D, and technology-enabled business services. Sector selection requires additional evidence on occupational skills, operational facilities, utilities, administrative processing, research partners, and qualified suppliers; the aggregate index alone does not rank these activities.

Human-resource policy should be organised around occupational pipelines rather than aggregate training targets. Firms, universities, and public agencies require a shared forecast of demand by occupation and proficiency level, followed by curricula, internships, laboratories, and recruitment mechanisms aligned with that forecast. Retaining experienced specialists also requires research opportunities, competitive career paths, international working environments, and a sufficiently dense technology labour market. Otherwise, expansion in training may coexist with continuing shortages in the occupations most relevant to investors.

Investor aftercare should become the institutional bridge between the comparatively strong governance score and the weaker linkage outcomes. A dedicated mechanism should publish response time, resolution rate, reinvestment, local procurement, skilled employment, research collaboration, and technology-transfer results. This would convert operational support into measurable developmental governance.

Supplier development and university–industry collaboration could be integrated into investment policy. Supplier databases can support capability assessment, certification assistance, financing, and procurement matching. Collaboration can be monitored through contract research, shared facilities, internship-to-employment conversion, intellectual property, and commercialisation. These are proposed evaluation measures, not outcomes demonstrated by the present assessment (OECD, 2023).

5.3. Methodological implications and limitations

Excluding realised FDI reduces circularity between the readiness construct and investment outcomes. However, several proxies overlap in their underlying concepts, and equal dimension weights do not imply equal indicator weights. The index remains a descriptive instrument whose predictive and causal validity require separate empirical testing.

The assessment has four main limitations. First, observation years and territorial boundaries differ; the 2025 merger prevents interpretation as a harmonised city-wide time series. Second, some published indices are indirect proxies for the more specific constructs in Table 1. Third, direct outcome data are incomplete for international work capability, talent retention, innovation finance, aftercare, and sustained local procurement. Fourth, documentary coding depends on reported evidence and judgement; no inter-coder reliability estimate is presented. Source reliability and arithmetic consistency therefore do not establish measurement validity. The scores are a transition-period diagnostic baseline, not causal estimates or a comparable inter-city ranking.

The HR4–HR5 sensitivity scenarios assess only the consequences of changing two low-confidence codes. They do not correct mixed territorial coverage, validate proxy choices, or establish statistical uncertainty. Further assessment requires harmonised territorial observations, complete indicator-level source and transformation metadata, independent coding checks, and validation against investor evidence and subsequent investment outcomes.

6. CONCLUSION

The 24-indicator framework yielded an equal-weight LDFRI of 65.16/100 for the documentary baseline. Connectivity and investment-ready sites (79.18), institutions and investment governance (76.24), and digital infrastructure (75.96) were the highest-scoring dimensions; innovation (46.37) and business linkages (45.76) were the lowest. These results describe an uneven evidence profile and remain conditional on the indicator definitions, sources, and scoring rules.

The profile supports further investigation of specialised skill pipelines, measurable investor aftercare, innovation finance, contract research, supplier certification, and FDI–local procurement. Innovation and business linkages remain the lowest-scoring dimensions when HR4 and HR5 are recoded by one category. Evidence on actual investment decisions and local outcomes is needed to test whether these diagnostic priorities predict investment quality and spillovers.

ACKNOWLEDGEMENT

This research is funded by Vietnam - Korea University of Information and Communication Technology under project number ĐHVH-2026-05

REFERENCES

Blonigen, B. A., & Piger, J. (2014). Determinants of foreign direct investment. Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économique, 47(3), 775–812. https://doi.org/10.1111/caje.12091

Da Nang Center for Disease Control. (2025, August 8). Đà Nẵng đẩy mạnh chuyển đổi số: Hướng tới trung tâm công nghệ số của khu vực [Da Nang advances digital transformation towards a regional digital-technology centre]. Report attributed to the municipal 1022 service. https://ksbtdanang.vn/bai-viet/da-nang-day-manh-chuyen-doi-so-huong-toi-trung-tam-cong-nghe-so-cua-khu-vuc

Da Nang City People's Committee. (2021, August 28). Decision No. 2870/QD-UBND approving the digital-transformation project to 2025, with orientations to 2030. https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Cong-nghe-thong-tin/Quyet-dinh-2870-QD-UBND-2021-De-an-Chuyen-doi-so-Da-Nang-dinh-huong-den-2030-505007.aspx

Da Nang City People's Committee. (2025, December 31). Plan No. 237/KH-UBND: Triển khai các nhiệm vụ chuyển đổi số trên địa bàn thành phố năm 2026 [Implementation of digital-transformation tasks in 2026; includes the 2025 implementation review]. https://khuyennong.danang.gov.vn/QTIUpload/ThongBaoFLA/Files/237.kh.ubnd.signed.signed.signed.signed%20(1).pdf

Da Nang City Portal. (2023, November 28). *Hỗ trợ, hướng dẫn thủ tục cho doanh nghiệp FDI trên địa bàn thành phố* [Support and guidance on administrative procedures for FDI enterprises in the city]. https://danang.gov.vn/w/ho-tro-huong-dan-thu-tuc-cho-doanh-nghiep-fdi-tren-dia-ban-thanh-pho-i

Da Nang City Portal. (2025a, December 18). Diễn tập thực chiến bảo đảm an toàn thông tin mạng năm 2025 [Practical cybersecurity exercise in 2025]. https://www.danang.gov.vn/vi/web/dng/w/dien-tap-thuc-chien-bao-dam-an-toan-thong-tin-mang-nam-2025

Da Nang City Portal. (2025b, July 29). Gặp gỡ các chuyên gia, nhà đầu tư và cộng đồng khởi nghiệp [Meeting experts, investors, and the startup community]. https://danang.gov.vn/web/dng/-/gap-go-cac-chuyen-gia-nha-dau-tu-va-cong-dong-khoi-nghiep

Da Nang City Portal. (n.d.). Hệ thống thông tin – viễn thông – truyền dẫn dữ liệu [Information, telecommunications, and data-transmission systems]. Retrieved October 2, 2026, from https://danang.gov.vn/vi/w/he-thong-thong-tin-vien-thong-truyen-dan-du-lieu

Da Nang People's Council. (2024, December 13). Resolution No. 57/2024/NQ-HDND on semiconductor and artificial-intelligence workforce development policies. https://vbpl.vn/danang/Pages/vbpq-toanvan.aspx?ItemID=173643&Keyword=

Dunning, J. H. (2000). The eclectic paradigm as an envelope for economic and business theories of MNE activity. *International Business Review, 9*(2), 163–190. https://doi.org/10.1016/S0969-5931(99)00035-9

Government News. (2024, September 10). Đà Nẵng đặt mục tiêu đào tạo 5.000 nhân lực vi mạch bán dẫn [Da Nang aims to train 5,000 semiconductor workers]. https://baochinhphu.vn/da-nang-dat-muc-tieu-dao-tao-5000-nhan-luc-vi-mach-ban-dan-102240907153633312.htm

Innovation Agency, Ministry of Science and Technology. (2025, October 5). *Xếp hạng Chỉ số PII năm 2025 của các địa phương* [Provincial Innovation Index rankings in 2025]. https://doimoisangtao.gov.vn/xep-hang-chi-so-pii-nam-2025-cua-cac-dia-phuong/

Italian Chamber of Commerce in Vietnam. (n.d.). Những ngày Ý tại Đà Nẵng 2025 & Italian EXPO [Italian Days in Da Nang 2025 and Italian Expo]. Retrieved October 4, 2026, from https://icham.org/vi/nhung-ngay-y-tai-da-nang-2025-italian-expo/

Mai, H. G. (2025). Digital transformation as a catalyst for foreign direct investment: Evidence from an emerging economy. *Cogent Economics & Finance, 13*(1), Article 2586304. https://doi.org/10.1080/23322039.2025.2586304

Ministry of Science and Technology. (2024, March). Báo cáo Chỉ số đổi mới sáng tạo cấp địa phương năm 2023: Hồ sơ các địa phương [Provincial Innovation Index 2023: Provincial profiles] (Da Nang profile, pp. 42–43). https://s1cdn.vnecdn.net/vnexpress/restruct/j/v9440/ldpr/1005854/data/PII_2023_Profile.pdf

Ministry of Science and Technology. (2025, October 21). *Công bố kết quả xếp hạng mức độ chuyển đổi số năm 2024: Việt Nam tăng tốc hướng tới chuyển đổi số toàn diện* [Announcement of the 2024 Digital Transformation Index results: Vietnam accelerates towards comprehensive digital transformation]. https://mst.gov.vn/cong-bo-ket-qua-xep-hang-muc-do-chuyen-doi-so-nam-2024-viet-nam-tang-toc-huong-toi-chuyen-doi-so-toan-dien-197251021183853514.htm

Newman, C., Rand, J., Talbot, T., & Tarp, F. (2015). Technology transfers, foreign investment and productivity spillovers. *European Economic Review, 76*, 168–187. https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2015.02.005

Nguyen, H. H., & Vu, T. P. M. (2024). Chuyển đổi số với vai trò đòn bẩy thu hút đầu tư trực tiếp nước ngoài vào các địa phương tại Việt Nam [Digital transformation as a lever for attracting foreign direct investment into Vietnamese localities]. *Tạp chí Quản lý và Kinh tế Quốc tế*, (166). https://doi.org/10.38203/jiem.vi.022024.1120

OECD. (2022). *FDI qualities policy toolkit*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/7ba74100-en

OECD. (2023). *Policy toolkit for strengthening FDI and SME linkages*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/688bde9a-en

OECD. (2026). *FDI qualities review of Viet Nam: Powering the next growth phase*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/a3c78dac-en

Prime Minister of Vietnam. (2022, March 31). *Decision No. 411/QD-TTg approving the national strategy for development of the digital economy and digital society to 2025, with orientations to 2030*. https://vanban.chinhphu.vn/?classid=2&docid=205555&pageid=27160

Prime Minister of Vietnam. (2023, November 2). *Decision No. 1287/QD-TTg approving the Da Nang City master plan for the 2021–2030 period, with a vision to 2050*. https://vanban.chinhphu.vn/?docid=208885&pageid=27160&tagid=1&type=1

Prime Minister of Vietnam. (2025, June 13). *Decision No. 1142/QD-TTg on the establishment of the Da Nang Free Trade Zone*. https://vanban.chinhphu.vn/?docid=213961&pageid=27160

UNCTAD. (2025). *World investment report 2025: International investment in the digital economy*. United Nations. https://unctad.org/publication/world-investment-report-2025

UNCTAD. (2026). *World investment report 2026: International investment in a turbulent era*. United Nations. https://unctad.org/publication/world-investment-report-2026-international-investment-turbulent-era

Vietnam Chamber of Commerce and Industry. (2025). *Provincial Competitiveness Index 2024: Da Nang profile*. https://pcivietnam.vn/en/provinces/da-nang

Vietnam Chamber of Commerce and Industry. (2026). *Vietnam private sector annual report 2025: Provincial Competitiveness Index 2.0*. https://pcivietnam.vn/report-2025.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

THE IMPACT OF TOURISM HUMAN RESOURCE TRAINING SERVICE QUALITY ON TOURISM STUDENTS' INTENTION TO WORK IN THE TOURISM INDUSTRY AT THE SCHOOL OF ECONOMICS, CAN THO UNIVERSITY

Tran Thanh Nguyen
School of Economics, Can Tho University

Nguyen Thi Nhu Huynh
School of Economics, Can Tho University

Nguyen Nhat Nhu Quynh
School of Economics, Can Tho University

Thai Nguyen Tue Ngan
School of Economics, Can Tho University

Chiem Hue Man and Ho Le Thu Trang
School of Economics, Can Tho University

ABSTRACT
This study was conducted in the context that training service quality currently plays an important role in shaping students' career choice intentions in the tourism sector. The study aims to assess the effects of undergraduate tourism human resource training service quality on students' intention to work in the tourism industry at the School of Economics, Can Tho University. A quantitative research method was employed with 154 observations from students majoring in Tourism and Travel Services Management. The data were analyzed using descriptive statistics, reliability testing, exploratory factor analysis, and linear regression. The results show that five factors, namely Academic Factors, Non-academic Factors, Reputation, Access, and Curriculum, all have positive effects on students' intention to work in the tourism industry. Among them, Academic Factors have the strongest effect, followed by Reputation, Curriculum, Non-academic Factors, and Access. The findings confirm that improving training quality, particularly academic quality, institutional reputation, and the practical relevance of the curriculum, is meaningful in encouraging students to choose careers in the tourism industry.
Keywords: training service quality; intention to work; tourism industry; tourism students; School of Economics, Can Tho University.

1. INTRODUCTION
In the context of the tourism industry increasingly emphasizing the development of highly qualified human resources with professional competencies that meet practical requirements, the quality of tourism human resource training at the university level plays an important role in equipping students with foundational knowledge, skills, and career orientation. However, being trained in a tourism-related major does not necessarily mean that students will continue to choose to work in the industry after graduation.

This situation raises the question of how training service quality affects students' intention to work in the tourism industry. Previous studies have approached training service quality from various dimensions, such as academic factors, non-academic factors, reputation, access, and curriculum; however, the relationship between these factors and tourism students' intention to work in the tourism industry has received insufficient attention, particularly in the context of Tourism and Travel Services Management education at the School of Economics, Can Tho University.

This study directly examines the effects of training service quality on intention to work in the tourism industry and determines the level of impact of each factor among students majoring in Tourism and Travel Services Management at the School of Economics, Can Tho University. Accordingly, the study was conducted to assess the impact of undergraduate tourism human resource training service quality on students' intention to work in the tourism industry and, on that basis, propose appropriate recommendations to improve training quality and encourage students to choose employment in the tourism industry.

2. THEORETICAL AND EMPIRICAL REVIEW

2.1. Key Concepts

Training Service Quality

Training service quality is a concept that has been viewed from many different perspectives. According to Harvey & Green (1993), training quality is expressed through five core dimensions: exceptional quality, perfection, fitness for purpose, value for money, and transformation. O'Neil & Palmer (2004) define training service quality as the difference between students' expectations and their actual experiences, creating an overall perception of educational quality in both domestic and international contexts. In Vietnam, Nguyen Thi Bao Chau & Thai Thi Bich Chau (2013) affirm that training service quality is a condition for the survival of any educational institution.

Career Choice Intention

Career refers to a form of labor in society based on the division of labor to create material and spiritual products for society. Specifically, a career is a group of similar professional jobs based on a common foundation and sharing certain similarities (Phan Le Hien, 2020). Career orientation is the process of providing students with necessary information and experience so that they can better understand career opportunities and make career choices appropriate to themselves (Truong Thi My Phuong & Do Thi Thuy Duy, 2023). According to Ajzen's (1991) Theory of Planned Behavior, career choice intention is formed by attitudes toward the career, subjective norms, and perceived behavioral control.

Intention to Work in the Tourism Industry

According to Anthony et al. (2023), career choice in the tourism and hospitality field is influenced by the interaction between personal factors and the social environment. Intrinsic motivations, such as the desire for self-employment, career interest, and personality fit, play an important role in forming students' career intentions. Therefore, intention to work in the tourism industry is understood as the degree of desire, willingness, and tendency of an individual to choose employment in tourism and hospitality after completing their training.

2.2. Theoretical Foundations of the Research Problem

Theory of Training Service Quality

According to Firdaus Abdullah (2005), measuring educational service quality has distinctive characteristics. He therefore proposed HEdPERF (Higher Education Performance), a new and more comprehensive scale for measuring service quality in higher education.

Although SERVQUAL and SERVPERF were designed as general instruments for measuring service quality across many industries, their application often requires modification to fit specific contexts and may require additional factors. Accordingly, he proposed the HEdPERF model to measure quality in higher education.

In addition, Parves Sultan and Ho Yin Wong (2010) conducted a comparison between HEdPERF and SERVPERF and found that HEdPERF was more appropriate for measuring higher education service quality. Abdullah suggested that higher education institutions could use HEdPERF to improve service quality. Firdaus Abdullah classified higher education service quality into five components: (1) non-academic or administrative factors; (2) academic factors; (3) reputation; (4) access; and (5) curriculum. Therefore, this study inherits Firdaus Abdullah's (2005) HEdPERF model as the theoretical basis for evaluating training service quality at the School of Economics, Can Tho University, while examining the relationship between components of training service quality and students' intention to work in the tourism industry.

Theory of Career Choice Intention

According to Ajzen's (1991) Theory of Planned Behavior, career choice intention is formed by attitudes toward the career, subjective norms, and perceived behavioral control. According to Schein (1978, 1990), career orientation is a combination of self-awareness regarding attitudes, talents, and values that forms the core of an individual's career concept. Tran Thi Duong Lieu (2014) also argues that career orientation is an individual's subjective choice of careers in society based on a system of personal values, personality, abilities, aspirations, interests, and enthusiasm for a particular career. It is also a decision-making process based on an understanding of occupational demand and the existing division of labor, under the influence of appropriate psychological and educational measures.

Theory of Intention to Work in the Tourism Industry

Tourism and hospitality are labor-intensive industries in which well-trained human resources with high professional qualifications play a crucial role in the sustainable development of the industry (Kusluvan & Kusluvan, 2000). However, although the number of training institutions and graduates has continued to increase, many studies show that the industry still faces a shortage of high-quality labor, mainly because students do not wish to remain in the industry for the long term due to job characteristics such as long working hours and high seasonality (Jiang & Tribe, 2009; Kelley-Patterson & George, 2001). In addition, students' decisions to choose and pursue careers are influenced by various other factors, including internship experience, career expectations, work adaptability, salary, promotion opportunities, and training quality. Although many studies have addressed intentions to enter the tourism and hospitality industry, systematic research on decisions to pursue postgraduate study in this field remains relatively limited (Jepsen & Neumann, 2010).

2.3. Review of Empirical Studies

Many studies have examined training service quality and students' career orientation and choice both domestically and internationally.

Regarding training quality, Nguyen Quoc Nghi et al. (2012) studied the satisfaction of tourism students at universities in the Mekong Delta. The results showed that internship conditions, social knowledge, lecturer interaction, and foreign language skills affected satisfaction, with lecturer interaction having the strongest effect. Similarly, Nguyen Thi Bao Chau and Thai Thi Bich Chau (2013) identified lecturer competence and manner, together with facilities, as two major groups of factors affecting student satisfaction at Can Tho University.

Pham Thi Lien (2016) also found that the curriculum, lecturers, and facilities significantly affected learners' satisfaction. These results indicate that lecturers, curriculum, and learning conditions are important components in evaluating training quality.

Regarding career orientation and choice, Tran Thi Phung Ha (2014) found that career orientation among students at Can Tho University was influenced by economic and social factors, family, the university, and students themselves. Le Thai Phuong (2021) identified personal fit, career opportunities, institutional reputation, reference groups, and the attractiveness of the curriculum as factors that positively affected students' decisions to choose tourism as a major. Phan Le Hien My et al. (2022) further highlighted the roles of academic advisors, family, and personal attitudes in the career orientation of tourism students in Central Vietnam. More recently, Nguyen Thi Thu Hau and Tran Thi Hong Diem (2024) found that occupational exposure, personal motivation, and third-party influence positively affected career orientation.

Internationally, Korir and Wafula (2012) found that employment opportunities, training institutions, and the influence of people around students played significant roles in hospitality students' career choices. Tuatul et al. (2019) confirmed that teaching quality affected tourism students' career choices, with learning goal orientation playing a mediating role. Notably, Kahraman and Alrawadieh (2021) found that perceived education quality positively affected students' intention to enter the tourism and hospitality industry, while academic self-efficacy played a mediating role. Xu and Han (2023) also showed that perceptions of educational quality positively affected career choice intentions among hospitality students.

In summary, previous studies have approached training quality and career choice from various perspectives and demonstrated the important roles of lecturers, curriculum, facilities, career opportunities, and personal factors. However, in Vietnam, studies have mainly examined satisfaction with training quality or factors affecting career orientation, while relatively few studies have directly evaluated the impact of training service quality on intention to work in the tourism industry. In particular, the application of the HEdPERF model to training service quality remains limited. This is the research gap addressed by the present study.

3. RESEARCH METHODOLOGY

3.1. RESEARCH HYPOTHESES AND RESEARCH MODEL

Based on Ajzen's (1991) Theory of Planned Behavior and the measurement of educational service quality using Firdaus Abdullah's (2005) HEdPERF scale, together with previous studies, the authors propose the following factors: (1) Non-academic Factors; (2) Academic Factors; (3) Reputation; (4) Access; and (5) Curriculum.

The academic dimension reflects the responsibility and competence of lecturers during the training process, expressed through professional qualifications, teaching methods, communication, consultation, and academic feedback to students (Firdaus Abdullah, 2005).

Hypothesis H1: Academic Factors have a positive effect on career choice intention.

The non-academic dimension of training quality refers to factors related to staff who do not directly teach but provide important support to students during their studies (Dam Tri Cuong, 2015). According to Firdaus Abdullah (2005), non-academic factors include necessary conditions that help students fulfill their learning responsibilities.

Hypothesis H2: Non-academic Factors have a positive effect on career choice intention.

Mathew Joseph and Beatriz Joseph (1999) and John B. Ford et al. (1999) stated that institutional reputation plays an important role in training quality and is widely described as an important determinant of service quality in higher education.

Hypothesis H3: Reputation has a positive effect on career choice intention.

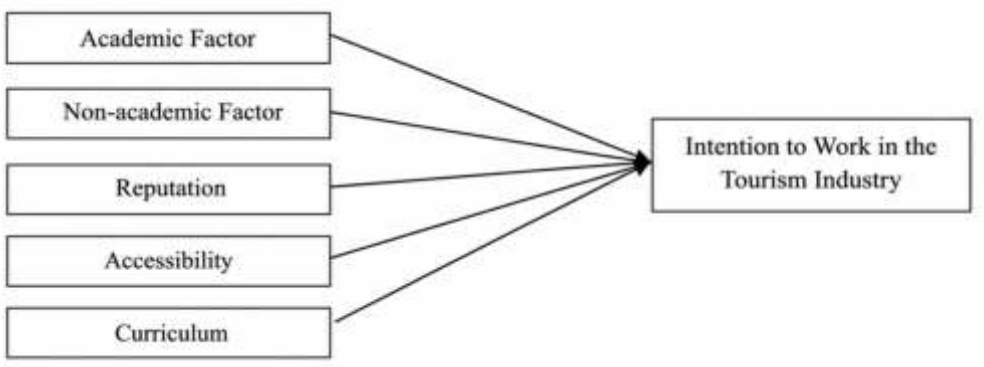
According to Ahmad Jusoh et al. (2004), differences exist in students' perceptions when accessing training services because students' expectations increase as they become familiar with the system, gain more education, and mature; perceptions are also influenced by race and culture. Stephen Banahene et al. (2018) demonstrated that access is related to student satisfaction and academic performance.

Hypothesis H4: Access has a positive effect on career choice intention.

According to Wentling (1993): "A curriculum is an overall design for a training activity (training course) that indicates all the content to be trained, specifies what can be expected of learners after the course, outlines the processes necessary to implement the training content, training methods, and methods of testing and evaluating learning outcomes, all arranged according to a strict timetable."

Hypothesis H5: Curriculum has a positive effect on career choice intention.

In summary, based on foundational theories of training service quality and career choice intention, as well as domestic and international studies, the authors propose the research model.



3.2. Data Collection and Data Analysis Methods

Data collection method: Hair et al. (2006) suggested that for exploratory factor analysis (EFA), the minimum sample size should be 50, preferably 100, and the observation-to-measurement-variable ratio should range from 5:1 to 10:1, meaning that each measurement variable requires at least five observations. Tabachnick and Fidell (2007) proposed that for multiple linear regression, the minimum sample size can be determined using the formula $n \geq 50 + 8m$. With five independent variables, the minimum sample size is 90, which provides sufficient statistical power.

Sampling method: A survey was used to collect opinions from students majoring in Tourism and Travel Services Management currently studying at the School of Economics, Can Tho University, using convenience sampling. Tho (2011) states that convenience sampling is a form of non-probability sampling in which researchers select research subjects who are accessible.

Data analysis method: The study used descriptive statistics, reliability testing of the measurement scales using Cronbach's Alpha, exploratory factor analysis (EFA), and a linear regression model to identify factors affecting students' intention to choose employment in the tourism industry.

4. RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Description of the Research Sample

The survey results based on 154 students show that female respondents accounted for the majority at 80.5%, while males accounted for 19.5%. Regarding academic year, third-year students represented the highest proportion at 69.5%, followed by fourth-year students at 27.9%. Regarding hometown, respondents mainly came from Can Tho, accounting for 57.1%, followed by An Giang at 19.5% and Vinh Long at 9.1%. During their internships, students mainly worked in the Restaurant department at 78.6%, followed by Housekeeping at 53.9% and Front Office at 18.2%. Most students had internships lasting less than two months, accounting for 98.1%, with one to two months being the most common duration at 55.2%. Regarding intention to work after graduation, the Restaurant sector was selected most frequently at 23.4%, followed by Travel Agencies/Ticket Agencies at 5.8% and Hotels/Accommodation at 5.2%. In terms of job positions, Restaurant also had the highest proportion at 20.1%, followed by Freelance at 5.2% and Office Staff at 3.2%. Overall, the research sample mainly consisted of female students in their third and fourth years, with hometowns in Can Tho and other Mekong Delta provinces, and internship experience primarily in Restaurants and Housekeeping. After graduation, students showed diverse preferences for sectors and positions, with Restaurants remaining the most prominent choice.

Table 1. Descriptive Statistics of the Data

Criteria		**Number (people)**	**Percentage (%)**
Gender	Male	30	19,5
	Female	124	80,5
	Total	154	100,0
Academic year	Year 3	107	69,5
	Year 4	43	27,9
	Other	4	2,6
	Total	154	100,0
Hometown	Can Tho	88	57,1
	An Giang	30	19,5
	Vinh Long	14	9,1
	Dong Thap	6	3,9
	CaMau	11	7,1
	Tay Ninh	0	0
	Other	3	1,9
	Total	154	100,0
Internship department	Front Office	28	18,2
	Housekeeping	83	53,9
	Restaurant	121	78,6
	Travel	5	3,2
	Other	1	0,6
	Total	238	100,0
Internship duration	Less than 1 month	66	42,9
	1 to 2 months	85	55,2
	2 to 4 months	3	1,9
	Total	154	100,0

Intended employment sector after graduation	Hotel/Accommodation	8	5,2
	Restaurant	36	23,4
	Travel Agency/Ticket Agency	9	5,8
	Tourist Attraction	2	1,3
	Other	1	0,6
	Total	56	100,0
Intended position after graduation	Front Office	3	1,9
	Housekeeping	2	1,3
	Restaurant	31	20,1
	Travel	4	2,6
	Office Staff	5	3,2
	Freelance	8	5,2
	Other	3	1,9
	Total	56	100,0

*(*Source: Authors' compilation.*)*

4.2. Reliability Testing of the Measurement Scales

The reliability test results show that all independent-variable measurement scales have Cronbach's Alpha coefficients greater than 0.6, ranging from 0.796 to 0.816. The observed variables retained after the reliability test were included in the exploratory factor analysis.

4.3. Exploratory Factor Analysis (EFA)

After testing measurement-scale reliability, 21 observed variables meeting the requirements were included in the EFA. The results in Table 2 show that KMO = 0.769, satisfying the condition $0.5 \leq KMO \leq 1$. Bartlett's test has Sig. = 0.000 < 0.05, indicating that the observed variables are correlated and suitable for factor analysis. The EFA extracted five factors with Eigenvalues > 1, with total explained variance reaching 59.029%. Factor loadings ranged from 0.564 to 0.822, all greater than 0.5. The five extracted factors were Academic Factors, Non-academic Factors, Reputation, Access, and Curriculum, which were retained for subsequent analyses.

Table 2. Cronbach's Alpha Reliability Test and EFA of the Measurement Scales

Variables	**Factor loading**	**Eigenvalue**	**Total explained variance**	**KMO**	**Cronbach's Alpha**
Independent variables			59,029	0,769	
Academic Factors		4,433			0,816
HT1	0,787				
HT2	0,725				
HT3	0,764				
HT4	0,760				
HT6	0,564				
Non-academic Factors		2,261			0,812
PH2	0,699				
PH3	0,773				
PH4	0,746				
PH5	0,757				

Reputation		2,130	0,813
DT 1	0,822		
DT2	0,819		
DT3	0,748		
Access		1,855	0,804
TC1	0,726		
TC2	0,791		
TC3	0,722		
TC5	0,754		
Curriculum		1,718	0,796
CT2	0,786		
CT3	0,725		
CT4	0,706		
CT5	0,684		
CT6	0,641		

(Source: Authors' compilation.)

4.4. Linear Regression Analysis

Linear regression analysis was used to evaluate the effects of five factors—Academic Factors, Non-academic Factors, Reputation, Access, and Curriculum—on students' career choice intention in the tourism industry. The results show F = 44.657 with Sig. = 0.000 < 0.05, indicating that the regression model is statistically significant and can be used to explain the relationship between the independent and dependent variables. R^2 = 0.601 indicates that the factors in the model explain 60.1% of the variation in career choice intention, while the remaining 39.9% is explained by factors outside the model. Durbin-Watson = 2.002 indicates that there is no autocorrelation of the residuals.

The regression results show that all factors have positive effects on career choice intention. Academic Factors have the strongest effect with β = 0.472, followed by Reputation with β = 0.291, Non-academic Factors with β = 0.207, and Curriculum with β = 0.122. Thus, Academic Factors are the most prominent determinant of students' intention to work in the tourism industry. This result suggests that improving teaching quality, learning support, and career orientation can contribute to encouraging students to choose employment in the tourism industry after graduation.

Table 3. Results of the Regression Model

Variables	**β**	**t**	**significance**	**VIF**
Constant:		-0,426	0,671	
Academic Factors	0,408	7.419	0,000	1,124
Non-academic Factors	0,207	3.695	0,000	1,162
Reputation	0,291	5.348	0,000	1,101
Access	0,134	2.447	0,016	1,106
Curriculum	0,212	3.869	0,000	1,118
Number of observations	154			
R-squared	0,588			
F	44,657			
Prob>F	0,000			

5. CONCLUSION AND POLICY IMPLICATIONS

5.1. Conclusion

Based on the results of the research model analysis and testing, it can be concluded that the study achieved its stated objectives. The study was conducted on 154 observations of students majoring in Tourism and Travel Services Management, using a quantitative method combined with Cronbach's Alpha reliability testing, exploratory factor analysis (EFA), and linear regression in SPSS. The analysis results show that five factors affect students' intention to work in the tourism industry: Academic Factors, Reputation, Curriculum, Non-academic Factors, and Access. Academic Factors have the strongest effect, followed by Reputation, Curriculum, Non-academic Factors, and Access. The results show that lecturer quality, institutional reputation, and the suitability of the curriculum play important roles in shaping students' career intentions. In addition, factors related to support activities and access to information also contribute to creating a favorable learning environment and strengthening career orientation. In practical terms, the study provides a reference basis for the School of Economics, Can Tho University, to improve training quality, develop its lecturer team, and enhance student support services, thereby contributing to students' intention to work in the tourism industry and meeting the human resource needs of the market.

5.2. Policy Implications

The School of Economics, Can Tho University should focus on improving training service quality to contribute to strengthening students' intention to work in the tourism industry. First, the university should prioritize improving lecturer quality by updating professional knowledge, strengthening practical experience, and innovating teaching methods, particularly the ability to connect theoretical knowledge with the practical requirements of the tourism industry. In addition, the university should continue improving the curriculum in a direction that is appropriate to labor-market needs, increase practical and experiential courses, and create opportunities for students to interact with tourism businesses. At the same time, the university should maintain and enhance its training reputation through teaching quality, training outcomes, and linkages with businesses in the industry.

For non-academic and access factors, the university should establish and maintain a practical student support system, including stronger career counseling, sharing sessions with businesses and alumni, and regular provision of information about internship positions, recruitment, and career opportunities in the tourism industry through official university communication channels. In addition, activities connecting students with businesses, such as job fairs, business visits, and career-experience programs, should be organized to help students gain direct exposure to working environments and establish an appropriate career orientation. Implementing these solutions will contribute to improving access to information, increasing students' understanding of career opportunities, and strengthening their intention to work in the tourism industry after graduation.

ACKNOWLEDGMENTS AND FUNDING

This research was financially supported by Can Tho University under the 2026 student scientific research project for the high-quality program. The authors sincerely thank the lecturers who provided guidance and the respondents who participated in the survey and supported the completion of this study.

ACADEMIC INTEGRITY AND AI USE STATEMENT

The authors declare that this paper is an original research work, has not previously been published, and complies with academic integrity standards. All data, citations, and inherited materials are clearly and accurately sourced in accordance with academic standards. In addition, the study used AI tools (ChatGPT and Grok) to support information searching and suggest improvements in wording. All survey data, analyses, and conclusions were directly conducted by the authors.

REFERENCES

Ahmad Jusoh, A., Omain, S. Z., Abdul Majid, N., Md Som, H., & Shamsuddin, Ahmad Jusoh, A., Omain, S. Z., Abdul Majid, N., Md Som, H., & Shamsuddin, A. S. (2004). Service quality in higher education: Management students' perspective. https://repo.uum.edu.my/id/eprint/2899/

Anthony, G., Mensah, I., & Amissah, E. F. (2023). Factors influencing undergraduate hospitality students' intentions to choose careers in the hospitality industry. Journal of Hospitality & Tourism Education, 35(4), 317–332. https://doi.org/10.1080/10963758.2021.1963754

Banahene, S., Kraa, J. J., & Kasu, P. A. (2018). Impact of HEdPERF on students' satisfaction and academic performance in Ghanaian universities: Mediating role of attitude towards learning. Open Journal of Social Sciences, 6, 96–119. https://doi.org/10.4236/jss.2018.65009

Đàm Trí Cường. (2015). Mô hình các thành phần chất lượng đào tạo đại học và ý nghĩa của nó đối với việc đào tạo đại học ở Việt Nam hiện nay. https://tapchikhqlgd.edu.vn/wp-content/uploads/2023/11/07-DAM-TRI-CUONG.pdf

Ford, J. B., Joseph, M., & Joseph, B. (1999). Importance-performance analysis as a strategic tool for service marketers: The case of service quality perceptions of business students in New Zealand and the USA. Journal of Services Marketing, 13(2), 171–186. https://doi.org/10.1108/08876049910266068

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2009). Multivariate data analysis (7th ed.). Prentice Hall.

Harvey, L., & Green, D. (1993). Defining quality. Assessment & Evaluation in Higher Education, 18(1), 9–34. https://doi.org/10.1080/0260293930180102

Jiang, B., & Tribe, J. (2009). Tourism jobs – short lived professions: Student attitudes towards tourism careers in China. Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education, 8(1). https://doi.org/10.3794/johlste.81.168

Jepsen, D. M., & Neumann, R. (2010). Undergraduate student intentions for postgraduate study. Journal of Higher Education Policy and Management, 32(5), 455–466. https://doi.org/10.1080/1360080X.2010.511118

Kahraman, O., & Demirdelen Alrawadieh, D. (2021). The impact of perceived education quality on tourism and hospitality students' career choice: The mediating effects of academic self-efficacy. Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education, 29, 100333. https://doi.org/10.1016/j.jhlste.2021.100333

Kelley-Patterson, D., & George, C. (2001). Securing graduate commitment: An exploration of the comparative expectations of placement students, graduate recruits and human resource managers within the hospitality, leisure and tourism industries. International Journal of Hospitality Management, 20(4), 311–323. https://doi.org/10.1016/S0278-4319(01)00019-6

Korir, J., & Wafula, W. (2012). Factors that influence career choice of hospitality students in Moi University, Kenya. Journal of Education and Practice, 3(14), 83–90. https://www.academia.edu/61086280/Factors_that_Influence_Career_Choice_of_Hospitality_Students_in_Moi_University_Kenya

Kusluvan, S., & Kusluvan, Z. (2000). Perceptions and attitudes of undergraduate tourism students towards working in the tourism industry in Turkey. Tourism Management, 21, 251–269. https://doi.org/10.1016/S0261-5177(99)00057-6

Lê Thái Phượng. (2021). Các nhân tố ảnh hưởng đến quyết định chọn ngành du lịch của sinh viên đại học thuộc khu vực miền Trung sau tác động của Covid–19. Hue University Journal of Science: Economics and Development, 130(5A). https://doi.org/10.26459/hueunijed.v130i5A.6033

Mahfud, T., Indartono, S., Saputro, I., & Utari, I. (2019). The effect of teaching quality on student career choice: The mediating role of student goal orientation. Integration of Education, 23(4), 541–555. https://doi.org/10.15507/1991-9468.097.023.201904.541-555

Nguyễn Đình Thọ. (2011). Phương pháp nghiên cứu khoa học trong kinh doanh. Nhà xuất bản Lao động Xã hội. https://thuvienso.thanglong.edu.vn/handle/TLU/9

Nguyễn Quốc Nghi và cộng sự. (2012). Các nhân tố ảnh hưởng đến mức độ hài lòng của sinh viên đối với chất lượng đào tạo ngành du lịch của các trường đại học ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ, (22b), 265–272. https://ctujsvn.ctu.edu.vn/index.php/ctujsvn/article/view/1255

Nguyễn Thị Bảo Châu, & Thái Thị Bích Châu. (2013). Đánh giá mức độ hài lòng của sinh viên đối với chất lượng đào tạo của Khoa Kinh tế và Quản trị kinh doanh Trường Đại học Cần Thơ giai đoạn năm 2012–2013. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ, (28), 117–123. https://ctujsvn.ctu.edu.vn/index.php/ctujsvn/article/view/1691

Nguyễn Thị Thu Hậu, & Trần Thị Hồng Diễm. (2024). Các nhân tố ảnh hưởng đến định hướng nghề nghiệp của sinh viên ngành kế toán tại Trường Đại học Phan Thiết. https://scholar.dlu.edu.vn/thuvienso/bitstream/DLU123456789/281400/1/93579-325-201111-1-10-20240401.pdf

O'Neil, M. A., & Palmer, A. (2004). Importance-performance analysis: A useful tool for directing continuous quality improvement in higher education. Quality Assurance in Education, 12(1), 39–52. https://doi.org/10.1108/09684880410517423

Phạm Thị Liên. (2016). Chất lượng dịch vụ đào tạo và sự hài lòng của người học: Trường hợp Trường Đại học Kinh tế, Đại học Quốc gia Hà Nội. Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội, 32(4), 81–89.

Phan Lê Hiền My và cộng sự. (2022). Các yếu tố ảnh hưởng đến định hướng nghề nghiệp của sinh viên Trường Du lịch – Đại học Huế. https://scholar.dlu.edu.vn/thuvienso/bitstream/DLU123456789/270543/1/81835-1237-187833-1-10-20230719.pdf

Schein, E. H. (1978). Career dynamics: Matching individual and organizational needs. Addison-Wesley Publishing Company. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:153340587

Sultan, P., & Wong, H. Y. (2010). Performance-based service quality model: An empirical study on Japanese universities. Quality Assurance in Education, 18(2), 126–143. https://doi.org/10.1108/09684881011035349

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). Using multivariate statistics (5th ed.). Allyn and Bacon.

Trần Thị Dương Liễu. (2014). Định hướng nghề nghiệp của sinh viên chuyên ngành Tâm lý học ở một số trường đại học tại Thành phố Hồ Chí Minh [Luận văn thạc sĩ Tâm lý học]. https://thuvienso.net/document/view/luan-van-thac-si-tam-li-hoc-dinh-huong-nghe-nghiep-cua-sinh-vien-chuyen-nganh-tam-ly-hoc-o-mot-so-truong-dai-hoc-tai-thanh-pho-ho-chi-minh-738564

Trần Thị Phụng Hà. (2014). Định hướng giá trị nghề nghiệp của sinh viên Đại học Cần Thơ. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ, (34), 113–125. https://ctujsvn.ctu.edu.vn/index.php/ctujsvn/article/view/1513

Trương Thị Mỹ Phượng, & Đỗ Thị Thúy Duy. (2023). Các yếu tố ảnh hưởng đến định hướng nghề nghiệp của sinh viên điều dưỡng. https://journal.yersin.edu.vn/Data/Upload/MagazineArticle/21/8.%20Truong%20Thi%20My%20Phuong%20-%20KHCN%20(76-84).pdf

Wentling, T. L. (1993). Planning for effective training: A guide to curriculum development. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:107608938

Xu, W., & Han, G. (2023). The educational quality perception, professional interest, and career choices among hospitality postgraduate students. African Journal of Reproductive Health, 27(2), 92–100. https://doi.org/10.29063/ajrh2023/v27i2.10.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ASSESSMENT OF THE CURRENT AVERAGE EXPENDITURE STRUCTURE OF TOURISTS VISITING CAN THO, VIETNAM

Xuan-Mai Thi DAO
Can Tho University

My-Nhu Thi PHAN
Can Tho University

My-Huong Thi NGUYEN
Can Tho University

Mong-Chuc TRAN
Can Tho University

Phuong-Thao Le VO
Can Tho University

Truong-Huy HUYNH
Can Tho University
ORCID: 0000-0001-7006-6185

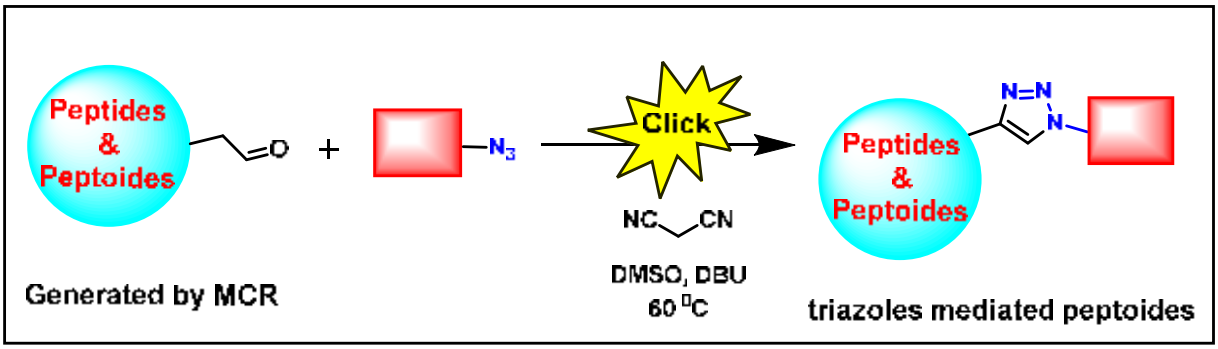
ABSTRACT
Tourism expenditure is an important economic indicator that reflects the contribution of tourists to destinations and local economies. However, in Can Tho City, empirical studies that examine tourist expenditure and its structure remain limited, particularly during the recovery and restructuring of tourism activities following the COVID-19 pandemic. This study explores the spending patterns of domestic tourists visiting Can Tho City. Using survey data, the study applies descriptive statistics in SPSS to analyze tourists' expenditure. The descriptive statistics provide an overview of tourists' expenditure levels and the distribution of spending across major categories. The study examines the current situation of tourism expenditure among tourists visiting Can Tho City. The study provides practical implications for tourism businesses and local authorities to develop suitable products and services that encourage higher tourist spending and support the economic recovery and development of Can Tho's tourism sector.
Keywords: Tourist expenditure, domestic tourists, average spending, expenditure structure, Can Tho's tourism sector

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

A GREENER 1,3-DIPOLAR CYCLOADDITION APPROACH FOR THE PEPTOID MODIFICATION CHEMISTRY

Dr. Akbar Ali
Department of Chemistry, Government College University Faisalabad,

Abstract
A new greener and highly regioselective formation of peptoid-functionalized 1,4-disubstituted-1,2,3-triazoles is described by merging the Ugi-4CR and metal-free click reactions. The MCR generated peptoids with the insertion of a varity of natural carboxylic acids, as well as synthetic peptides. Furthermore, modified lipids and monofunctional polyethylene glycols have also been utilized as substrates for this protocol. Finally, the aldehyde moiety presented at the peptoid framework reacted with malononitrile to generate in situ alkylidene malononitriles, which act as dipolarophiles in the presence of DBU in the 1,3-dipolar cycloaddition reaction in a metal-free condition for the generation of complex peptidomimetic products.
Keywords: Metal-free, Cycloaddition reaction, Ugi-4CR, Highly regioselectivity, Peptoids.



ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

SCIENTIFIC IDENTIFICATION OF BLACK PEPPER FOR MEDICINE

Assistant Professor Dwadasi Venkata Sushma Chandra
Dept. of Biochemistry, GVP College for PG AND Degree courses

Associate Professor Kavirayani Srikanth
Dept. of EEE, GVP College of Engg(A)

Abstract
Piper nigrum L. also known as black pepper is often termed the "King of Spices," plays a critical role in both culinary and pharmaceutical applications due to its high concentration of bioactive compounds—primarily piperine—which offer antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties. This study proposes classifying black papper based on physical features (color, texture, size, and shape) extracted via computer vision combined with spectral profile data (e.g., Near-Infrared Spectroscopy) serve as input descriptors for medicinal quality grading. A Random Forest (RF) classification model was selected due to its robustness against overfitting, ability to handle high-dimensional multi-modal feature spaces, and intrinsic feature importance estimation.The idea suggests taking raw image and spectral data using noise reduction, contrast normalization, and Principal Component Analysis (PCA) for dimensionality reduction. The Random Forest ensemble model is trained on distinct quality grades of black pepper categorized by their medicinal viability (e.g., High-Piperine/Medicinal Grade vs. Commercial/Adulterated Grade). Experimental evaluations show that the proposed Random Forest model achieves high classification accuracy, outperforming conventional single-decision-tree models and Support Vector Machines (SVM). Feature importance analysis indicates that color intensity, surface micro-texture, and specific spectral absorption peaks (corresponding to piperine content) are key indicators for medicinal quality verification. The proposed methodology presents an efficient, reliable, and scalable approach for automated quality control in herbal medicine manufacturing and pharmaceutical supply chains.
Keywords: Black Pepper (Piper nigrum), Medicinal Quality, Random Forest Classifier, Feature Extraction, Quality Control, Bioactive Compounds.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

A STUDY ON DYES AND MORDANTS OF KHAN-GEUM (韓錦), ANCIENT SILK TEXTILES EXCAVATED FROM THE TAKLAMAKAN DESERT

Hyo Jeong Lee
Dept. of Fashion Design & Textiles, Inha University

Youngjoo Na
Dept. of Fashion Design & Textiles, Inha University

Abstract

The 1st-century ancient silk textile, Khan-Geum(韓錦), excavated from the Taklamakan Desert, features diverse colors and the Chinese characters "Khan In Su Mun Jang (韓仁繡文長)". Although sometimes classified as a Han Dynasty artifact, its potential origin in ancient Korea is suggested by the cultural context of the Silk Road, similarities to Goguryeo costume traditions, and the preference for purple in Goguryeo.

This study utilized non-destructive analytical techniques—FTIR, EDX, and Raman spectroscopy—to analyze the silk substrates, inorganic mordants, and natural dyes across the five colors of Khan-Geum. FTIR spectroscopy confirmed the chemical structure of the silk fibroin substrate and distinguished the functional group signatures of the natural dyes. EDX quantitatively analyzed the inorganic elemental content of each color to identify mordant components, while Raman spectroscopy identified specific dye types by analyzing characteristic molecular spectral peaks.

The analysis revealed that the beige fabric was undyed. The orange fabric showed a mixed mordant of iron and aluminum, indicating the possible use of madder or yellow dyes. The purple fabric contained aluminum, iron, and copper, supporting the possibility of over-dyeing with indigo and red dyes (madder, safflower). The green fabric, with copper, iron, and aluminum, suggested a mixture of yellow and blue dyes. The blue fabric, showing aluminum, copper, iron, cobalt, and nickel, clearly indicated the use of indigo dye.

This research demonstrates that Khan-Geum is a product of advanced dyeing technology and cultural exchange in ancient Korea. The complex use of mordants and dyes highlights the sophistication of ancient techniques and suggests the dissemination of dyes via the Silk Road.

Keywords: Khan-Geum(韓 錦), Silk Road, Dye, FTIR, EDX, Raman spectroscopy

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BIOGENIC HYBRID NANOPARTICLES OF GEMCITABINE AND IRON OXIDE FOR THE TREATMENT OF COLORECTAL CANCER AND ASSOCIATED ANEMIA

Rashna Mirza
Department of Pharmacy, Faculty of Biological Sciences, Quaid-i-Azam University

Asim Ur Rehman
Department of Pharmacy, Faculty of Biological Sciences, Quaid-i-Azam University

Aqeedat Javed
Department of Pharmacy, Faculty of Biological Sciences, Quaid-i-Azam University

Salman Khan
Department of Pharmacy, Faculty of Biological Sciences, Quaid-i-Azam University

Naveed Ahmed
Department of Pharmacy, Faculty of Biological Sciences, Quaid-i-Azam University

Naz Dilawar
Department of Pharmacy, Faculty of Biological Sciences, Quaid-i-Azam University

Weisheng Guo
Department of Minimally Invasive Interventional Radiology, The Second Affiliated Hospital, School of Biomedical Engineering, Guangzhou Medical University

Kifayat Ullah Shah
Department of Pharmacy, Faculty of Biological Sciences, Quaid-i-Azam University

Abstract
Colorectal cancer (CRC) accompanied by iron deficiency anemia presents a significant therapeutic challenge, necessitating treatment strategies that simultaneously suppress tumor progression and restore iron homeostasis. Herein, a biomimetic multifunctional hybrid nanoparticle (HYB-NPs) platform was developed for the concurrent treatment of CRC and anemia. Gemcitabine was encapsulated within pectin nanoparticles and subsequently coated with platelet membranes through mild sonication to improve tumor-targeted delivery. Molecular docking demonstrated strong interactions between platelet membrane proteins and CD44 receptors, supporting receptor-mediated tumor recognition. Biogenic iron oxide nanoparticles were further integrated onto the platelet membrane-coated nanoparticles via calcium-mediated bridging, thereby enabling simultaneous chemotherapy and iron supplementation. The optimized HYB-NPs exhibited a particle size of 182 ± 2 nm, a zeta potential of −30.8 ± 2.6 mV, and high encapsulation efficiencies for gemcitabine (82 ± 2.0%) and iron (86 ± 1.0%), indicating excellent physicochemical stability. Characterization using Fourier transform infrared spectroscopy, X-ray diffraction, energy-dispersive X-ray spectroscopy, and scanning electron microscopy confirmed successful nanoparticle fabrication, structural integrity, elemental composition, and spherical morphology. *In vitro* studies revealed sustained tumor-responsive gemcitabine release, controlled iron release, enhanced cellular uptake, and superior cytotoxicity against HT-29 cells.

HYB-NPs also induced apoptosis and favorably modulated inflammatory cytokines, supporting restoration of antitumor immune responses. *In vivo* studies demonstrated excellent biocompatibility, prolonged systemic circulation, significant tumor inhibition (87.5 ± 1.2%), improved survival, and restoration of iron homeostasis in a 1,2-dimethylhydrazine-induced CRC model. These findings highlight HYB-NPs as a promising biomimetic nanoplatform for targeted CRC therapy with simultaneous anemia management.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ANTITUBERCULAR ACTIVITY OF BIOPOLYMER CONJUGATES OF ACID HYDRAZIDES AND N-PROTECTED PARA AMINOBENZOIC ACID: MECHANISTIC INSIGHTS FROM MOLECULAR DOCKING AND IN VITRO SUSCEPTIBILITY TESTING

A.O. Ebune
Department of Chemistry, Faculty of physical Science, Federal University Lokoja
ORCID: 0009-0003-1709-7785

N.M. Bello
Department of Chemistry, Faculty of Science, Nigeria Police Academy Wudil

I.G. Osigbemhe
Department of Chemistry, University of Benin, Benin City

A.U. Atumeyi
Department of Chemistry, Faculty of physical Science, Federal University Lokoja

K.B. Ahamad
Department of Chemistry, Faculty of physical Science, Federal University Lokoja

M. Raji
Department of Microbiology and Biotechnology, Federal University Dutse

W.O. Anthony
Department of Chemistry, Faculty of physical Science, Federal University Lokoja

S.A. Audu
Department of Chemistry, Prince Abubakar Audu University

Abstract
The emergence of drug-resistant Mycobacterium tuberculosis (Mtb) and the limitations associated with the existing antitubercular agents underscore the need for new therapeutic strategies. This study investigated the antitubercular potentials of biopolymer conjugates derived from acid hydrazides and N-protected p-amino benzoic acid, integrating structural characterization, in vitro susceptibility testing, and molecular docking analysis. The synthesized conjugates were characterized using Fourier-transformed infrared spectroscopy (FTIR) and scanning electron microscopy (SEM), which confirmed chemical modification and revealed a fissured, lamellar surface morphology following conjugation. In vitro antimycobacterial evaluation against Mtb demonstrated MIC values ranging from 0.25-10000 µg/mL, indicating substantial variation in activity among the conjugates. To provide mechanistic insight into the observed activity, molecular docking was performed against enoyl-acyl carrier protein reductase (InhA), a validated target involved in mycolic acid biosynthesis in Mtb. Among the investigated molecular fragments, cellulose showed the most favorable predicted binding energy (ΔG = -6.7 kcal/mol), followed by benzocaine and cellobiose (ΔG = -6.7 kcal/mol each). Collectively, the experimental and computational findings demonstrate that appropriately designed biopolymer conjugates can retain antimycobacterial activity and interact favorably with a key enzyme involved in mycobacterial-cell envelope biosynthesis.

The study provides a preliminary framework for developing biopolymer-based antitubercular candidates and supports further optimization and mechanistic evaluation of the most active conjugates.

Keywords: Biopolymer, *Mycobacterium tuberculosis,* acid hydrazides, N-protected p-amino benzoic acid, enoyl-acyl carrier protein reductase

1.0 Introduction

Tuberculosis (TB) remains one of the most infectious diseases worldwide and continues to pose a major public health challenge, particularly in developing nations (Garcia-Basteiro et al., 2024; Zenner et al., 2027). The disease is caused by *Mycobacterium tuberculosis* (Mtb), a highly adapted intracellular pathogen characterized by a lipid-rich and structurally complex cell envelop that contribute to its persistence, pathogenicity, and reduced susceptibility to many antimicrobial agents (Mohammadnabi et al., 2024; Schami et al., 2023; van der Klugt et al., 2025). Although effective antitubercular chemotherapy is available, treatment is often prolonged and requires the administration of multiple drugs, which can be associated with toxicity, drug-drug interactions, and emergence of resistant strains (Johnson et al., 2024; Maranchick and Peloquin, 2024; Wei et al., 2024). The increasing occurrence of multidrug-resistant TB further emphasizes the need for new chemical entities and alternative therapeutic strategies capable of improving treatment outcomes.

The discovery of structurally diverse antitubercular agents remain an important area of medicinal chemistry research. In this context, acid hydrazides have attracted considerable interest because of their versatile chemical reactivity and broad biological potential. The hydrazide functional group can participate in hydrogen bonding interactions with biological macromolecules and can be readily modified to provide diverse derivatives with altered physicochemical and pharmacological properties (Carreiras and Marco-Contelles, 2024; Murugappan et al., 2024). Similarly, p-amino benzoic acid (PABA) represents an important pharmacophoric framework in antimycobacterial drug discovery because of its relationship with folate metabolism in mycobacteria (Guida et al., 2024; London, 2024; Singha et al., 2024). Appropriate protection and functionalization of the amino group of PABA can modify its electronic and steric characteristics and facilitates incorporation into novel conjugate architectures.

Biopolymers provide an additional platform for the development of biologically active conjugates because of their structural diversity, functional group availability, and capacity to serve as molecular scaffolds or delivery matrices (Jabeen and Atif, 2024; Li et al., 2025). Conjugation of bioactive small molecules to a biopolymer backbone can modify their physicochemical characteristics and may influence solubility, stability, cellular interactions, and biological availability (Abbasi et al., 2023; Zhu et al., 2024). In particular, combining a biopolymer framework with pharmacologically relevant acid hydrazides and N-protected PABA derivatives offers an attractive strategy for generating structurally novel compounds with potential antimycobacterial activity.

Despite continued efforts to identify new antitubercular chemotypes, there remains a need for studies that integrate the synthesis and biological evaluation of structurally novel conjugates with computational approaches capable of rationalizing their activity. In particular, limited information is available regarding the antimycobacterial potential and target-level interactions of biopolymer conjugates incorporating acid hydrazides and N-protected PABA frameworks. The present study therefore investigates the antitubercular activity of biopolymer conjugates of acid hydrazides and N-protected PABA using a complementary *in vitro* susceptibility and molecular docking approach.

The synthesized conjugates were evaluated against *M. tuberculosis* to establish their susceptibility profiles, while molecular docking was employed to explore their potential interactions with selected mycobacterial protein target. By integrating experimental activity with predicted binding modes and ligand-residue interactions, this study seeks to provide mechanistic insights into the structural features that may contribute to antitubercular activity of the conjugates.

2.0 Materials and Methods

2.1 Reagents and biological material

Sugarcane bagasse, crustacean shell, sodium hydroxide, sodium chlorite, glacial acetic acid, hydrochloric acid, glutaraldehyde, 1 ethyl 3 (3 dimethylaminopropyl) carbodiimide hydrochloride, N-hydroxysuccinimide, para aminobenzoic acid, acetic anhydride and hydrazine hydrate were of analytical grade and were used as received. Solvents were dried by standard procedures where anhydrous conditions were required. Mycobacterium tuberculosis H37Rv [ATCC 27294] was maintained on Lowenstein Jensen medium and subcultured into Middlebrook 7H9 broth supplemented with oleic acid, albumin, dextrose and catalase for susceptibility testing.

2.2 Recovery of cellulose from sugarcane bagasse

Milled bagasse was dewaxed by Soxhlet extraction with a toluene and ethanol mixture, delignified by successive treatment with acidified sodium chlorite at 75 ^{0}C, and treated with alkali to remove residual hemicellulose. The bleached pulp was washed to neutrality, dried to constant mass and stored over silica gel. Yield and residual lignin content were determined gravimetrically (Ebune et al., 2026a).

2.3 Preparation of chitosan

Shell material was demineralized in dilute hydrochloric acid, deproteinized in dilute sodium hydroxide and decolorized, and the resulting chitin was deacetylated in concentrated sodium hydroxide at elevated temperature (Percot et al., 2003). The degree of deacetylation was determined by potentiometric titration and confirmed by infrared spectroscopy.

2.4 Synthesis of the conjugates

Para aminobenzoic acid was protected at the aromatic amine by acetylation to give the N acetyl derivative, which was esterified and converted to the corresponding acid hydrazide by treatment with hydrazine hydrate under reflux. Coupling to the polysaccharide backbone was achieved by two routes. In the carbodiimide route, carboxyl functions introduced onto the polysaccharide were activated with 1 ethyl 3 (3 dimethylaminopropyl) carbodiimide and N hydroxysuccinimide in aqueous medium at controlled pH and reacted with the hydrazide to form the amide linkage. In the aldehyde route, glutaraldehyde was used to form a Schiff base with the free amino functions of chitosan, followed by reduction where a stable secondary amine was required. Reaction time, temperature, pH and molar ratio were varied systematically to maximise the extent of substitution while limiting depolymerisation. Products were dialysed exhaustively against deionised water, lyophilised and stored desiccated (Ebune et al., 2026b; Furniss et al., 1989; Haroon et al., 2023; Muzzarelli, 1980). Four conjugates, designated Conjugate 1 to Conjugate 4, were carried forward.

2.5 Physicochemical characterization

Fourier transform infrared spectra were recorded in the range 4000 to 400 reciprocal centimeters using potassium bromide discs, with the unmodified polysaccharides and the free hydrazide run as controls. Surface morphology was examined by scanning electron microscopy at accelerating voltage 10.00 kilovolts and working distance 11.2 to 11.5 millimeters, on gold sputtered specimens, at magnifications of 100, 250 and 1000 diameters.

2.6 Antimycobacterial susceptibility testing

Minimum inhibitory concentrations were determined by the colorimetric resazurin microtitre assay, a method whose agreement with the reference proportion method for Mycobacterium tuberculosis is well established (Palomino et al., 2002). Conjugates were dissolved or dispersed in the assay medium with a final dimethyl sulfoxide concentration not exceeding [value] per cent by volume and serially diluted twofold across the range 10000 to [lowest] micrograms per millilitre in Middlebrook 7H9 broth in ninety-six well plates. Each well was inoculated with a suspension standardised to McFarland 1 and diluted as required, and plates were incubated at 37 degrees Celsius for seven days before addition of resazurin and a further twenty-four to forty-eight hours of incubation. The minimum inhibitory concentration was recorded as the lowest concentration preventing the colour change from blue to pink. Minimum bactericidal concentrations were determined by subculture from wells showing no colour change onto drug free solid medium. Isoniazid and rifampicin were included as positive controls, and vehicle, growth and sterility controls were run on every plate. All determinations were performed in triplicate on three independent occasions.

2.7 Molecular docking procedure

The conjugates are heterogeneous macromolecules and were not themselves docked; the ligands were their chemically distinct constituents. The campaign is therefore a fragment level deconstruction, an approach with a long and respectable history in structure guided design, but one whose outputs describe the fragments and not the assembled conjugate. Consequently, the fragments, including benzocaine, polysaccharide backbone represented by cellobiose and cellulose (being modelled as a two ring repeating fragment), hydrazine, fatty acid methyl ester (represented by methyl palmitate) alongside isoniazid standard drug (Figure 1) were docked with the active site of enoyl-acyl carrier protein reductase (InhA). Prior to molecular docking calculations, the molecules were subjected to geometry optimization using semi-empirical PM3 method implemented in Spartan'14 v.1.1.4 computational environment (Ameji et al., 2025; Wang et al., 2026). Geometry optimization was performed on the fragments and the reference drug in order to obtain stable molecular conformations, and minimize molecular strain and steric clashes.

The three-dimensional crystal structure of enoyl-acyl carrier protein reductase (InhA) (PDB ID: 5JFO) was retrieved from the RCSB Protein Data Bank library. Prior to docking, the protein structure was prepared using Discovery studio v6.1.0.15350 (Pawar and Rohane, 2021) by removing the co-crystalized ligand, crystallographic water molecules, and other non-essential heteroatoms to generate a clean receptor structure. The protein preparation was completed on the *AutoDock v4.2* tool interface where polar hydrogen atoms and Kollman partial charges were assigned to the receptor. The optimized ligands were processed by identifying rotatable bonds and assigning Gasteiger partial charges using *AutoDock v4.2* tool. Molecular docking simulation was subsequently carried out with the aid of *PyRx* v0.8 (Dallakyan and Olson, 2015). The search space was defined by centering the grid box at x = -42.205 Å, y = -7.180 Å, z = 29.409 Å, with grid dimensions of x = 52.0 Å, y = 53.11 Å, z = 48.814 Å to encompass the receptor's active site.

Following molecular docking, the binding orientations and intermolecular interactions between the ligands and the receptor were examined using Discovery studio v6.1.0.15350 (Pawar and Rohane, 2021). To verify the reliability of the docking protocol, a re-docking procedure was performed by docking into the InhA binding pocket, isoniazid, a standard pharmacological inhibitor of InhA. The accuracy of the protocol was assessed by calculating the average root-mean-square deviation of the binding poses.

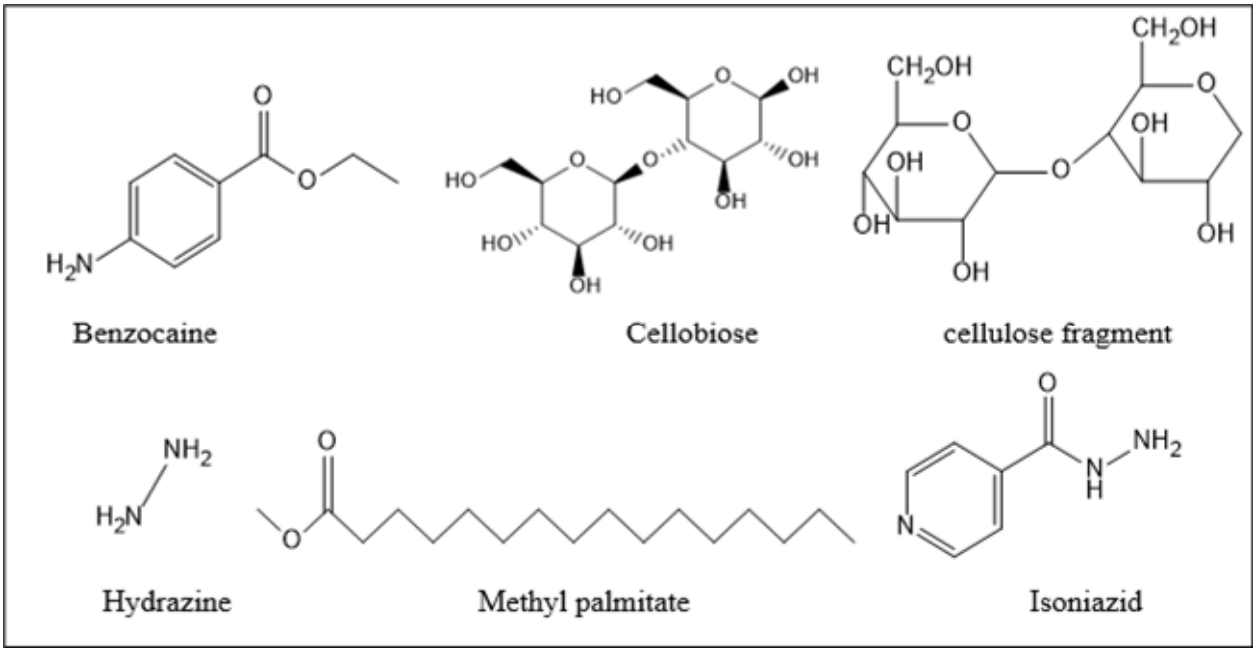


Figure 1: 2D chemical architecture of the fragments and the reference drug

2.0 Results and discussion

2.1 Conjugate formation and surface morphology

Infrared spectra of the conjugates displayed absorptions near 1650 and 1540 cm^{-1} (Figure 2), assignable to the amide I carbonyl stretch and the amide II combination of nitrogen to hydrogen bending and carbon to nitrogen stretching. Neither band is present in the spectrum of unmodified cellulose, and in chitosan the corresponding region is dominated by the residual acetamido signal of incompletely deacetylated units, which was accounted for by reference to the deacetylation degree determined. Taken with the attenuation of the primary amine bending mode of chitosan and the appearance of absorptions consistent with the aromatic ring of the para aminobenzoic acid fragment, the spectra are consistent with covalent amide linkage rather than physical admixture.

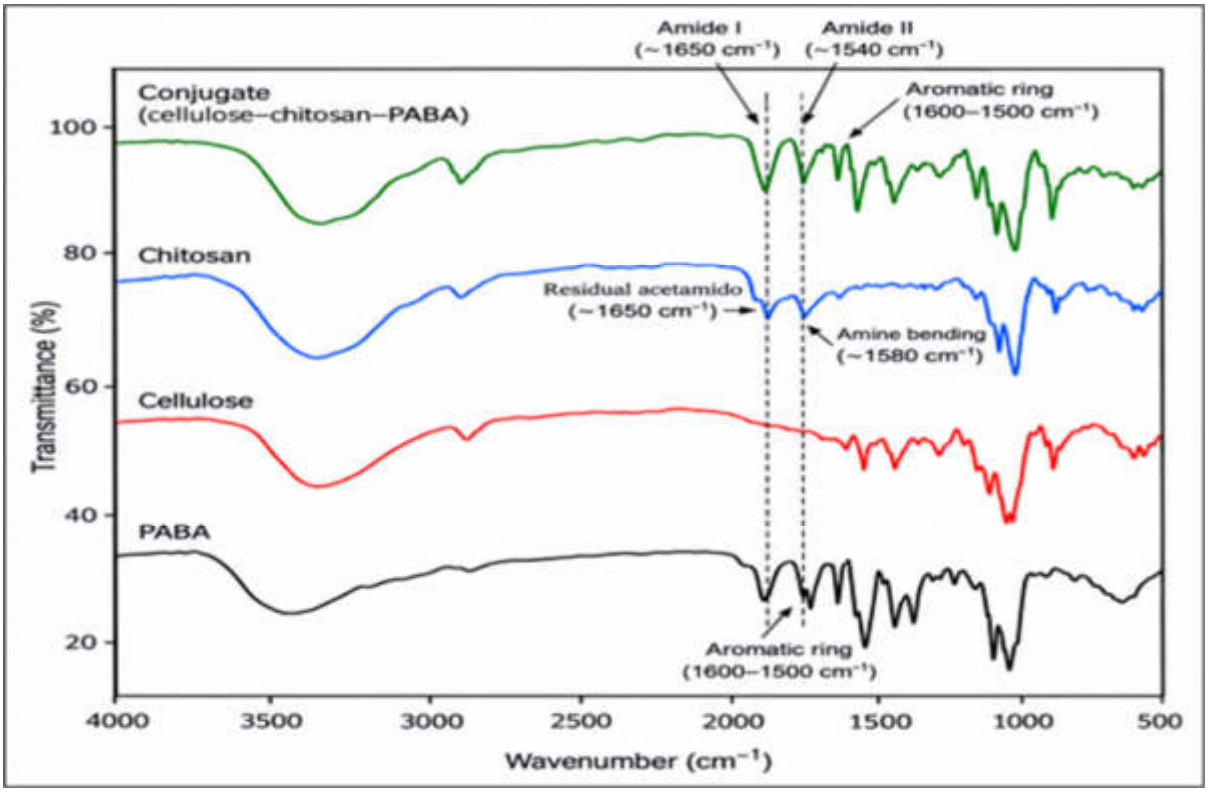


Figure 2: Representative Fourier transform infrared spectrum of the biopolymer conjugates and the reference materials.

Scanning electron microscopy revealed a pronounced change in surface architecture on conjugation. At 100 diameters the conjugate presents an irregular, fissured landscape of overlapping lamellae (Figure 3a); at 250 diameters the fibrillary substructure and the interstitial voids between bundles become resolvable (Figure 3b); and at 1000 diameters the surface is seen to be finely corrugated rather than smooth (Figure 3c). The unmodified polysaccharides, by contrast, presented comparatively compact and featureless surfaces. The practical significance of this change is not that it demonstrates conjugation, which the infrared data address, but that it bears on transport: a porous, high surface area matrix increases the interfacial area available for solvent ingress and for diffusive release of a linked payload, and is the morphology one would seek in a controlled release carrier.

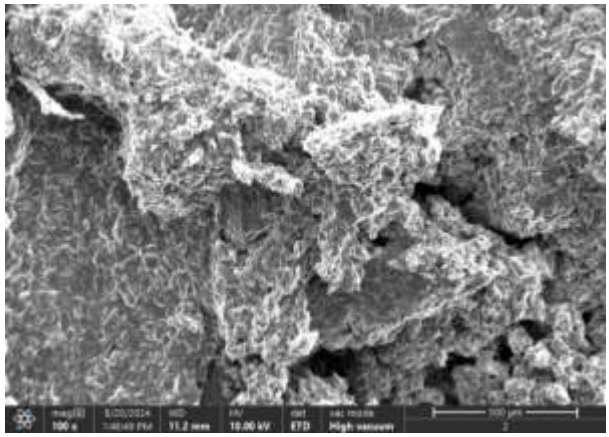


Figure 3a. Scanning electron micrograph of the biopolymer conjugate at 100 diameters, showing the fissured lamellar surface generated by conjugation. Scale bar 500 micrometres.

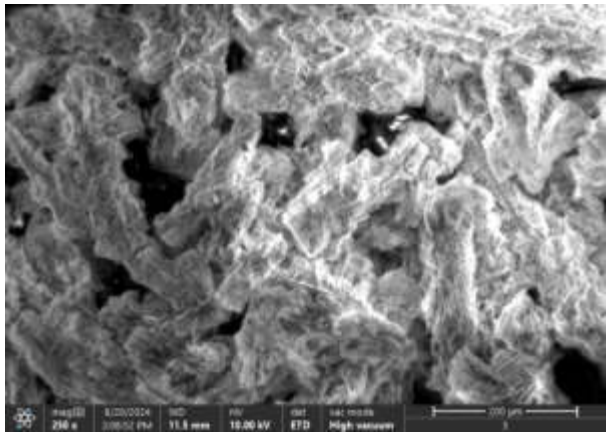


Figure 3b. Scanning electron micrograph at 250 diameters, resolving the fibrillar substructure and interstitial voids. Scale bar 200 micrometres.

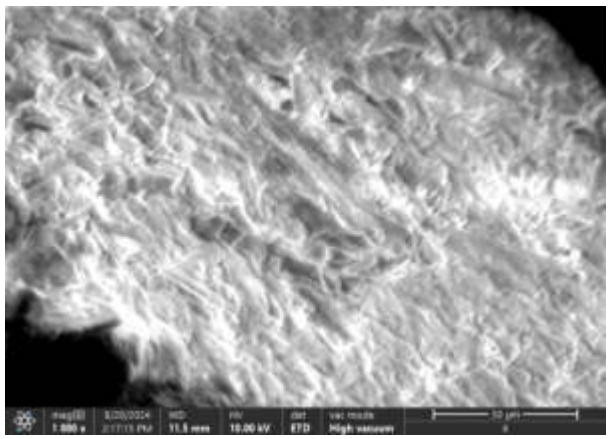


Figure 3c. Scanning electron micrograph at 1000 diameters, showing fine surface corrugation. Scale bar 50 micrometres.

2.2 Whole cell antimycobacterial activity

The minimum inhibitory concentration (MIC) data (Table 1) demonstrate marked differences in the antimycobacterial activity of the synthesized polysaccharide conjugates against *Mycobacterium tuberculosis* (Mtb). Among the conjugates, conjugate 1 (MIC = 0.25 µg/L) showed the most pronounced inhibitory activity, followed by conjugate 2 (MIC = 1.05 µg/L). In contrast, conjugate 3 (MIC = 1250 µg/L) and conjugate 4 (MIC = 10000 µg/L) showed substantially weaker activity, indicating that conjugation to the polysaccharide scaffold does not necessarily translate into enhanced antimycobacterial potency and that the nature of the incorporated pharmacophore is a major determinant of biological activity.

Conjugates 1 and 2 are particularly noteworthy because their inhibitory activities are within the same magnitude as that of the reference antitubercular agent, isoniazid (MIC = 0.12 µg/L). Although isoniazid appears more potent under the conditions employed, the relatively small differences in MIC suggests that the incorporation of the active pharmacophores into the polysaccharide framework can retain substantial antimycobacterial activity. The pronounced reduction in antimycobacterial activities observed in conjugates 3 and 4 suggests that structural modifications may substantially influence the accessibility, ionization, cellular uptake, or target interaction of the bioactive moiety. In polysaccharide-based systems, steric shielding of the pharmacophore, altered aqueous solubility, molecular size, and the extent of substitution can all influence the effective concentration of the active group available to interact with mycobacterial targets.

The observed structure-dependent variations in MIC values provides preliminary evidence of the structure-activity relationship within the conjugate series. In particular, the strong activity of conjugates 1 and 2 suggests that their chemical architecture may provide a favorable balance between polysaccharide-associated properties and exposure of the antimycobacterial pharmacophore. Conversely, the weak activities of conjugates 3 and 4 may indicate excessive masking of the active functional groups or unfavorable physicochemical characteristics that limit penetration through the highly hydrophobic and lipid-rich Mtb cell envelope. These possibilities are consistent with the recognized importance of molecular size, polarity, lipophilicity, and functional group accessibility in determining antimycobacterial activity.

Table 1. *In vitro* MIC of the conjugates and the reference drug against M. tuberculosis

Sample	MIC (µg/L)
Conjugate 1	0.25
Conjugate 2	1.05
Conjugate 3	1250
Conjugate 4	10000
Isoniazid (H37Rv)	0.12

Source: Authors' *in vitro* assay. MIC denotes minimum inhibitory concentration

3.1 Binding interaction analysis of the fragments and the reference drug with InhA

In *Mycobacterium tuberculosis*, enoyl-acyl carrier protein reductase (InhA) catalyzes the reduction of trans-2-enoyl-acyl carrier protein, an essential step in mycolic acid biosynthesis and maintenance of the mycobacterial cell envelop. Thus, inhibition of InhA disrupts cell envelope integrity and bacterial survival. Consequently, Inha has been identified as a well-validated molecular target for anti-tubercular drug discovery.

The molecular docking results (Table 2) revealed appreciable variation in the predicted binding affinities of the fragments towards the target macromolecule. Cellulose exhibited the most favorable predicted bind energy (ΔG = -6.7 kcal/mol), followed closely by benzocaine and cellobiose (ΔG = -6.5 kcal/mol each). Methyl palmitate showed a moderate favorable binding energy (ΔG = -5.1 kcal/mol), whereas hydrazine displayed the weakest predicted affinity (ΔG = -3.1 kcal/mol). Overall, the docking analysis identifies cellulose, benzocaine, and cellobiose as the most promising InhA-binding components.

The slightly more favorable score for cellulose relative to other fragments may reflects its larger polymeric framework and the greater number of hydroxyl groups available for hydrogen bonding and other polar interactions with residues lining the active site (Figure 4). Similarly, cellubiose stabilizes with the receptor's binding pocket majorly through hydrogen bonds and several van der Waals contacts (Figure 5). Also, benzocaine formed stable complex with the receptor via hydrophobic, electrostatic, van der Waals, and hydrogen bonding interactions (Figure 6). Generally, the three major fragments, including cellulose, cellobiose, and benzocaine demonstrated a wide array of networks of interaction with InhA, and their cumulative effects could enhance the inhibitory potential of the resulting conjugates.

Table 2. Predicted free energies of binding, in kilocalories per mole, of the five docked fragments and Inha reference inhibitor (isoniazid).

Sample	ΔG (kcal/mol)
Benzocaine	-6.5
Cellobiose	-6.5
Cellulose	-6.7
Hydrazine	-3.1
Methyl palmitate	-5.1
Isoniazid (H37Rv)	-5.7

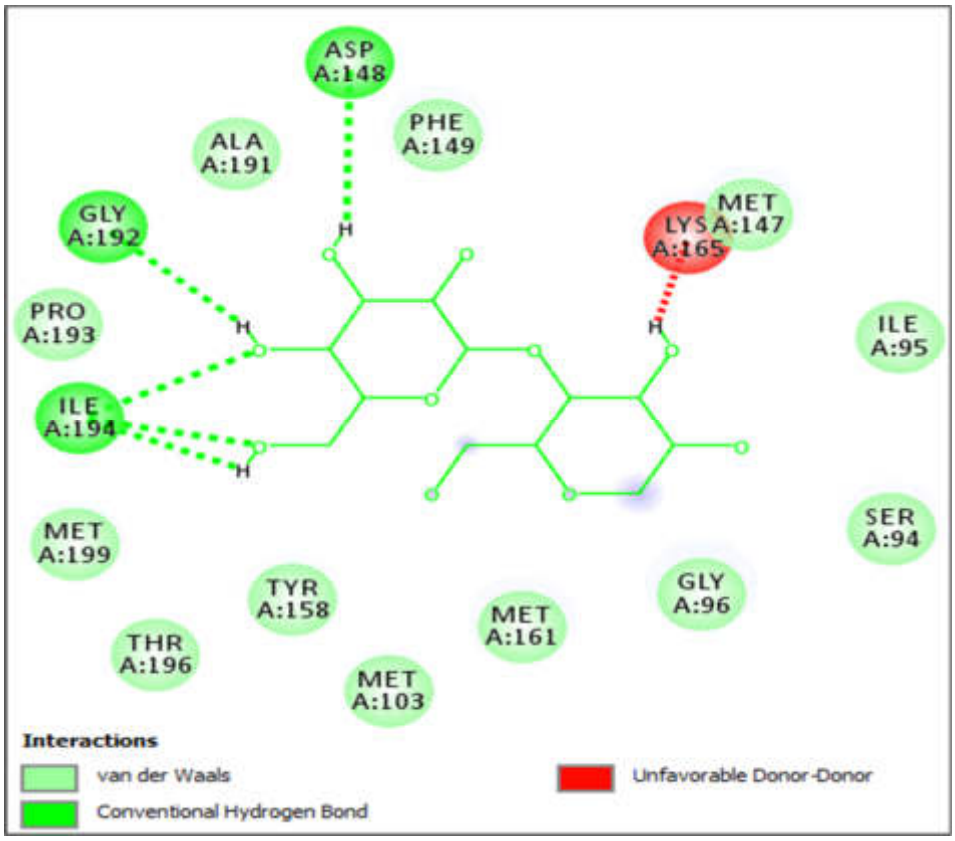


Figure 4: 2D interaction pattern of cellulose with the active site of Inha

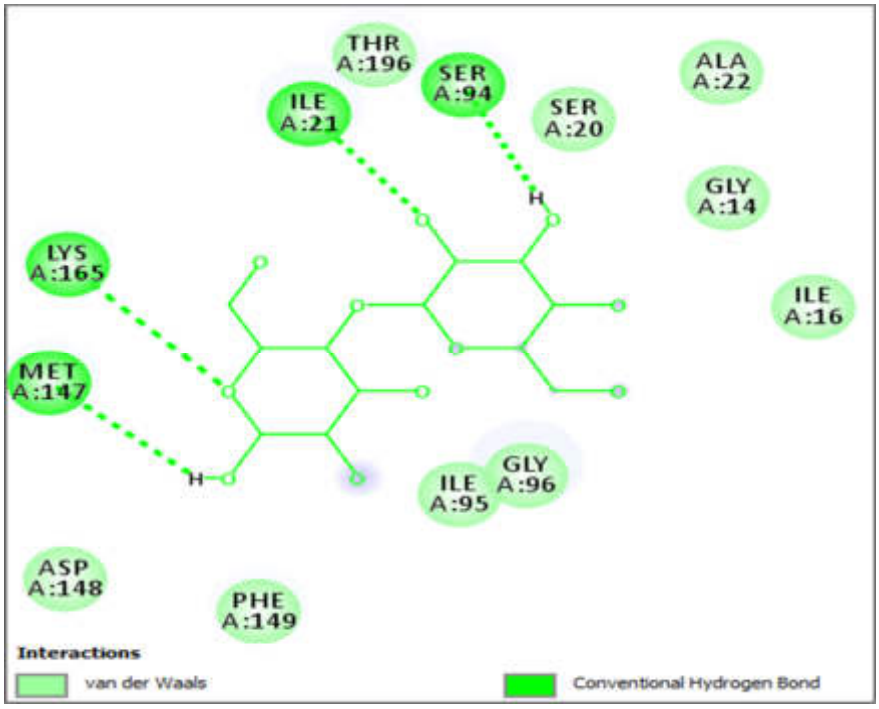


Figure 5: 2D interaction pattern of cellobiose with the active site of Inha

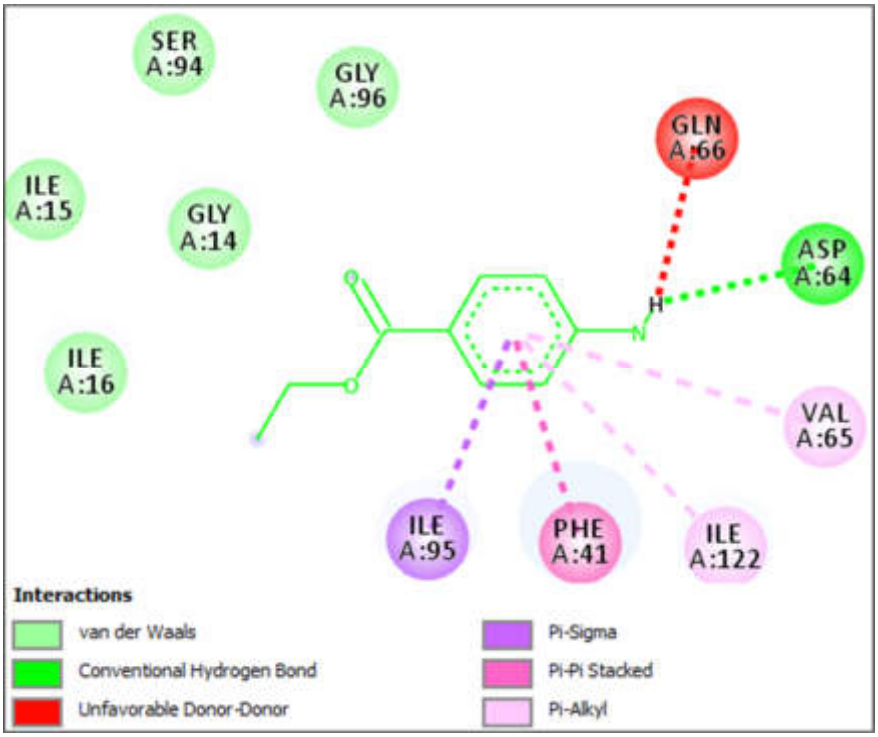


Figure 6: 2D interaction pattern of benzocaine with the active site of Inha

4.0 Conclusion

This study demonstrated the potential of biopolymer based conjugation as a strategy for generating materials with antimycobacterial activity against *Mycobacterium tuberculosis*. The conjugates were successfully characterized by FTIR and SEM, with spectroscopic features supporting conjugation and the fissured lamellar morphology observed by SEM indicating substantial modification of the biopolymer surface.

The *in vitro* susceptibility assay revealed considerable variation in antimycobacterial potency, with MIC values ranging from 0.25 to 10000 µg/mL, indicating that the biological activity is strongly dependent on the structural composition of the conjugates. Molecular docking against InhA provided additional mechanistic insights into the potential molecular interactions underlining the observed activity. Among the investigated molecular fragments, cellulose showed the most favorable predicted binding energy (ΔG = -6.7 kcal/mol), followed by benzocaine and cellobiose (ΔG = -6.7 kcal/mol each). Methyl palmitate exhibited moderate binding affinity (ΔG = -5.1 kcal/mol), whereas hydrazine showed the weakest predicted interaction (ΔG = -3.1 kcal/mol). These findings suggest that the biopolymer and selected organic fragments may contribute differentially to target recognition and stabilization within the InhA-binding site. The relatively favorable docking scores of cellulose, benzocaine and cellobiose further support the possibility that interactions involving the carbohydrate-based scaffold and aromatic functional groups contribute to the inhibitory potential of the conjugates. Collectively, the present findings provide a foundation for the rational development of biopolymer-organic conjugates as potential platforms for future antitubercular drug discovery.

References

Abbasi YF, Bera H, Cun D, Yang M. Recent advances in pH/enzyme-responsive polysaccharide-small-molecule drug conjugates as nanotherapeutics. Carbohydr Polym. 2023 Jul 15;312:120797. doi: 10.1016/j.carbpol.2023.120797.

Ameji P.J., Baba O.C., Ebune A.O., Khan M.E., Abdul C., Anthony W.O. (2025). Identification of potent epidermal growth factor receptor (EGFR) inhibitors as potential lung cancer medications via virtual screening of 1,2,3-triazole containing pyridineamide derivatives. In Silico Research in Biomedicine, 1:100101. https://doi.org/10.1016/j.insi.2025.100101.

Carreiras M, Marco-Contelles J; Hydrazides as Inhibitors of Histone Deacetylases. *J. Med. Chem.* 22 August 2024; 67 (16): 13512–13533. https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.4c00541

Dallakyan S., Olson A.J. (2015). Small-Molecule Library Screening by Docking with PyRx. In: Hempel, J., Williams, C., Hong, C. (eds) Chemical Biology. Methods in Molecular Biology, 1263. Humana Press, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2269-7_19

Ebune AO, Bello NM , Atumeye AU, Ameji PJ, Eke UB , Owalude SO (2026a). Synthesis, FTIR and XRD Spectral Studies of Biopolymer Conjugates of Cellulose and Cellobiose Acid Hydrazides and N-Protected Para-Amino Benzoic Acid. Chemistry and Materials. https://doi.org/10.56425/cma.v5i3.139

Ebune AO, Eke UB, Ameji PJ, Owalude SO, Atumeyi AU (2026b). A comprehensive study of in vitro anti tubercular activity of different biopolymer conjugates of acid hydrazides. Journal of Interdisciplinary Postgraduate Research. 1 (2). 154-157. https://doi.org/10.61955/AVJEXY

Furniss, B. S., Hannaford, A. J., Smith, P. W. G., & Tatchell, A. R. (1989). Vogel's Textbook of Practical Organic Chemistry (5th ed.). Longman Scientific & Technical.

Garcia-Basteiro AL, Ehrlich J, Bonnet M, Calnan M, Graham SM, Hermans S, Jarrett A, Lewa R, Mandalakas A, Martinez L, Migliori GB, Ong CWM, Otero L, Rangaka MX, Raviglione MCB, Seaworth B, Ssengooba W, Theron G, Trajman A, Behr MA. A Global Tuberculosis Dictionary: unified terms and definitions for the field of tuberculosis. Lancet Glob Health. 2024 May;12(5):e737-e739. doi: 10.1016/S2214-109X(24)00083-4.

Guida M, Tammaro C, Quaranta M, Salvucci B, Biava M, Poce G, Consalvi S. Amino Acid Biosynthesis Inhibitors in Tuberculosis Drug Discovery. Pharmaceutics. 2024 May 28;16(6):725. doi: 10.3390/pharmaceutics16060725.

Haroon F, Farwa U, Arif M, Raza MA, Sandhu ZA, El Oirdi M, Farhan M, Alhasawi MAI. Novel Para-Aminobenzoic Acid Analogs and Their Potential Therapeutic Applications. Biomedicines. 2023 Sep 30;11(10):2686. doi: 10.3390/biomedicines11102686

Jabeen N, Atif M. *Polysaccharides based biopolymers for biomedical applications: A review*. *Polym Adv Technol*. 2024; 35(1):e6203. doi:10.1002/pat.6203

Johnson TM, Rivera CG, Lee G, Zeuli JD (2024). Pharmacology of emerging drugs for the treatment of multi-drug resistant tuberculosis, Journal of Clinical Tuberculosis and Other Mycobacterial Diseases, 37:100470. https://doi.org/10.1016/j.jctube.2024.100470.

Li S, Zhao Z, Wang Y, He B, Ma K, Zheng Y, Wang M, Wang Z, Li L (2025). Recent advance on the antibacterial activity of polysaccharide-based conjugates, International Journal of Biological Macromolecules, 316 (2): 144760.https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.144760

London, R. E. (2024). The aminosalicylate - folate connection. Drug Metabolism Reviews, 56(1), 80–96. https://doi.org/10.1080/03602532.2024.2303507

Maranchick NF, Peloquin CA. Role of therapeutic drug monitoring in the treatment of multi-drug resistant tuberculosis. J Clin Tuberc Other Mycobact Dis. 2024 Apr 24;36:100444. doi: 10.1016/j.jctube.2024.100444.

Mohammadnabi, N., Shamseddin, J., Emadi, M., Bodaghi, A.B., Varseh, M., Shariati, A., Rezaei, M., Dastranj, M. and Farahani, A. (2024), *Mycobacterium tuberculosis*: The Mechanism of Pathogenicity, Immune Responses, and Diagnostic Challenges. J Clin Lab Anal, 38: e25122. https://doi.org/10.1002/jcla.25122

Murugappan S, Dastari S, Jungare K, Barve NM, Shankaraiah N (2024). Hydrazide-hydrazone/hydrazone as enabling linkers in anti-cancer drug discovery: A comprehensive review. Journal of Molecular Structure,1307:138012. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.138012

Muzzarelli, R. A. A. (1980). "Glutaraldehyde-crosslinked chitosans." *Carbohydrate Polymers*, or Muzzarelli, R. A. A. (1977). *Chitin*. Pergamon Press.

Palomino, J. C., Martin, A., Camacho, M., Guerra, H., Swings, J., & Portaels, F. (2002). Resazurin microtiter assay plate: Simple and inexpensive method for detection of drug resistance in Mycobacterium tuberculosis. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 46(8), 2720–2722. https://doi.org/10.1128/AAC.46.8.2720-2722.2002

Pawar S.S., Rohane S.H. (2021). Review on Discovery Studio: An important tool for molecular docking. *Asian Journal of Research in Chemistry*, 14(1): 86-88. doi: 10.5958/0974-4150.2021.00014.6

Percot A, Viton C, Domard A. Optimization of chitin extraction from shrimp shells. Biomacromolecules. 2003 Jan-Feb;4(1):12-8. doi: 10.1021/bm025602k.

Schami A, Islam MN, Belisle JT and Torrelles JB (2023) Drug-resistant strains of Mycobacterium tuberculosis: cell envelope profiles and interactions with the host. Front. Cell. Infect. Microbiol. 13:1274175. doi: 10.3389/fcimb.2023.1274175

Singha B, Murmu S, Nair T, Rawat RS, Sharma AK, Soni V. Metabolic Rewiring of *Mycobacterium tuberculosis* upon Drug Treatment and Antibiotics Resistance. Metabolites. 2024 Jan 18;14(1):63. doi: 10.3390/metabo14010063.

van der Klugt, T., van den Biggelaar, R. H. G. A., & Saris, A. (2025). Host and bacterial lipid metabolism during tuberculosis infections: possibilities to synergise host- and bacteria-directed therapies. Critical Reviews in Microbiology, 51(3), 463–483. https://doi.org/10.1080/1040841X.2024.2370979

Wang Y, Li Z, Zhang M, Cillero-Pastor B (2026). Systematic identification of dominant quercetin conformers with radical-scavenging properties. Computational and Theoretical Chemistry, 1263: 115914. https://doi.org/10.1016/j.comptc.2026.115914.

Wei X, Yue L, Zhao B, Jiang N, Lei H, Zhai X. Recent advances and challenges of revolutionizing drug-resistant tuberculosis treatment. Eur J Med Chem. 2024 Nov 5;277:116785. doi: 10.1016/j.ejmech.2024.116785.

Zenner D, Hui DS, Sahu S, Ditiu L, Yeboah-Manu D, Ntoumi F, Mfinanga S, Chakaya J, Zumla A, Ahmed R, Tiberi S, Goletti D, Walzl G, Marais BJ, Zumla A. State of the global tuberculosis epidemic: burden, progress towards WHO End TB Strategy targets and systemic challenges. Lancet Microbe. 2027 Apr 26:101433. doi: 10.1016/j.lanmic.2026.101433. Epub ahead of print. PMID: 42526488.

Zhu Y-S, Wu J, Zhi F (2024). Advances in conjugate drug delivery System: Opportunities and challenges, International Journal of Pharmaceutics, 667 (A): 124867. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2024.124867.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EVALUATION OF ANTIFUNGAL ACTIVITY OF *MELALEUCA ALTERNIFOLIA* AND *CURCUMA LONGA* OILS AGAINST *CANDIDA ALBICANS*

Shubham Sharma
School of Pharmacy, Mangalayatan University
ORCID: 0000-0003-0295-7052

Fowad Khurshid
Department of Pharmacy, Institute of Biomedical Education and Research, Mangalayatan University
ORCID: 0000-0003-0502-2770

Abstract
The increasing incidence of fungal infections, particularly those caused by *Candida* species, together with the emergence of antifungal resistance, has intensified the search for alternative antifungal agents with effective and potentially safer profiles. Plant-derived essential oils contain diverse bioactive constituents and have been investigated for their antimicrobial properties. *Melaleuca alternifolia* (*tea tree* oil) and *Curcuma c* (*turmeric* oil) are medicinal plant-derived oils with reported antimicrobial and therapeutic potential. The present study aimed to comprehensively evaluate and compare the in vitro antifungal activity of *M. alternifolia* and *C. longa* oils, individually and in a 1:1 combination, against *Candida albicans* (MTCC 3958), and to determine their minimum inhibitory concentrations (MICs) in comparison with the standard antifungal agent Amphotericin B. The antifungal activity was assessed by the agar well diffusion method using undiluted oils at volumes of 62.5, 125, 250, and 500 µL per well. The combined formulation containing *M. alternifolia* and *C. longa* oils in a 1:1 ratio was evaluated under the same conditions. MICs were determined by the broth microdilution method using two-fold serial dilutions ranging from 1.95 to 500 µL/mL, with appropriate growth, sterility, negative, and positive controls. Both individual oils exhibited measurable and concentration-dependent antifungal activity against *C. albicans*. *M. alternifolia* oil produced inhibition zones of 12.2 ± 1, 13.5 ± 2, 16.2 ± 1, and 18.2 ± 1 mm at 62.5, 125, 250, and 500 µL, respectively, whereas *C. longa* oil produced corresponding inhibition zones of 10.3±2, 12.0±2, 13.8±2, and 14.2±2 mm at 62.5, 125, 250, and 500 µL. Amphotericin B produced an inhibition zone of 22.3±2 mm. The 1:1 combination of the two oils demonstrated improved activity, with inhibition zones increasing from 13.7±2 mm at 62.5 µL to 19.0 ± 1 mm at 500 µL. In the broth microdilution assay, *M. alternifolia* oil showed an MIC of 15.63 µL/mL, while *C. longa* oil exhibited an MIC of 31.25 µL/mL. Notably, the 1:1 combination showed a lower MIC of 7.81 µL/mL, with complete inhibition of fungal growth observed at this concentration and at higher concentrations. The combination also produced 92.8% growth inhibition at 3.91 µL/mL, compared with 56.1% and 45.8% inhibition for *M. alternifolia* and *C. longa* oils, respectively, at the same concentration. Overall, *M. alternifolia* oil demonstrated greater antifungal activity than *C. longa* oil under the experimental conditions, while their 1:1 combination exhibited enhanced inhibitory activity and a lower MIC than either oil tested individually. These findings indicate that the investigated plant-derived oils, particularly their combination, have promising in vitro antifungal potential against *C. albicans*. Further investigations involving chemical characterization, mechanism-of-action studies, formulation development, safety assessment, and in vivo evaluation are warranted before their therapeutic applicability can be established.
Keywords: *Melaleuca alternifolia*, *Curcuma longa*, oils, antifungal activity, *Candida* species, natural therapeutics

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

STRUCTURE–ACTIVITY RELATIONSHIP (SAR) OF QUINOLINE DERIVATIVES AS POTENTIAL ANTICANCER AGENTS

Jyoti Dattatray Anap
M pharm – Pharmacology

Vaishnavi Dnyandeo Charmal
M pharm- Pharmaceutical Chemistry

Abstract
Quinoline is a privileged heterocyclic scaffold that has attracted considerable attention in medicinal chemistry because of its diverse pharmacological properties, particularly its promising anticancer potential. Structural modification of the quinoline nucleus has generated numerous derivatives exhibiting cytotoxic and antiproliferative activities against a wide range of cancer types. The anticancer activity of quinoline derivatives is strongly influenced by the nature, position, and electronic properties of substituents introduced onto the quinoline ring. Understanding these structure–activity relationships (SARs) is therefore essential for the rational design and optimization of novel quinoline-based anticancer agents. This review provides a comprehensive overview of the SAR of quinoline derivatives with emphasis on the relationship between chemical structure and anticancer activity. Different substitution patterns, functional groups, linker systems, fused and hybrid scaffolds, and their influence on potency, selectivity, and physicochemical properties are discussed. Particular attention is given to derivatives acting through important molecular targets and pathways, including receptor tyrosine kinases, vascular endothelial growth factor receptors, epidermal growth factor receptors, phosphatidylinositol-3-kinase/protein kinase B (PI3K/Akt), mammalian target of rapamycin (mTOR), cyclin-dependent kinases, topoisomerases, tubulin, and apoptosis-related pathways. The influence of electron-donating and electron-withdrawing substituents, halogenation, heterocyclic substitution, and molecular hybridization on anticancer activity is also examined. Selected quinoline-based anticancer drugs and investigational compounds are discussed to illustrate how structural modifications can improve potency, target selectivity, pharmacokinetic properties, and overcome drug resistance. The review further highlights emerging approaches such as molecular docking, structure-based drug design, quantitative structure–activity relationship (QSAR) studies, and molecular hybridization for the development of next-generation quinoline derivatives. Overall, understanding the SAR of quinoline scaffolds provides valuable insights for identifying structural features responsible for anticancer activity and offers a rational framework for designing safer, more potent, and selective quinoline-based anticancer agents.
Keywords: Quinoline, Structure–activity relationship, SAR, Anticancer agents, Medicinal chemistry, Molecular targets, Molecular docking, QSAR, Cancer therapy.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

PHYTOCHEMICALS SCREENING AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF AQUEOUS LEAVES EXTRACT OF *Hura crepitans (*SANDBOX)

HarunaAbubakar Danyaya
Department of Science Laboratory Technology School of Science and Technology, Hussaini Adamu Federal Polytechnic

Ismail Abdullahi
Department of Agricultural Technology Binyaminu Usman Polytechnic Hadejia

Abdulrashid Yusuf
Department of Chemistry, Sa'adu Zungur University

Abstract
Medicinal plants remain an important source of bioactive compounds, particularly in regions where traditional remedies are widely practiced. *Hura crepitans* L. (sandbox tree), a member of the Euphorbiaceae family, is traditionally used to treat inflammation, microbial infections, rheumatism, and skin disorders. This study evaluated the phytochemical constituents and antioxidant activity of aqueous leaf extracts of *Hura crepitans*. Leaves were collected, authenticated, dried, powdered, and subjected to aqueous extraction. Qualitative screening confirmed the presence of alkaloids, flavonoids, tannins, saponins, terpenoids, glycosides, and phenols. Quantitative analysis revealed phenols (30.50 mg/g), flavonoids (25.60 mg/g), and tannins (18.30 mg/g) as the most abundant constituents. Antioxidant activity was assessed using DPPH radical scavenging, ferric reducing antioxidant power (FRAP), and hydrogen peroxide scavenging assays. Results demonstrated strong, dose-dependent activity: DPPH inhibition ranged from 31.5% to 78.9%, FRAP values increased from 145.2 to 410.5 µmol Fe^{2+}/g, and hydrogen peroxide scavenging rose from 28.4% to 75.6% across tested concentrations. Correlation analysis confirmed phenols as primary radical scavengers, flavonoids as major reducing agents, and tannins as contributors to peroxide detoxification. The findings validate the traditional use of *Hura crepitans* leaves and establish their potential as natural sources of antioxidants. Although less potent than pure ascorbic acid, the extract exhibited broad-spectrum antioxidant mechanisms, likely due to synergistic interactions among multiple phytochemicals. This study provides scientific evidence supporting the ethnomedicinal relevance of *Hura crepitans* and lays a foundation for future pharmacological, nutraceutical, and conservation efforts.

INTRODUCTION

Hura crepitans commonly known as the sandbox tree or monkey dinner bell, is a versatile member of the Euphorbiaceae family, valued for its traditional and medicinal uses across tropical regions of the Americas (Owojuyigbe, *et al*., 2020). This tree has long been recognized for its therapeutic properties, including its use as a laxative and remedies for inflammation, microbial infections, liver damage, leprosy, and as an emetic (Oloyede, *et al*., 2016). Modern studies have validated these traditional applications, revealing a rich profile of bioactive compounds such as flavonoids, phenolic acids, alkaloids, tannins, carotenoids, terpenes, fatty acids, and essential amino acids like methionine and lysine (Oloyede, *et al*., 2014) (Cowan, 1999) (Cowan, 1999) (Owojuyigbe*, et al*.,2020). Notably, compounds such as rutin, myricetin, ferulic acid, and daphnane diterpenes contribute significantly to its pharmacological potential (Domingueti*, et al*., 2016).

Research has demonstrated various pharmacological effects of *H. crepitans*, including hepatoprotective, antihypertensive, antidiabetic, antioxidant, and anti-inflammatory activities (Oyeleke, *et a*l., 2012).However, while these findings underscore its therapeutic promise, the mechanisms underlying its antioxidant and anti-inflammatory effects remain poorly understood, particularly through computational approaches. Such methods, in combination with in vitro studies, have proven essential in modern drug discovery, providing efficient ways to explore the pharmacodynamics of medicinal plants and translate traditional knowledge into therapeutic innovations (Hulsart, *et al.,* 2016) (Adindu, et *al*., 2016).

H. crepitans leaves, stem bark, roots, and seeds have several therapeutic applications, which include the treatment of skin diseases, rheumatism, intestinal worms in leprosy (Adindu, *et al.*, 2016) (Lobo et *al*., 2010) (Kuete, 2017) A few studies reported the presence of flavonoids, phenolic acid, carotenoids, terpenes in root, stem bark, and leaf extracts of *H. crepitans*, especially in aqueous extracts (Adindu, e*t al*., 2016). These compounds are secondary metabolites involved in the defense of plants that play a key role in reducing oxidative stress, which is a prominent cause of various human diseases, such as cancer, neurodegenerative diseases, diabetes, and obesity (WHO, 2013) (Faraone, *et al*., 2018).

Solvent, temperature, and duration of extraction can influence the phytochemical profile and biological activity of plant extracts (Buci´c-Koji*, et al*., 2009). Plant polyphenols are structurally heterogeneous, and their solubility depends on the chemical structure, which may vary from simple to highly polymerized compounds. Thus, the choice of extraction solvent is one of the most relevant steps in the extraction process. Generally, methanol, ethanol, propanol, acetone, ethyl acetate, and their mixture with water are used (Cowan, 1999) (Owojuyigbe*, et al*., 2020). According to the literature (Vergara, *et al*., 2012). Mixtures of water and ethanol are more efficient in extracting total polyphenols than the corresponding mono-component solvent system. Moreover, the amount of water improves polyphenols yield (Buci´c-Koji, *et al*., 2009). Over the past years, extensive research has been devoted to polyphenols, highlighting their potential in therapy, which is ascribed to a wide range of biological activities, such as antioxidant, anti-inflammatory, antibacterial, and antiviral. However, polyphenols are characterized by poor solubility, low chemical stability, and low bioavailability, which limit their application in vivo (Kaur, *et al ,* 2014). The incorporation of plant polyphenols and extracts into micro/nanocarriers has been shown to increase their efficacy by protecting the active compounds from degradation, enhancing their solubility and bioavailability, and delivering adequate concentrations to the target site (Bonifácio, *et al.,* 2014). Therefore, this study aimed to increase scientific knowledge on the chemical composition of *H. crepitans L*. extracts, with a focus on the identification of the best extraction conditions to recover the highest amount of polyphenols and achieve the highest antioxidant activity. Moreover, the most promising extract was loaded into liposomes, and the enhancement of the antioxidant activity was investigated in cells.

MATERIALS AND METHODS

The materials/apparatus used in this research include: Fresh leaves extracts of Hura crepitans, Laboratory incubator, DNP-9082-1A, GULFAL Medical and Scientific England, Hot air oven, DHG9001 SA, GULFAL Medical and Scientific England, Water bath, HH-6, DSP China, Sensitive balance Mettler 10, Mettler Germany, Soxhlet Apparatus, Borosilicate Bender Germany and Refrigerator, Philips Holland.

Chemicals and Reagents

The following chemicals were acquired: 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), Acetone, ISO 9001:2008, Hi- Media USA, Diethyl ether, 9.01702.010, JHD China, Hydrochloric acid, UNI1789, Sigma Aldrich Germany, Hydrogen peroxide (H2O2), BDH U.K. F, LS: Biotech USA, Methanol, ISO 9001:2008 Fluka Spain, Folin reagent, ISO 9001:2008, Hi- Media USA, Wagner reagent, HCM 983, IIKM China and Hydrogen chloride acid, ISO 9001:2008, TMA MEDIA India.

Collection and Identification of Plant Materials

Fresh leaves of *Hura crepitans* were collected from Gadau metropolitan Bauchi State, Nigeria. During the month of September in the raining season] of 2025. The plant was identified and authenticated by a taxonomist in the Department of Botany, Sa'adu Zungur University Bauchi, where a voucher specimen was deposited for future reference. The leaves were carefully sorted to remove debris and diseased parts, then washed thoroughly with clean water and shade-dried at room temperature for 7–10 days until a constant weight was achieved.

Preparation of plant materials

The laboratory work was carried out at the Department of Biochemistry, Sa'adu Zungur University, Bauchi, Nigeria. The laboratory was equipped with the necessary instruments such as a UV-Visible spectrophotometer, weighning balance, water bath, centrifuge machine, and laminar air flow chamber. All experimental procedures followed appropriate biosafety and laboratory guideline

Washing and Drying

The fresh leaves of *Hura crepitans* were thoroughly washed with distilled water to remove dirt, dust, and possible microbial contaminants.

Grinding and Storage

The dried leaves of *Hura crepitans* were ground into a fine powder using a ceramic. The powdered material was then stored in an air-tight container and kept in a cool, dry place until further use. This step was essential to increase the surface area for efficient extraction and to preserve the phytochemicals by preventing moisture absorption and microbial contamination.

Extraction procedure

Aqueous extraction was conducted using a modified hot maceration method (aliyu, *et al*., 2018). Briefly, 50g of powdered *Hura crepitans* leaves was soaked in to 500ml of distilled water and heated at 60ºC for 3hrs. The mixture was then filtered using whatman No 1 filter paper. The filtrate was then concentrate using rotary evaporator and freeze-dried to obtain a dry aqueous extract. The extract was stored in a refrigerator at 4ºC until further use.

Aqueous Extraction Method

A measured quantity of 100 g of the powdered *Hura crepitans* leaves was soaked in 1000 mL of distilled water in a clean container; the mixture was stirred intermittently and allowed to stand for 2 days at room temperature to ensure maximum extraction of water-soluble phytochemicals. After maceration, the extract was filtered using Whatman No. 1 filter paper. The filtrate was then concentrated using a water bath at 50–60°C until a semi-solid extract was obtained. The concentrated extract was stored in a refrigerator at 10°C until further analysis.

Percentage Yield of Extract

The percentage yield of the aqueous extract was calculated after concentration and drying. The weight of the dried extract was recorded, and the percentage yield was determined using the formula:

Percentage Yield (%) = (Weight of Extract / Weight of Plant Material) × 100

This value indicates the efficiency of the extraction process and the amount of extractable bioactive compounds present in the plant material.

Phytochemical screening

Phytochemical screening of the aqueous leaf extract of *Hura crepitans* was carried out using standard methods to detect compounds like alkaloids, flavonoids, saponins, tannins, terpenoids, phenols, and glycosides. The presence of these compounds was confirmed through specific reagent tests and observation of color changes or precipitates (Harborne, 1998; Sofowora, 1993).

Qualitative Phytochemical tests

Test for Alkaloid:

2ml was soaked in to a test tube and 2ml of aqueous hydrochloric acid was added and a few drop of Wagner was also added to the extract. A reddish brown precipitate was formed (Harborn, 1975).

Test for Flavonoid:

3ml of aliquot filtrate and 1ml of 10% NaOH were mixed. A yellow colour that was developed indicates the presence of flavonoid. (Elolemyl *et al.*, 1975; Harborne, 1994).

Test for tannin:

2-3ml of extract, 5% of FeCl3 was added drop by drop. A dark green coloured complex was formed indicating the presence of condensed tannins (Harborne 1998, Trease and Evans 1978).

Test for Saponin: 2ml of extract and 2ml of distilled water were mixed and shaken thoroughly. The whole tube was filled with froth that kept for several minutes, indicating the presence of saponin. (Harborne, 1978; Wall *et al.,* 1974)

Test for terpenoids: 5 mL of extract with 2 mL of chloroform and carefully adding 3 mL of concentrated H_2SO_4 to observe a reddish-brown interface, indicating a positive result (Harborne, 1998; Sofowora, 1993).

Test for Glycosidase (Keller-Killani Test): 2 mL of glacial acetic acid containing one drop of ferric chloride to 5 mL of plant extract, followed by carefully layering 1 mL of concentrated sulfuric acid, where the formation of a brown ring at the interface indicates a positive result (Sofowora, 1993; Harborne, 1998).T

Test for phenols: 2 mL of extract and 2 mL of distilled water followed by a few drops of 10% ferric chloride solution; the appearance of a blue-green or dark coloration indicates the presence of phenolic compounds (Harborne, 1998; Sofowora, 1993).

Quantitative Phytochemicals Analysis

Alkaloids Analysis

Alkaloid content was determined by soaking 5 g of the powdered sample in 10% acetic acid in ethanol for 4 hours, filtering, concentrating the extract, adding ammonium hydroxide to form a precipitate, then filtering, drying, and weighing the residue (Harborne, 1998; Edeoga *et al*., 2005).

Flavonoids Anal*y*sis: 5 g of the powdered sample and 80% ethanol, filtering, evaporating the filtrate to dryness, and weighing the residue to estimate the total flavonoid content (Boham & Kocipal-Abyazan, 1974; Harborne, 1998).
Tannins Analysis: 0.5 g of the powdered sample was soak in to 50 mL of distilled water, heating for 30 minutes, filtering, and then adding 5 mL of the filtrate with 1 mL of 0.1 M ferric chloride in 0.1 N HCl and 0.008 M potassium ferrocyanide; the absorbance was measured at 660 nm using a spectrophotometer (Van-Burden & Robinson, 1981; Harborne, 1998).
Saponin Analysis: 5 g of powdered sample with 20% aqueous ethanol, heating for 4 hours at 55 °C, filtering, re-extracting the residue, combining the extracts, concentrating, partitioning with diethyl ether, further purifying with n-butanol, washing with sodium chloride, evaporating, drying, and weighing the residue (Obadoni & Ochuko, 2001).
Terpenoid Analysis: Terpenoid content was determined by extracting 5 g of powdered sample with ethanol, mixing the extract with petroleum ether in a separating funnel, allowing the layers to separate, collecting the ether layer, evaporating it to dryness, and weighing the residue to estimate terpenoid content (Indumathi & Mohandass, 2014).
Glycosides Analysis: 1 g of powdered sample in 10 mL of 70% ethanol, filtering, and reacting 2 mL of the filtrate with 2 mL of glacial acetic acid containing a drop of ferric chloride, followed by 1 mL of concentrated sulfuric acid; a brown ring at the interface indicates the presence and relative quantity of cardiac glycosides (Sofowora, 1993; Edeoga *et al*., 2005).
Phenol Analysis: 5 g of the powdered sample in 50 mL of ether for 15 minutes, filtering, and reacting 5 mL of the extract with 5 mL of 1 N Folin-Ciocalteu reagent and 10 mL of 20% sodium carbonate solution, then incubating for 30 minutes and measuring absorbance at 540 nm (Bray & Thorpe, 1954; Malik & Singh, 1980).

Antioxidant Activity Assay
Multiple antioxidant assays were employed to evaluate the radical scavenging and reducing capacity of the extract.

DPPH Radical Scavenging Assay
The DPPH radical scavenging activity was determined by mixing 1 mL of plant extract with 1 mL of 0.1 mM DPPH methanol solution, incubating in the dark for 30 minutes, and measuring absorbance at 517 nm to evaluate antioxidant capacity (Blois, 1958; Brand-Williams *et al.*, 1995).

Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) Assay
A suitable aliquot of diluted extract was added to 3.8 mL of FRAP reagent (10 parts of 300 mM sodium acetate buffer at pH 3.6, 1 part of 10.0 mM TPTZ solution and 1 part of 20.0 mM $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ solution) and the reaction mixture was incubated at 37 °C for 30 min. The increase in absorbance at 593 nm was measured. The antioxidant capacity based on the ability to reduce ferric ions of sample was expressed in terms of ascorbic acid equivalent (mg/g) (Benzie & Strain, 1996).

Hydrogen Peroxide Scavenging Assay
The ability of plant extracts to scavenge hydrogen peroxide is determined according to the method of (Ruch, *et al*., 1996). A solution of hydrogen peroxide (40 mM) is prepared in phosphate buffer (50 mM, pH 7.4) and 2 ml of the solution is added to 1 ml extract (1:20 dilution). The absorbance at 230 nm is determined after 10 mins.

Hydrogen peroxide radical scavenging activity was expressed in terms of ascorbic acid equivalent (mg/g). Ascorbic acid was used as reference (Ruch *et al*., 1989).

Determination of Total Phenolic Content (TPC)

0.5 mL of the extract was mixed with 2.5 mL of 10% Folin–Ciocalteu reagent and allowed to react for 5 minutes. Then, 2.0 mL of 7.5% sodium carbonate solution was added, and the mixture was incubated at room temperature in the dark for 30 minutes. The absorbance was measured at 765 nm using a UV-Vis spectrophotometer. Gallic acid was used as the standard, and the results were expressed as milligrams of gallic acid equivalent per gram of extract (mg GAE/g). Singleton and Rossi (1965).

Determination of Total Flavonoid Content (TFC)

0.5 mL of the extract was mixed with 2 mL of distilled water and 0.15 mL of 5% sodium nitrite. After 5 minutes, 0.15 mL of 10% aluminum chloride was added. At the 6th minute, 1 mL of 1M sodium hydroxide was added, followed by 1.2 mL of distilled water.

The mixture was shaken, and absorbance was measured at 510 nm. Quercetin was used as a standard, and the results were expressed as mg quercetin equivalent per gram of extract (mg QE/g). Chang *et al*. (2002).

Statistical Analysis

All the experiments were carried out in triplicates and data reported are mean ± standard error of mean (SEM). Significance levels were considered at $p < 0.05$ mean ± standard deviation.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The presence of various bioactive compounds such as alkaloids, flavonoids, tannins, saponins, terpenoids, glycosides, and phenols indicates the plant's potential therapeutic properties.

Table 1: Qualitative Phytochemical Screening of Aqueous Leaf Extract of ***Hura crepitans***

Phytochemical	***Observation***	***Result***
Alkaloids	Cream precipitate	+
Flavonoids	Yellow coloration	+
Tannins	Blue-black colour	+
Saponins	Frothing	+
Terpenoids	Reddish-brown ring	-
Glycosides	Brown ring	-
Phenols	Dark green colour	+

Key: (+) Present, (–) Absent

Quantitative Phytochemical Composition of Aqueous Leaf Extract of *Hura crepitans*

Figure 1 shows the aqueous leaf extract of *Hura crepitans* contains high levels of phenols and flavonoids, with moderate amounts of tannins and saponins, and lower levels of alkaloids, indicating rich phytochemical content.

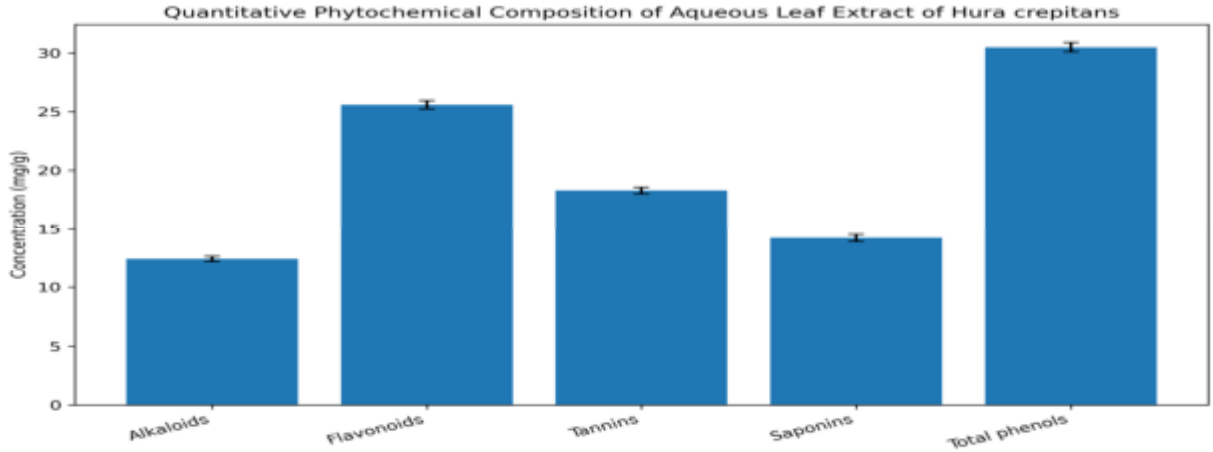


Figure 1. Quantitative Phytochemical Composition

DPPH Radical Scavenging Activity of Aqueous Leaf Extract of *Hura crepitans*

Table 2 Shows that the DPPH radical scavenging activity of *Hura crepitans* aqueous leaf extract increases with concentration, demonstrating dose-dependent antioxidant potential, though lower than the standard ascorbic acid.

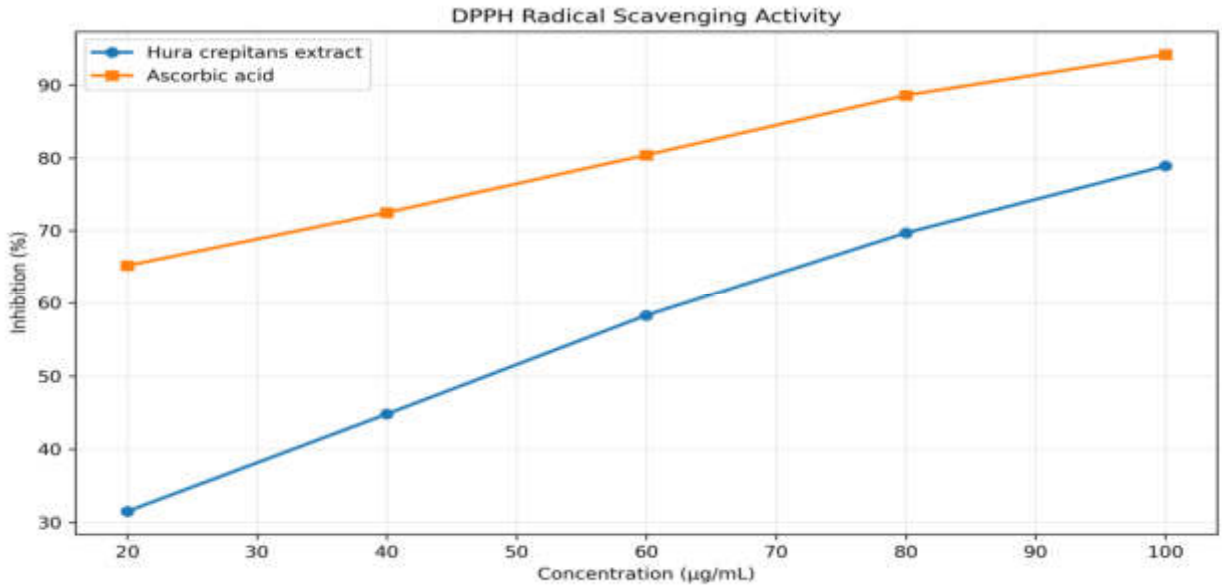


Figure 2. DPPH Radical Scavenging Activity

FRAP Values of Aqueous Leaf Extract of *Hura crepitans*

Figure 3 indicates that the FRAP values of Hura crepitans aqueous leaf extract increase with concentration, reflecting a strong and concentration dependent ferric-reducing antioxidant power.

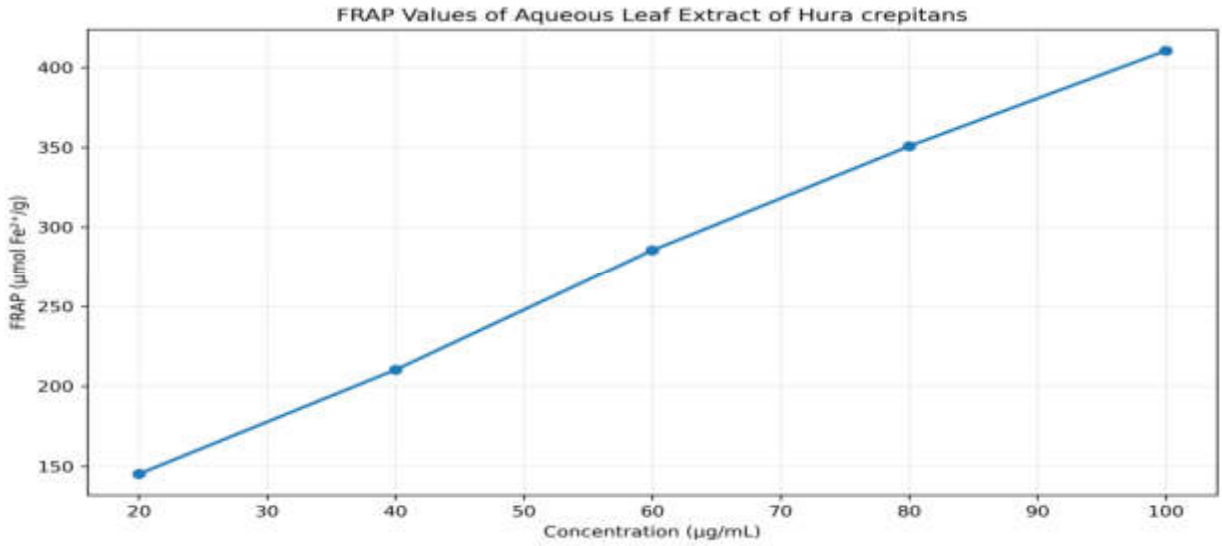


Figure 3. Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)

Hydrogen Peroxide Scavenging Activity of Aqueous Leaf Extract of *Hura crepitans*

Table 5 shows a concentration dependent increase in hydrogen peroxide scavenging activity of *Hura crepitans* aqueous leaf extract, indicating its potential antioxidant capacity.

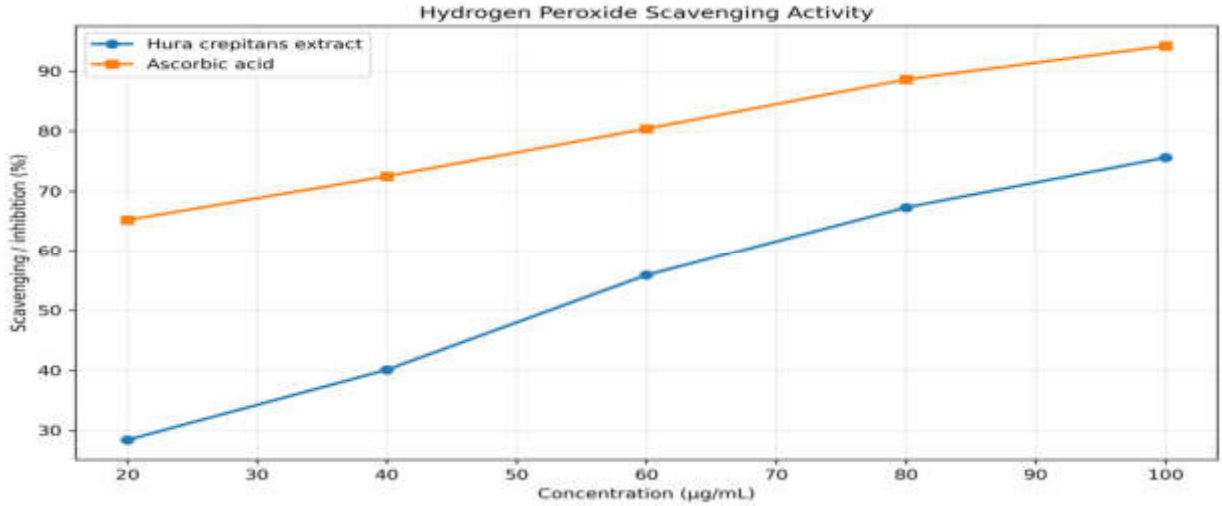


Figure 4. Hydrogen Peroxide Scavenging Activity

IC_{50} Values of Antioxidant Assays

Figure 5 presents the IC_{50}values of the antioxidant assays, showing that the FRAP assay had the lowest IC_{50} indicating the strongest antioxidant activity, followed by DPPH and H_2O_2 scavenging.

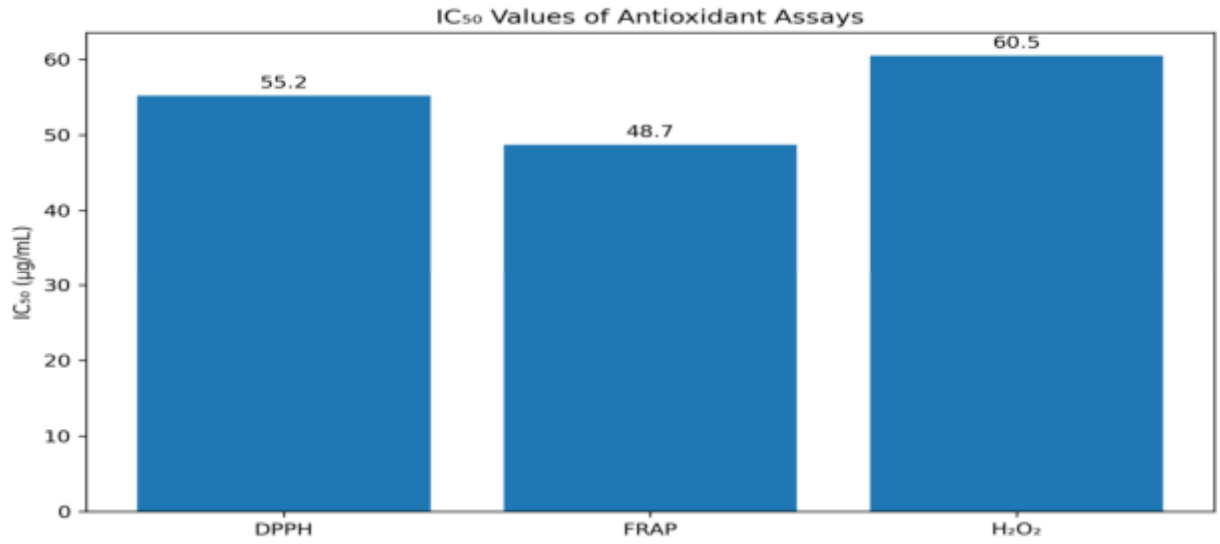


Figure 5. IC_{50} Values of Antioxidant Assays

Correlation between Phytochemicals and Antioxidant Activity

Figure 6 presents a strong positive correlation between phytochemical content and antioxidant activity, with total phenols showing the highest correlation followed by flavonoids and tannins.

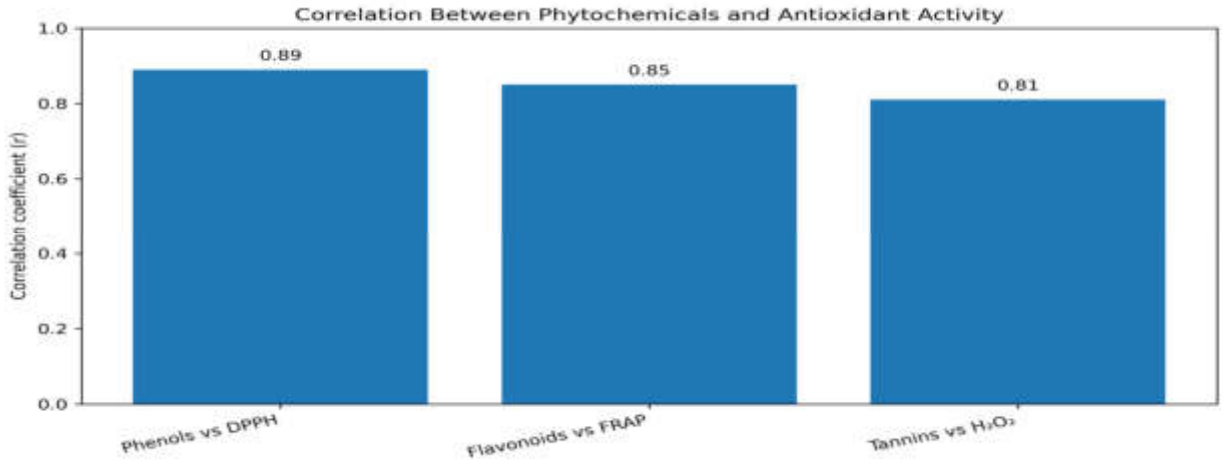


Figure 6. Correlation between Phytochemicals and Antioxidant Activity

DISCUSSION

Qualitative Phytochemical Screening of Aqueous Leaf Extract of *Hura crepitans*

The qualitative phytochemical screening presented in Table 1 revealed the presence of several secondary metabolites in the aqueous leaf extract of *Hura crepitans*, including alkaloids, flavonoids, tannins, saponins, terpenoids, glycosides, and phenols. Each of these classes of compounds is known to contribute significantly to the pharmacological activities of medicinal plants, particularly antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory properties. The detection of such a broad spectrum of phytochemicals underscores the therapeutic potential of *Hura crepitans* and validates its use in traditional medicine.

The presence of alkaloids, indicated by the formation of a cream precipitate, is noteworthy given their diverse biological activities, ranging from analgesic and antimalarial to anticancer properties.

Alkaloids often act on the central nervous system and can serve as precursors for drug development. Their detection in the aqueous extract suggests that water is an effective solvent for extracting at least some alkaloid fractions, despite their partial solubility in organic solvents.

Flavonoids, confirmed by the yellow coloration, are potent antioxidants due to their ability to donate hydrogen atoms or electrons to neutralize free radicals. They also chelate transition metals, thereby reducing oxidative stress. The presence of flavonoids aligns with the strong antioxidant activity observed in subsequent assays, particularly the FRAP values, which showed a high correlation ($r = 0.85$) with flavonoid concentration. This reinforces the role of flavonoids as key contributors to the reducing power of the extract.

The detection of tannins (blue-black coloration) further supports the antioxidant potential of the extract. Tannins are polyphenolic compounds that can precipitate proteins and form complexes with metal ions, thereby reducing oxidative damage. Their presence also suggests possible antimicrobial and astringent properties, which may explain the traditional use of *Hura crepitans* leaves in treating infections and inflammatory conditions. The correlation analysis confirmed a strong relationship ($r = 0.81$) between tannins and hydrogen peroxide scavenging activity, highlighting their functional relevance.

Saponins, identified by frothing, are glycosides with surfactant properties. They are known to exert immunomodulatory, hypocholesterolemic, and anticancer effects. Their presence in the aqueous extract is expected, given their high solubility in water. Saponins may also contribute indirectly to antioxidant activity by enhancing bioavailability of other phytochemicals and modulating cellular defense mechanisms.

Were terpenoids and glycosides are absent which of known to be biologically active.

Finally, the detection of phenols (dark green coloration) is consistent with the high total phenolic content reported quantitatively (30.50 mg/g). Phenolic compounds are central to antioxidant activity due to their redox properties, enabling them to act as reducing agents, hydrogen donors, and singlet oxygen quenchers. The strong correlation ($r = 0.89$) between total phenols and DPPH radical scavenging activity (figure 6) confirms their pivotal role in the antioxidant potential of *Hura crepitans*.

Quantitative Phytochemical Composition of Aqueous Leaf Extract of *Hura crepitans*

The quantitative phytochemical analysis presented in figure 2 provides a deeper understanding of the chemical constituents responsible for the biological activities of *Hura crepitans.* The results revealed appreciable concentrations of alkaloids (12.40 ± 0.22 mg/g), flavonoids (25.60 ± 0.35 mg/g), tannins (18.30 ± 0.28 mg/g), saponins (14.20 ± 0.30 mg/g), and total phenols (30.50 ± 0.40 mg/g). These values highlight the richness of the aqueous extract in bioactive compounds, particularly phenolic and flavonoid constituents, which are well established as major contributors to antioxidant activity.

The total phenolic content (30.50 mg/g) was the highest among the quantified phytochemicals, underscoring the dominance of phenolic compounds in the aqueous extract. Phenols are known for their redox properties, enabling them to act as reducing agents, hydrogen donors, and singlet oxygen quenchers. Their abundance in the extract provides a strong biochemical basis for the potent antioxidant activities observed in subsequent assays. The correlation analysis (Figure 6) further confirmed this relationship, with a strong positive correlation ($r = 0.89$) between total phenols and DPPH radical scavenging activity. This suggests that phenolic compounds are the primary contributors to the free radical neutralization capacity of *Hura crepitans*.

Flavonoids (25.60 mg/g) were also present in substantial amounts, second only to phenols. Flavonoids are a diverse group of polyphenolic compounds with well-documented antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties. Their relatively high concentration in the aqueous extract is consistent with the strong reducing power observed in the FRAP assay, which showed a correlation coefficient of r = 0.85 with flavonoid content. This indicates that flavonoids play a central role in the electron-donating ability of the extract, thereby enhancing its capacity to reduce ferric ions to ferrous ions. The presence of flavonoids also supports the traditional use of *Hura crepitans* in managing oxidative stress-related conditions.

Tannins (18.30 mg/g) were detected at moderate levels. These compounds are known for their ability to precipitate proteins and chelate metal ions, thereby reducing oxidative damage and exerting antimicrobial effects. The correlation analysis revealed a strong relationship (r = 0.81) between tannin content and hydrogen peroxide scavenging activity, suggesting that tannins contribute significantly to the extract's ability to detoxify reactive oxygen species. Their presence also implies potential therapeutic applications in wound healing and infection control, given their astringent and antimicrobial properties.

Alkaloids (12.40 mg/g) were present at lower concentrations compared to phenolics and flavonoids, yet their detection is important due to their diverse pharmacological activities. Alkaloids often act on the central nervous system and can exhibit analgesic, antimalarial, and anticancer properties. Although their contribution to antioxidant activity may be less pronounced than that of phenolics, their presence broadens the pharmacological spectrum of the extract and suggests potential synergistic effects with other phytochemicals.

Saponins (14.20 mg/g) were also quantified at moderate levels. These glycosides are known for their surfactant properties and biological activities, including immunomodulatory, hypocholesterolemic, and anticancer effects. Their water solubility explains their presence in the aqueous extract. While saponins are not typically primary antioxidants, they may enhance the bioavailability of phenolic compounds and contribute indirectly to the overall antioxidant potential of the extract.

In summary, the quantitative phytochemical composition of *Hura crepitans* aqueous leaf extract demonstrates a rich profile dominated by phenolic and flavonoid compounds, with appreciable levels of tannins, saponins, and alkaloids. These findings provide a strong biochemical foundation for the antioxidant activities observed in subsequent assays and support the ethnomedicinal use of the plant. The high phenolic and flavonoid contents, in particular, highlight the potential of *Hura crepitans* as a source of natural antioxidants, while the presence of other phytochemicals broadens its therapeutic relevance. This comprehensive phytochemical profile underscores the importance of *Hura crepitans* in pharmacological research and suggests that further studies, including fractionation and in vivo evaluations, are warranted to fully explore its therapeutic potential.

DPPH Radical Scavenging Activity of Aqueous leaves extracts of *Hura crepitans*

The DPPH radical scavenging activity of the aqueous leaf extract of *Hura crepitans* showed a dose-dependent increase in percentage inhibition from 20 to 100 µg/mL, indicating the presence of antioxidant compounds capable of donating hydrogen to neutralize free radicals. At the lowest concentration (20 µg/mL), the extract exhibited 31.5% inhibition, while at the highest concentration (100 µg/mL), inhibition reached 78.9%.

However, ascorbic acid (standard antioxidant) showed significantly higher scavenging activity across all concentrations, reaching 94.2% at 100 µg/mL. This suggests that although the extract has substantial antioxidant potential, it is less potent compared to the standard.

The increasing trend confirms that the extract contains bioactive compounds (like flavonoids and phenolics) contributing to its antioxidant activity.

FRAP Values of Aqueous Leaf Extract of Hura crepitans

The Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) assay provides a measure of the reducing ability of an extract, reflecting its capacity to donate electrons and thereby reduce ferric (Fe^{3+}) ions to ferrous (Fe^{2+}) ions in the presence of the TPTZ reagent. Figure 3presents the FRAP v*al*ues of the aqueous leaf extract of *Hura crepitans* across a concentration range of 20–100 µg/mL. The results demonstrate a clear dose-dependent increase in reducing power, with v*al*ues rising from 145.2 µmol Fe^{2+}/g at 20 µg/mL to 410.5 µmol Fe^{2+}/g at 100 µg/mL. This progressive increase indicates that the extract possesses substantial electron-donating capacity, which is a critical mechanism underlying antioxidant activity.

The dose-dependent trend observed in the FRAP assay is consistent with the principle that higher concentrations of antioxidant compounds provide more reducing equivalents to neutralize oxidants. The relatively high FRAP values recorded at each concentration suggest that the aqueous extract of *Hura crepitans* is rich in compounds capable of acting as reductants. This finding aligns with the quantitative phytochemical analysis (Figure 2), which revealed high levels of phenols (30.50 mg/g) and flavonoids (25.60 mg/g). Both classes of compounds are well known for their reducing properties, and their abundance in the extract provides a biochemical explanation for the strong FRAP activity observed.

The correlation analysis presented in Figure 6 further supports this interpretation, showing a strong positive correlation (r = 0.85) between flavonoid content and FRAP values. This relationship highlights the pivotal role of flavonoids in the reducing power of the extract. Flavonoids, through their hydroxyl groups, can donate electrons to ferric ions, thereby stabilizing reactive species and preventing oxidative damage. The high FRAP values therefore reflect not only the presence of flavonoids but also the synergistic contributions of phenols and tannins, which were also detected in appreciable amounts.

The FRAP assay complements the DPPH radical scavenging results (Figure 3) by providing an alternative measure of antioxidant capacity. While DPPH assesses hydrogen atom donation to neutralize free radicals, FRAP specifically evaluates electron donation to reduce metal ions. The strong performance of the *Hura crepitans* extract in both assays indicates that it possesses multiple mechanisms of antioxidant action, enhancing its potential therapeutic relevance. The IC_{50} value for FRAP, reported in Figure 3as 48.7 µg/mL, further confirms the potency of the extract, placing it within the category of strong antioxidants.

From a pharmacological perspective, the high reducing power of the extract suggests that it could play a role in mitigating oxidative stress by maintaining redox balance and preventing the accumulation of reactive oxygen species. Oxidative stress is implicated in the pathogenesis of numerous chronic diseases, including cardiovascular disorders, diabetes, and neurodegenerative conditions. The ability of *Hura crepitans* to donate electrons and reduce oxidants therefore provides a biochemical rationale for its potential therapeutic applications. Moreover, the use of water as the extraction solvent enhances the ethnomedicinal relevance of the findings, as traditional preparations often involve aqueous decoctions

Hydrogen Peroxide Scavenging Activity of Aqueous leaf Extracts of *Hura Crepitans*

The aqueous leaf extract of *Hura crepitans* demonstrated a concentration-dependent increase in hydrogen peroxide scavenging activity. At 20 µg/mL, the extract showed 28.4% scavenging, which gradually increased to 75.6% at 100 µg/mL. This indicates the extract possesses compounds capable of neutralizing hydrogen peroxide, thereby preventing its conversion into more reactive species like hydroxyl radicals.

The increasing scavenging activity with higher concentrations suggests the presence of potent antioxidant phytochemicals such as flavonoids, phenolics, and saponins, which are known to contribute to oxidative stress reduction. These findings support the antioxidant potential of *Hura crepitans* in mitigating free radical-mediated cellular damage.

IC_{50} Values of Antioxidant Assays

The IC_{50} value, defined as the concentration of an extract required to inhibit 50% of a given radical or oxidative process, is a critical parameter for comparing antioxidant potency across different assays. Figure 5 presents the IC_{50} values of the aqueous leaf extract of *Hura crepitans* for three antioxidant assays: DPPH radical scavenging (55.2 µg/mL), FRAP reducing power (48.7 µg/mL), and hydrogen peroxide scavenging (60.5 µg/mL). These values provide a quantitative measure of the extract's efficacy and allow for direct comparison of its performance across different mechanisms of antioxidant action. The FRAP assay yielded the lowest IC_{50} value (48.7 µg/mL), indicating that the extract is most potent in terms of reducing ferric ions to ferrous ions. This finding suggests that the aqueous extract of *Hura crepitans* is particularly rich in compounds capable of donating electrons, such as flavonoids and phenolic acids. The strong correlation ($r = 0.85$) between flavonoid content and FRAP values (Figure 2) further supports this interpretation, highlighting the central role of flavonoids in the reducing power of the extract. The relatively low IC_{50} value in FRAP also underscores the efficiency of the extract in maintaining redox balance, which is crucial in preventing oxidative stress. The DPPH assay produced an IC_{50} value of 55.2 µg/mL, reflecting the extract's ability to donate hydrogen atoms or electrons to neutralize free radicals. Although slightly higher than the FRAP value, this IC_{50} still indicates strong radical scavenging potential. The close relationship between total phenolic content and DPPH activity ($r = 0.89$) confirms that phenolic compounds are the primary contributors to this activity. The DPPH results complement the FRAP findings by demonstrating that the extract possesses both hydrogen-donating and electron-donating capacities, thereby broadening its antioxidant mechanisms. The hydrogen peroxide scavenging assay yielded the highest IC_{50} value (60.5 µg/mL), suggesting that the extract is less potent in detoxifying hydrogen peroxide compared to its performance in DPPH and FRAP assays. Nonetheless, an IC_{50} of 60.5 µg/mL still reflects moderate antioxidant efficacy. The correlation analysis ($r = 0.81$) between tannin content and hydrogen peroxide scavenging activity indicates that tannins play a significant role in this mechanism. Tannins, through their polyhydroxylated structures, can reduce hydrogen peroxide to water, thereby preventing the formation of highly reactive hydroxyl radicals. The higher IC_{50} value may be attributed to the relatively lower concentration of tannins compared to phenols and flavonoids in the extract (figure 3).

Taken together, the IC_{50} values demonstrate that the aqueous leaf extract of *Hura crepitans* exhibits strong antioxidant potenti*al* across multiple mechanisms, with the greatest efficacy observed in reducing power (FRAP), followed by radical scavenging (DPPH), and hydrogen peroxide detoxification. The differences in IC_{50} values highlight the complementary roles of different phytochemical constituents: phenols and flavonoids dominate in DPPH and FRAP assays, while tannins contribute more significantly to hydrogen peroxide scavenging. This multifaceted antioxidant activity underscores the therapeutic relevance of *Hura crepitans*, as oxidative stress in biological systems involves diverse reactive species and mechanisms.

Correlation between Phytochemicals and Antioxidant Activity

Correlation analysis provides valuable insight into the relationship between phytochemical constituents and antioxidant activity, thereby identifying the compounds most responsible for the observed bioactivity.

Figure 6 presents correlation coefficients (r) between major phytochemicals and antioxidant assays: total phenols versus DPPH radical scavenging (r = 0.89), flavonoids versus FRAP reducing power (r = 0.85), and tannins versus hydrogen peroxide scavenging (r = 0.81). These values indicate strong positive correlations, suggesting that the antioxidant potential of *Hura crepitans* aqueous leaf extract is closely linked to its phytochemical composition.

The strong correlation between total phenols and DPPH activity (r = 0.89) highlights the pivotal role of phenolic compounds in free radical neutralization. Phenols are well known for their redox properties, enabling them to donate hydrogen atoms or electrons to stabilize free radicals. The high phenolic content quantified in Figure 2 (30.50 mg/g)

provides a biochemical explanation for the potent DPPH radical scavenging activity observed (Figure 2). This relationship confirms that phenolic compounds are the primary contributors to the extract's radical scavenging capacity, reinforcing their importance in antioxidant defense mechanisms.

The correlation between flavonoids and FRAP values (r = 0.85) underscores the role of flavonoids in electron donation and reducing power. Flavonoids, through their hydroxyl groups, can reduce ferric ions to ferrous ions, thereby maintaining redox balance and preventing oxidative stress. The relatively high flavonoid content (25.60 mg/g) reported in Figure 1 aligns with the strong FRAP activity observed (figure 2), confirming that flavonoids are central to the reducing capacity of the extract. This finding is particularly significant, as reducing power is a critical mechanism by which antioxidants prevent oxidative damage in biological systems. The correlation between tannins and hydrogen peroxide scavenging activity (r = 0.81) indicates that tannins contribute substantially to the detoxification of hydrogen peroxide. Tannins, with their polyhydroxylated structures, can donate electrons to reduce hydrogen peroxide to water, thereby preventing the formation of highly reactive hydroxyl radicals. The moderate tannin content (18.30 mg/g) reported in Figure 1 provides sufficient reducing equivalents to account for the observed scavenging activity (Figure 3). This relationship highlights the functional relevance of tannins in mitigating oxidative stress, particularly in biological contexts where hydrogen peroxide is a common by-product of metabolism. Taken together, the correlation analysis demonstrates that different classes of phytochemicals contribute to distinct mechanisms of antioxidant activity. Phenols dominate in radical scavenging (DPPH), flavonoids in reducing power (FRAP), and tannins in hydrogen peroxide detoxification. This multifaceted contribution underscores the synergistic nature of phytochemicals in *Hura crepitans*, where the combined effects of phenols, flavonoids, and tannins result in broad-spectrum antioxidant activity. Such synergy is critical in biological systems, as oxidative stress involves diverse reactive species and pathways. From a pharmacological perspective, these findings provide a strong scientific basis for the therapeutic potential of *Hura crepitans.* The ability of its phytochemicals to act through multiple antioxidant mechanisms suggests that the plant could be effective in managing oxidative stress-related conditions, including cardiovascular diseases, diabetes, neurodegenerative disorders, and cancer. Moreover, the strong correlations observed validate the quantitative phytochemical analysis and confirm that the antioxidant activities are not random but directly attributable to specific bioactive compounds.

Summary

This study focused on the phytochemical screening and antioxidant activity of aqueous leaf extracts of *Hura crepitans* (commonly known as the sandbox tree), a plant belonging to the Euphorbiaceae family and widely recognized for its ethnomedicinal applications in West Africa and tropical regions of the Americas.

The research was motivated by the increasing reliance on medicinal plants for managing chronic diseases, particularly those linked to oxidative stress, and by the limited scientific data available on the aqueous extracts of *Hura crepitans* leaves.

The project began with a detailed background highlighting the traditional uses of *Hura crepitans*, which include treatment of inflammation, microbial infections, rheumatism, and skin diseases. The literature review established that the plant contains diverse bioactive compounds such as flavonoids, phenolic acids, alkaloids, tannins, saponins, and terpenoids, all of which are known for their antioxidant and pharmacological properties. However, most prior studies had focused on organic solvent extracts, leaving a gap in knowledge regarding aqueous preparations that mirror traditional decoctions. Leaves of *Hura crepitans* were collected, authenticated, shade-dried, powdered, and subjected to aqueous extraction. The extraction yield was 16.25%, indicating efficient recovery of polar compounds. Qualitative phytochemical screening confirmed the presence of alkaloids, flavonoids, tannins, saponins, terpenoids, glycosides, and phenols. Quantitative analysis revealed phenols (30.50 mg/g), flavonoids (25.60 mg/g), and tannins (18.30 mg/g) as the most abundant constituents, suggesting their central role in the plant's bioactivity. Antioxidant assays demonstrated strong, dose-dependent activity. The DPPH radical scavenging assay showed inhibition values ranging from 31.5% at 20 µg/mL to 78.9% at 100 µg/mL. FRAP values increased from 145.2 to 410.5 µmol Fe^{2+}/g, while hydrogen peroxide scavenging rose from 28.4% to 75.6% across the same concentration range. Correlation analysis confirmed phenols as primary radical scavengers, flavonoids as major reducing agents, and tannins as key contributors to peroxide detoxification.

The findings validate the traditional use of *Hura crepitans* leaves and establish their potential as natural sources of antioxidants. Although the extract was less potent than pure ascorbic acid, its broad-spectrum antioxidant mechanisms likely arise from synergistic interactions among multiple phytochemicals.

Conclusion

This study has demonstrated that the aqueous leaf extract of *Hura crepitans* (sandbox tree) contains significant phytochemical constituents, particularly phenols, flavonoids, and tannins, which contribute to its strong antioxidant activity. The extraction process yielded a substantial amount of crude extract, confirming that water is an effective solvent for recovering polar bioactive compounds in line with traditional preparation methods. The phytochemical screening revealed a broad spectrum of compounds including alkaloids, saponins, terpenoids, glycosides, and phenols, all of which are known to play vital roles in disease prevention and health promotion. Quantitative analysis highlighted phenols and flavonoids as the most abundant groups, correlating strongly with the antioxidant assays performed. Antioxidant evaluation using DPPH, FRAP, and hydrogen peroxide scavenging assays confirmed that the extract possesses dose-dependent radical scavenging and reducing power. Although the activity was lower than that of pure ascorbic acid, the extract exhibited broad-spectrum antioxidant mechanisms, likely due to synergistic interactions among multiple phytochemicals. These findings validate the ethnomedicinal use of *Hura crepitans* leaves and provide scientific evidence supporting their potential role in managing oxidative stress-related diseases such as diabetes, cancer, and cardiovascular disorders.

Recommendations

The study recommends conducting in vivo pharmacological studies to validate the antioxidant effects of *Hura crepitans* observed in vitro, ensuring therapeutic relevance and dosage accuracy.

It also emphasizes the need for toxicological evaluations to guarantee safety, as other parts of the plant are known to be toxic. Advanced phytochemical analyses using techniques like HPLC, GC-MS, and NMR are suggested to identify specific bioactive compounds responsible for antioxidant activity. Formulation development using delivery systems such as nano or micro-carriers could enhance the extract's bioavailability and therapeutic efficiency. Additionally, comparative studies using various solvents are encouraged to determine the most effective extraction method. Finally, sustainable use and conservation of the plant should be prioritized to prevent overharvesting and ensure long-term availability for medicinal use.

REFERENCES

Adeyemi, O. A., Okwuodu, F., & Okonkwo, C. (2015). Phytochemical screening of *Hura crepitans* L. leaves from the Nigerian savanna. *Journal of Medicinal Plants Research,* 9(12), 345–352.

Adeyemi, O. O., et *al*. (2013). Hypoglycemic effects of *Hura crepitans* in diabetic rats. *African Journal of Biomedical Research,* 16(2), 125–130.

Adindu, E. A., Elekwa, I., & Ogwo, J. I. (2016). Phytochemic*al* comparative screening of aqueous extracts of the leaves, stem barks, and roots of *Hura crepitans* (L.) using GC–FID. IOSR *Journal of Biotechnology and Biochemistry,* 2, 2455–2463.

Akinmoladun, F. O., et *al*. (2010). Chemic*al* constituents and antioxidant activity of *Hura crepitans* leaves. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology,* 4(10), 730–734.

Ayoola, G. A., et *al*. (2008). Phytochemic*al* screening and antioxidant activities of some selected medicinal plants. *African Journal of Biotechnology,* 7(25), 4591–4595.

Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. Analytical Biochemistry, 239(1), 70–76.

Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature, 181(4617), 1199–1200.

Boham, B. A., & Kocipal-Abyazan, R. (1974). Flavonoids and condensed tannins from leaves of Hawaiian vaccinium vaticulatum and V. c*al*ycinum. Pacific Science, 48, 458–463.

Bonifácio, B. V., Silva, P. B., Ramos, M. A., Negri, K. M., Bauab, T. M., & Chorilli, M.

(2014). Nanotechnology-based drug delivery systems and herbal medicines: *A review. International Journal of Nanomedicine*, 9, 1–15.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT – Food Science and Technology, 28(1), 25–30.

Bray, H. G., & Thorpe, W. V. (1954). Analysis of phenolic compounds of interest in metabolism. Methods in Biochemical Analysis, 1, 27–52.

Bucic-Kojic, A., Planinic, M., Tomas, S., Jakobek, L., & Šeruga, M. (2009). Influence of solvent and temperature on extraction of phenolic compounds from grape seed, antioxidant activity and colour of extract. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 2394–2401.

Burkill, H. M. (1985). The Useful Plants of West Tropical Africa (Vol. 1, 2nd ed.). Roy*al* Botanic Gardens, Kew.

Chang, C., Yang, M., Wen, H., & Chern, J. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178–182.

Conte, R., Calarco, A., Napoletano, A., Valentino, A., Margarucci, S., Di Cristo, F., Di Salle, A., & Peluso, G. (2020). Polyphenols nanoencapsulation for therapeutic applications. Pharmaceutics, 12, 553.

Coutinho, J. P., Oliveira, J. M., & Silva, A. M. (2018). Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from plant materials: A review. Food Chemistry, 254, 331–340.

Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. Clinical Microbiology Reviews, 12(4), 564–582.

Croteau, R., *et al.* (2000). Biosynthesis of terpenoid natural products. In Comprehensive Natural Products Chemistry (Vol. 2, pp. 359-417). Elsevier.

Domingueti, C. P., Dusse, L. M. S., Carvalho, M. G., Pires de Sousa, L., Gomes, K. B., & Fernandes, A. P. (2016). Diabetes mellitus: The linkage between oxidative stress, inflammation, hypercoagulability and vascular complications. *Journal of Diabetes and Its Complications*, 30, 738–745. https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2015.12.018

Edeoga, H. O., & Eriata, D. O. (2001). Anthelmintic activity of *Hura crepitans*. Fitoterapia, 72(3), 273–275.

Edeoga, H. O., Okwu, D. E., & Mbaebie, B. O. (2005). Phytochemic*al* constituents of some Nigerian medicin*al* plants. *African Journal of Biotechnology,* 4(7), 685–688.

Eloff, J. N. (1998). Which extractant should be used for the screening and isolation of antimicrobial components from plants? *Journal of Ethnopharmacology,* 60(1), 1–8.

El-Olemy, M. M., Al-Muhtadi, F. J., & Afifi, A. A. (1975). Experimental phytochemistry: A laboratory manual. King Saud University Press, Riyadh.

Faraone, I., Rai, D., Chiummiento, L., Fernandez, E., Choudhary, A., Prinzo, F., & Milella, L. (2018). Antioxidant activity and phytochemical characterization of Senecio clivicolus Wedd. Molecules, 23, 2497.

Gulcin, İ. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: An updated overview. Archives of Toxicology, 94, 651–715.

Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). Free radicals in biology and medicine (5th ed.). Oxford University Press.

Harborne, J. B. (1973). Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis. Chapman & Hall.

Harborne, J. B. (1975). Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis. Chapman & Hall, London.

Harborne, J. B. (1978). Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis (2nd ed.). Chapman & Hall, London.

Harborne, J. B. (1994). The flavonoids: Advances in research since 1986. Chapman & Hall.

Harborne, J. B. (1998). Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis (3rd ed.). Chapman & Hall, London..

Harborne, J.B. (1998). Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis. Springer Science & Business Media.

Hulsart-Billström, G., Dawson, J. I., Hofmann, S., Müller, R., Stoddart, M. J., Alini, M., Red, H., El Haj, A., Brown, R., Salih, V., Hilborn, J., & Larsson, S. (2016). A surprisingly poor correlation between in vitro and in vivo testing of biomaterials for bone regeneration: Results of a multicentre analysis. European Cells & Materials, 31, 312–322. https://doi.org/10.22203/eCM.v031a20

Ibrahim, M., & Ogunlade, R. B. (2018). Morphological characterization of *Hura crepitans* in the Jos-Bauchi plateau. *Nigerian Journal of Botany*, 31(1), 78–85.

Igbinosa, E. O., Okonkwo, D., & Adebayo, O. (2019). Antimicrobial and antioxidant properties of aqueous leaf extract of *Hura crepitans. African Journal of Biotechnology*, 18(3), 57–64.

Indumathi, T., & Mohandass, S. (2014). Preliminary phytochemical analysis of leaf extract of Catharanthus roseus Linn. *Asian Journal of Plant Science and Research,* 4(5), 18–21.

Iwalewa, E. O., et *al*. (2007). Analgesic and anti-inflammatory properties of *Hura crepitans. Journal of Ethnopharmacology,* 113(1), 181–185.

Kaur, H., & Kaur, G. (2014). A critical appraisal of solubility enhancement techniques of polyphenols. *Journal of Pharmaceutics*, 2014, 180845.

Kawazu, K., & Mitsui, T. (1966). Callicarpone, a fish-killing component of Callicarpa candicans. Tetrahedron Letters, 7, 3519–3524.

Keay, R. W. J. (1989). Trees of Nigeria. Clarendon Press.

Krishnaiah, D., Sarbatly, R., & Nithyanandam, R. (2007). A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. Food and Bioproducts Processing, 85(1), 55–62.

Kuete, V. (2017). Medicinal Spices and Vegetables from Africa. Academic Press.

Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview. *The Scientific World Journal,* 2013, 162750. https://doi.org/10.1155/2013/162750

Liu, R. H. (2004). Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: Mechanism of action. *The Journal of Nutrition*, 134(12), 3479S–3485S.

Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. Pharmacognosy Reviews, 4(8), 118–126. https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902

Mabberley, D. J. (2017). Mabberley's plant-book (4th ed.). Cambridge University Press.

Makkar, H.P.S., *et al*. (2007). Saponins: Chemistry and pharmacology. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis,* 44(3), 349-360.

Malik, C. P., & Singh, M. B. (1980). Plant Enzymology and Histo Enzymology. Kalyani Publishers, New Delhi

Mandal, V., Mohan, Y., & Hemalatha, S. (2007). Microwave-assisted extraction—An innovative and promising extraction tool for medicinal plant research. Pharmacognosy Reviews, 1(1), 7–18.

McChesney, J. D., Kabra, P. M., & Fraher, P. (1979). Simple analogs of the toxin callicarpone. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 68, 1116–1120.

Nwosu, F. O., Obasi, N. L., & Umeokoli, B. O. (2020). Phytochemical and pharmacological potentials of Hura crepitans: A review. Journal of Medicinal Plants Studies, 8(5), 45-49.

Obadoni, B. O., & Ochuko, P. O. (2001). Phytochemical studies and comparative efficacy of the crude extracts of some homeostatic plants in Edo and Delta States of Nigeria. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(2), 203–208.

Okafor, S. A., Nwosu, I. C., & Eze, U. N. (2017). Antioxidant evaluation of methanolic leaf extract of *Hura crepitans* using DPPH and FRAP assays. *Journal of Natural Product Research,* 31(5), 467–473.

Okoye, T. C., et *al*. (2012). Anti-inflammatory and antioxidant properties of *Hura crepitans. Pharmacognosy Journal*, 4(31), 44–49.

Oloyede, G. K., & Olatinwo, M. B. (2011). In vitro antioxidant activity of extracts from the leaves of *Hura crepitans* (Euphorbiaceae)—A comparison of two assay methods. Cell Membranes and Free Radical Research, 3, 133–138.

Oloyede, G. K., & Olatinwo, M. B. (2014). Phytochemical investigation, toxicity and antimicrobial screening of essential oil and extracts from leaves and stem bark of *Hura crepitans* (Euphorbiaceae). Academia Arena, 6(5),

Oloyede, G. K., Adaramoye, O. A., & Olatinwo, M. B. (2016). Chemical constituents of sandbox tree (Hura crepitans Linn.) and anti-hepatotoxic activity of leaves and stem bark extracts. *West Indian Medical Journal*, 65, 0–1. https://doi.org/10.7727/wimj.2015.247

Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., & Simons, A. (2009). Agroforestree Database: A tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre.

Owojuyigbe, O. S., Firempong, S. K., Larbie, C., et *al*. (2020). Hepatoprotective potential of *Hura crepitans* l.: A review of ethnomedical, phytochemical and pharmacological studies. *Journal of Complementary and Alternative Medical Research*, 9(2), 1–10.

Oyeleke, G. O., Olayiwola, O. A., & Latona, D. F. (2012). Chemical examination of sandbox (Hura crepitans) seed: Proximate, elemental and fatty acid profile. Magnesium, 112, 0–1. https://doi.org/10.9790/5736-0121013

Parekh, J., & Chanda, S. (2007). In vitro antimicrobial activity and phytochemical analysis of some Indian medicinal plants. *Turkish Journal of Biology,* 31(1), 53–58.

Pham-Huy, L. A., He, H., & Pham-Huy, C. (2008). Free radicals, antioxidants in disease and health. *International Journal of Biomedical Science*, 4(2), 89–96.

Pietta, P. G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*, 63(7), 1035–1042.

Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55-74.

Price, M. L., Van Scoyoc, S., & Butler, L. G. (1978). A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 26(5), 1214–1218.

Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: Specific application to the determination of vitamin E. Analytical Biochemistry, 269(2), 337–341.

Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290-4302.

Re, R., Pellegrini, N., et *al*. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine, 26(9-10), 1231–1237.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology & Medicine, 26(9–10), 1231–1237.

Ruch et *al*., 1989 Carcinogenesis, 10(6), 1003–1008.

Sakata, K., Kawazu, K., & Mitsui, T. (1971). Studies on a piscicidal constituent of *Hura crepitans*. Part I. Isolation and characterization of huratoxin and its piscicidal activity. Agricultural and Biological Chemistry, 35, 1084–1091.

Sánchez-Moreno, C. (2002). Methods used to evaluate the free radical scavenging activity of foods and biological materials. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 82(11), 1255–1264.

Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects *A review. Journal of Functional Foods*, 18, 820-897.

Shahidi, F., & Naczk, M. (2004). Phenolics in Food and Nutraceuticals. CRC Press.

Sies, H. (1997). Oxidative stress: oxidants and antioxidants. Experimental Physiology, 82(2), 291–295.

Sies, H. (2017). Oxidative stress: A concept in redox biology and medicine. Redox Biology, 11, 613–619.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture,* 16(3), 144–158.

Sulaiman, C.T., *et al*. (2011). Antioxidant activity of different phenolic fractions of Phyllanthus amarus extracts. Food Chemistry, 123(3), 647-652.

Sofowora, A. (1993). Medicinal Plants and Traditional Medicine in Africa. Spectrum Books Ltd., Ibadan, Nigeria.

Sofowora, A. (1993). Medicinal Plants and Traditional Medicine in Africa (2nd ed.). Spectrum Books Ltd.

Trease, G. E., & Evans, W. C. (1978). Pharmacognosy (11th ed.). Baillière Tindall, London.

Trease, G. E., & Evans, W. C. (2002). Pharmacognosy (15th ed.). Saunders.

Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology,* 39(1), 44–84.

Valko, M., Rhodes, C. J., Moncol, J., Izakovic, M., & Mazur, M. (2007). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. Chemico-Biological Interactions, 160(1), 1–40.

Van-Burden, T. P., & Robinson, W. C. (1981). Formation of complexes between protein and tannin acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 1(3), 77–82.

Vergara-Salinas, J. R., Pérez-Jiménez, J., Torres, J. L., Agosin, E., & Pérez-Correa, J. R. (2012). Effects of temperature and time on polyphenolic content and antioxidant activity in the pressurized hot water extraction of deodorized thyme (Thymus vulgaris). *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 60, 10920–10929.

Wink, M. (2015). Modes of action of herbal medicines and plant secondary metabolites. Medicines, 2(3), 251–286.

World Health Organization. (2013). WHO traditional medicine strategy 2014–2023. Geneva: World Health Organization. ISBN 978-92-4-150609-6

Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chemistry, 64(4), 555–559.

Zorzi, G. K., Santana Carvalho, E. L., von Poser, G. L., & Ferreira Teixeira, H. (2015). On the use of nanotechnology-based strategies for association of complex matrices from plant extracts. Revista Brasileira de Farmacognosia, 25, 426–436.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

GENDER DIFFERENTIALS OF THE EFFECTS OF STONE QUARRYING ACTIVITIES ON LIVELIHOOD AND COPING CAPACITY OF FARMERS IN EBONYI STATE, NIGERIA

AMUSA, Taofeeq Ade
Department of Agricultural Economics, Michael Okpara University of Agriculture

NWANKWO, Ezekiel Ndubuisi
Department of Agricultural Economics, Michael Okpara University of Agriculture

Abstract
The study examined gender differentials of the effects of stone quarrying activities on livelihood of arable crop farmers and their coping capacity in Ebonyi State, Nigeria. Purposive and multi-stage sampling procedure was adopted in selecting 192 smallholder arable crop farmers across the three agricultural zones in the state. Primary data were collected for the study with the use of structured questionnaire. Data collected were analyzed using mean (x), standard deviation and Ordinary Least Squares (OLS) multiple regression model. The result of the study showed that the severity of the socioeconomic and environmental effect of stone quarrying activities is relatively higher on the livelihood of women farmers than men. Also, men appeared to show more capacity to cope with the effects of stone quarrying activities on their livelihood than the women farmers. Out of the eleven explanatory variables specified, six variables which are gender, years of education, access to credit, household size, experience and cooperative membership statistically and significantly influenced farmers' capacity to cope with the effects and threats occasioned by stone quarrying. Hence, the study concluded that male and female farmers are disproportionately affected by the effects and threats of stone quarrying activities on rural livelihoods in affected areas of Ebonyi State. The study among others recommended concerted efforts by state and federal governments through ministries of agriculture and environment to ensure excessive activities of miners and stone quarrying companies in the study area are reduced or put under significant check if food self-sufficiency must be achieved on sustainable basis.
Keywords: Gender differentials, stone quarrying, livelihood, crop farmers, coping capacity, Ebonyi State

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

GREEN TRANSPORTATION SOLUTIONS AND URBAN LIVEABILITY: A LITERATURE REVIEW

Kusum Rani
Research Scholar, Department of Marketing and Supply Chain Management, Central University of Jammu

Assistant Professor Dr. Anju Thapa
Department of Marketing and Supply Chain, Management, Central University of Jammu, India

Ankita Sharma
Research Scholar, Department of Marketing and Supply Chain Management, Central University of Jammu

Abstract
Green transportation has become a significant aspect of present-day urbanization as urban centers confront the hazard of traffic congestion, environmental degradation, climate change, and diminished liveability. This literature review seeks to ascertain the implications of green transportation on the liveability of urban centers and the general well-being of their inhabitants. The study has employed the PRISMA 2020 reporting guidelines and analyzed studies retrieved from Scopus and Web of Science databases. The research methodology involved the identification of relevant studies and their subsequent inclusion or exclusion based on predefined selection criteria. A total of 2132 documents were screened, and 160 articles were included for full-text review and 15 studies were selected for final qualitative analysis. The review reveals that green transportation can profoundly enhance the liveability of urban centers while promoting thriving communities. For example, electric vehicles (EVs), including electric cars, buses, and two-wheelers, can significantly lower emissions and enhance air quality in urban centers.
In addition, green transportation, such as walking and cycling, can promote physical activity, which, in turn, improves the mental and physical well-being of the urban dwellers. Furthermore, green transportation can also augment accessibility while shortening distances. For instance, demand-responsive transport and shared mobility can increase the carrying capacity of transportation modes and offer flexible solutions. Micro-mobility can also promote sustainable transportation solutions. Nevertheless, the benefits of green transportation are not distributed evenly and require careful consideration of factors, such as equity, affordability, safety, accessibility, and inclusiveness to enhance the liveability of urban communities.
Keywords: Green Transportation, Sustainable Mobility, Urban Liveability, Electric Vehicles, Active Mobility, Sustainable Urban Development, Literature Review

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

RUSSIA'S ENERGY STRATEGY AND RUSSIA–CHINA RELATIONS: STRATEGIC DIMENSIONS, GEOPOLITICAL IMPLICATIONS, AND FUTURE PROSPECTS

Zahraa Ali Hashim
Imam Al-Kadhim College, Department of Political Science

Abdul Hamid bin Eid Al-Moussawi
Imam Al-Kadhim College, Department of Political Science

Abstract
This study examines the strategic role of energy in strengthening bilateral relations between Russia and China by analyzing the energy policies of the Russian Federation in the context of the new political and economic transformations that have reshaped the international system following the Russo–Ukrainian War. It reviews the nature of Sino–Russian relations and the various stages through which these bilateral relations have evolved, ranging from tension and competition to strategic cooperation without mutual military commitments. The study also explores the strategic foundations of Russia's energy policy and provides a forward-looking perspective on the future of this strategy. Furthermore, it highlights Russia's strategic shift from the European market to the Asian market and demonstrates how this transition has reinforced the Russian–Chinese economic partnership while securing an alternative market capable of sustaining the Russian Federation's financial revenues amid the isolation it has faced as a result of the restrictions and sanctions imposed by the United States and its allied powers. The study further explains how China, as one of the world's leading energy consumers, has played a central role in enhancing its energy security by capitalizing on the Russo–Ukrainian War and by advancing the development of the Power of Siberia 1 and Power of Siberia 2 pipeline projects.

Introduction
Russia–China relations in the field of energy play a fundamental role in strengthening the strategic partnership between the two countries. Russia is one of the world's largest energy exporters, while China is among the world's largest energy consumers. Consequently, bilateral relations between the Russian Federation and China have increasingly focused on enhancing cooperation in the energy sector, particularly in oil and natural gas. The two countries have signed long-term agreements for the supply of natural gas through pipeline projects such as the Power of Siberia, which has strengthened their mutual interdependence and mitigated the impact of Western sanctions on Russia. Their cooperation also encompasses joint investments in energy projects and infrastructure, thereby enhancing China's energy security while providing Russia with a stable market for its energy exports. In addition, both countries seek to expand cooperation in nuclear energy and renewable energy in line with their shared objective of diversifying energy sources. These relations extend beyond the economic sphere to become an integral component of broader geopolitical dynamics, as energy cooperation has enhanced Russia's influence in Asia and strengthened the strategic ties between the two countries in response to Western pressure.

First: Research Problem

This study is guided by the following principal research question: What role has Russia's energy strategy played in strengthening its bilateral relations with China? From this central question, several subsidiary questions emerge:

What are the main features of the Russian Energy Doctrine of 2019?

What is Russia's strategic vision for the energy sector through 2035?

What is Russia's energy strategy toward China?
How has Russia's energy strategy contributed to strengthening Russia–China relations?
What is the future of Russia–China relations?
Second: Research Hypothesis:
The study hypothesizes that Russia's energy strategy has transformed Russia–China relations from a conventional economic partnership into a comprehensive strategic partnership by ensuring China a stable and secure supply of energy through overland routes, while providing Russia with a vast alternative market to Europe following the imposition of Western sanctions. This has reinforced mutual interdependence and expanded bilateral cooperation to include political and military dimensions in response to U.S. pressure.
Third: Research Methodology:
The researcher employs the deductive approach to examine the foundations of Russia–China relations and Russia's energy strategy. The historical approach is used to collect and analyze historical data, while the descriptive–analytical approach is adopted to examine Russia–China relations and to analyze the strategic role of energy in strengthening this partnership.
Fourth: Significance of the Study
The significance of this study lies in examining the role of energy in strengthening the economic partnership between the Russian Federation and China through an analysis of the historical evolution of bilateral relations between the two countries and an examination of Russia's energy strategy.
Fifth: Objective of the Study:
The study aims to identify the nature of Russia–China relations and the mechanisms through which the two countries have strengthened their economic partnership by taking advantage of the Russo–Ukrainian War, as well as the Western restrictions and sanctions imposed on the Russian Federation.
Seventh: Structure of the Study:
The study is organized into three main chapters. The first chapter examines Russia's energy strategy and is divided into two sections. The first section discusses the Russian Energy Doctrine of 2019, while the second examines Russia's Energy Strategy through 2035. The second chapter focuses on Russia's energy strategy toward China. Its first section analyzes the role of Russia's energy strategy in strengthening bilateral relations with China, while the second evaluates the extent to which this strategy has succeeded in enhancing those relations. The third chapter explores the future of Russia–China relations.

Chapter One: Russia's Energy Strategy

Section One: The Russian Energy Doctrine of 2019

Ensuring the development of energy production and safeguarding energy security constitutes one of the Russian Federation's foremost political priorities. This importance stems from the pivotal role played by Russia's fuel and energy complex in shaping the country's political system and sustaining its socioeconomic activity. The sector underpins Russia's productive capacities and contributes more than 50% of the state's consolidated budget. Consequently, ensuring energy security forms the backbone of the Russian economy and serves as a fundamental pillar of Russia's regional and international standing.\(1(\
Russia's Energy Doctrine of 2019 was formulated around preserving the country's position as one of the world's leading producers and exporters of energy while strengthening the strategic integration of its energy resources at both the domestic and international levels.

The doctrine also introduced a set of long-term policies and measures designed to shape Russia's energy strategy, including expanding traditional energy markets, reorienting exports toward Asian markets, advancing technological capabilities in energy extraction, and addressing the principal threats and challenges confronting Russian energy security.

First: Expanding Traditional Energy Markets (Oil and Natural Gas(

The Russian Federation's Energy Doctrine of 2019 was developed in response to the dynamic transformations that had reshaped the global energy system and the emerging geopolitical realities resulting from rapid changes in international energy markets. The doctrine emphasized the necessity of safeguarding energy supplies by maintaining and expanding exports of traditional energy resources—particularly crude oil and natural gas—despite the growing challenges and pressures arising from the global transition toward renewable energy and the increasing emphasis on climate change mitigation.

Accordingly, the Russian Federation identified the expansion of fossil fuel exports as a cornerstone of its 2019 Energy Doctrine and as a central commitment to strengthening exports of conventional energy resources, particularly to markets beyond Europe, most notably those in Asia. Exports of traditional energy resources constitute a substantial component of Russia's national economy, with crude oil accounting for approximately 30.3% of the country's total exports, while natural gas represented approximately 6.64% of total exports during 2019–2020.\(2(\

Russia's emphasis on expanding its energy exports is driven by rising international demand, particularly in emerging economies characterized by increasing energy requirements and relatively limited investment in renewable energy technologies. This trend is especially evident in China, India, and other countries across the Asia-Pacific region. Furthermore, this strategic orientation is consistent with major regional initiatives, such as the Belt and Road Initiative (BRI), which seeks to facilitate energy cooperation and promote the development of energy infrastructure throughout the region.3

However, the Russian Federation is fully aware of the magnitude of the challenges confronting traditional energy markets, particularly in Europe. Demand for fossil fuels within these markets has declined significantly as a result of policies aimed at reducing greenhouse gas emissions and accelerating the transition toward renewable energy sources.\(1\) Such developments have the potential to constrain Russia's strategic maneuverability amid evolving global patterns of energy consumption. From the Russian perspective, reliance on conventional energy resources is not merely a matter of economic survival; rather, it constitutes one of the principal instruments for advancing geopolitical influence, particularly in the context of uncertainty generated by international sanctions and the shifting balance of power within the international system.\(2(\

Recognizing the challenges posed by the evolving global energy system therefore represents a central component of Russia's energy security strategy. While the Russian Federation seeks to expand its traditional energy markets, it simultaneously faces a range of global constraints that limit its influence at both the regional and international levels.\(3\) Consequently, Russia has emphasized the adoption of advanced technological solutions capable of reducing harmful greenhouse gas emissions,\(4\) thereby mitigating the environmental impacts associated with fossil fuel extraction rather than pursuing a comprehensive transition to green energy.\(5\) In parallel, state-owned enterprises have begun directing a portion of their investments toward renewable energy while seeking to align their energy strategies with national policies that encourage greater diversification of energy sources.\(6(\

Nevertheless, the Russian Federation has adopted a cautious and highly selective approach toward renewable energy development. Investment strategies pursued by Russian multinational corporations (MNCs) continue to prioritize fossil fuel resources over expanding investments in renewable energy. This strategic orientation reinforces Russia's geopolitical influence at both the regional and global levels, particularly given the continued and overwhelming dependence of major industrial corporations on conventional energy sources and their limited capacity to abandon them—a pattern similarly observed among leading corporations in Germany and the United Kingdom.\(7\) In light of Russia's strategic objective of maintaining high levels of traditional energy exports, the Russian Federation has sought to manage geopolitical tensions with considerable effectiveness in a manner consistent with the profound transformations taking place within the international system.

Furthermore, the Arctic has emerged as a strategically significant region for Russia's future energy development and for maintaining high levels of fossil fuel production, particularly in light of projections indicating declining production levels in other regions. Consequently, the Arctic is expected to provide a new export corridor for Russian energy supplies beyond 2035.\(1(\

Based on the foregoing, the principle of expanding Russian energy exports reflects a nuanced strategy that seeks to preserve Russia's dominant position in global energy markets while gradually incorporating renewable energy initiatives into its broader energy policy. This approach attempts to strike a balance between safeguarding traditional energy exports and addressing the environmental challenges associated with global climate concerns, with a clear strategic preference for increasing conventional energy exports through the application of advanced technologies.

Second: The Strategic Reorientation toward Asian Markets:

Asian markets, particularly China, have become a central pillar of Russia's energy strategy as European markets have gradually reduced their dependence on conventional energy resources and accelerated their transition toward renewable energy sources. Russian natural gas exports to Asia increased substantially during the years preceding 2019. At the beginning of 2019, Russian gas exports to China reached approximately 13.3 billion cubic metres (bcm), reflecting the Russian Federation's broader strategy of reducing its dependence on European energy markets.\(2(\

This strategic reorientation demonstrates how Russia has capitalized on the growing demand for energy in Asian markets, driven by their expanding industrial capacities. Accordingly, Moscow has proactively broadened its strategic partnerships across the Asia-Pacific region to strengthen its political and economic relations with countries in the region. In this context, Russia concluded a series of bilateral agreements aimed at expanding investment in energy infrastructure, particularly with China. These agreements include the Power of Siberia 1 and Power of Siberia 2 pipeline projects, which are designed to increase Russian energy exports to China. In addition, Russia has signed numerous bilateral agreements with countries in East and Southeast Asia, further consolidating its strategic influence throughout the region.\(3(\

Moreover, Russia has sought to deepen its engagement with South Asian countries, particularly India, whose rapidly expanding economies have generated growing demand for energy resources. This reflects Russia's determination to diversify its commercial partnerships and reshape its energy strategy by shifting its focus from traditional European markets toward emerging markets seeking to diversify their energy supplies in response to sustained industrial growth and economic development.4

-1The need to develop the infrastructure necessary to ensure the flow of energy to Asian countries, including the development of pipelines and the enhancement of transportation technologies. These constitute fundamental requirements for strengthening Russia's capacity to engage effectively with its emerging markets.[1[

-2Concluding major agreements on investment in energy projects and infrastructure with these countries, in accordance with the Russian economic model. This represents a significant geopolitical challenge for Russia as it seeks to reorient itself and respond effectively to the requirements of Asian markets.[2[

Finally, it can be argued that the reorientation toward Asian markets within the Russian doctrine represents an important strategic step in confronting the growing economic and geographical challenges. Through this shift, Russia seeks to strengthen its presence, secure new sources of revenue, and expand its partnerships with major Asian countries. Despite the challenges involved, opportunities exist to strengthen economic relations and enhance cooperation in the energy sector, which may contribute to reinforcing Russia's position within the global energy system. Achieving this, however, requires not only flexible policies but also substantial investment in infrastructure to ensure the uninterrupted flow of energy to these increasingly energy-demanding countries.

Section Two: Russia's Energy Strategy through 2035:

Energy constitutes a fundamental element of Russia's domestic and foreign policy, with the country seeking to consolidate its position as one of the world's leading energy producers. Since the dissolution of the Soviet Union in the 1990s, Russia has expanded its influence through oil and gas exports, making the energy sector a central pillar of the Russian economy and an important instrument of its political influence at both the regional and international levels. In light of the geopolitical challenges confronting Russia, particularly following the Ukraine crisis and the war that erupted in 2022, the Russian government reformulated its energy strategy through 2035 by establishing a set of objectives aimed at achieving a balance between maintaining traditional markets in Europe and expanding into Asian markets, particularly the Chinese market.

The energy sector contributes substantially to the Russian Federation's financial revenues. According to Russian government reports, the Russian economy relies on oil and gas exports for more than 50% of government revenues. In addition, Russia is one of the world's largest oil producers, producing approximately 10.5 million barrels per day, which makes it a significant participant in global oil markets. With regard to natural gas, Russia possesses vast and extensive reserves and is one of the world's largest natural gas exporters, highlighting its pivotal role in securing energy supplies to Europe.[3[

Russia's third energy strategy constitutes a joint framework involving the federal government and several economic sectors. It directs attention toward the governance of the energy sector within the domestic context while taking into account external changes and influences that constrain the Russian model. The document identifies a number of internal and external challenges confronting Russia's energy sector, including:[4[

Weak domestic competitiveness.:

Declining levels of economic development.

The deterioration of the resource base required by energy industries as a result of the depletion of deposits and the deterioration of development processes.

Weak technological capabilities.

Dependence on global energy prices, which are subject to crises and significant fluctuations.

Limited ability to attract external loans and foreign investment.

The emergence of renewable energy sources.

Accordingly, the Russian government established a set of objectives in its strategy through 2035, including the following:[5]
Maintaining Russia's global standing in the energy sector.
Diversifying energy exports to Asian markets.
Ensuring the availability of affordable energy for domestic consumers.
Developing renewable energy systems.

.1Maintaining Russia's Global Standing in the Energy Sector

Energy is one of the vital sectors through which the Russian Federation seeks to strengthen its global standing in the coming years. The Russian Federation possesses enormous energy resources, including vast quantities of oil and natural gas, which enable it to play an influential role in the global energy market. Since 2000, Russia has adopted an energy strategy aimed at restoring its global influence through the exploitation of these resources. It has used energy policy as a means of activating and enhancing its role and influence in international relations [1.[
Russian energy policy is based on diversifying markets and strengthening relations with energy-consuming countries through major strategic projects, such as the Nord Stream 2 and Power of Siberia 2 projects. These projects aim to improve oil and gas exports and ensure energy security for European and Asian countries [2]. They also reflect Russia's strategy of connecting countries and regions and securing energy supplies in global markets, thereby strengthening its position within the international system [3.[
Furthermore, the political challenges facing Russia, including the international sanctions imposed on it as a result of geopolitical conflicts, have also contributed to increasing the importance of energy within Russian strategies [4]. These sanctions have affected the Russian economy; however, at the same time, they have contributed to the development of a more strategic energy policy focused on strengthening relations with new countries, such as China and the Central Asian states [5.[
In view of the geo-economic dimensions of these strategies, Russia seeks to achieve economic integration with countries that depend on energy imports, which represents an effective instrument for maintaining its foothold in global power struggles [6]. Moreover, these strategies require particular attention to environmental and international trends, as Russia also seeks to strike a balance between increasing energy production and protecting the environment [7.[

.2Diversifying Energy Exports toward Asian Markets

Expansion into the Asian market represents one of the main pillars of Russia's energy strategy. This orientation has been particularly evident in Russian-Chinese relations, as Russia seeks to capitalize on China's growing demand for natural gas resulting from the rapid expansion of its economic, particularly industrial, capabilities. In this context, several agreements have been signed to facilitate the export of Russian gas through new pipelines, such as the Power of Siberia pipeline, which is expected to provide a substantial capacity of up to 38 billion cubic meters annually [8.[

.3Ensuring the Availability of Affordable Energy for Domestic Consumers

Ensuring the availability of affordable energy for domestic consumers is one of the objectives pursued by energy policies in the Russian Federation. Energy constitutes a foundation for economic and social development and represents an important part of citizens' lives. This study reflects the strategic importance of energy in Russia, the policies adopted to achieve this objective, as well as the principal challenges facing these efforts.

Russia possesses abundant energy resources, including vast reserves of oil and natural gas, which provide it with a relative capacity to influence energy prices in both domestic and global markets. These resources contribute to supporting economic growth and enhancing social stability [9]. Nevertheless, challenges such as climate change, economic sanctions, and international competition require Russia to consider new approaches to ensuring energy availability.

The Russian government is implementing a range of policies to achieve this objective. These policies include providing financial support to the energy industry to ensure that energy prices do not rise for domestic consumers; optimizing production by improving production efficiency and transportation technologies in order to reduce costs and increase efficiency; and promoting energy diversification through investment in renewable energy sources, such as solar and wind energy, in order to reduce dependence on fossil fuels [10].

.1Improving Energy Use Efficiency

The Russian Energy Strategy indicates that improving energy efficiency is one of the critical objectives for achieving sustainable energy security. Russia seeks to reduce energy consumption in the industrial and residential sectors. This approach encourages the use of modern technologies to reduce energy losses and enhance sustainability [1.[

Russia regards technological innovation as a fundamental pillar for achieving its strategic objectives concerning the sustainability of energy production. The Russian government encourages the development of new technologies to improve extraction and refining processes, in addition to promoting and expanding the use of renewable energy sources as part of the overall energy mix [2.[

Despite Russia's significant ambitions in the energy sector, its energy strategy faces several challenges that may hinder the achievement of its stated objectives. These challenges can be classified as follows:

.1Western Sanctions

Following the escalation of tensions with the West and the imposition of sanctions on Russia because of the Ukrainian conflict, Russia's ability to access European markets directly has been affected, as the volumes of shipments and exports of energy-related commodities have declined. These sanctions constitute a major obstacle to Russia's implementation of its long-term energy strategy, particularly in European markets, which represent the largest market for Russian energy consumption [3.[

.2Regional and International Competition

Competition among major powers for access to energy resources is intensifying, placing pressure on Russia to seek new partnerships with Asian countries. At the same time, countries such as the United States and the Gulf states are demonstrating an increasing desire to strengthen their presence in these markets. Moreover, the challenges associated with renewable energy sources and climate change constitute an additional challenge to the strategic objectives pursued by Russian policymakers through the energy sector [4.[

.3Climate Change and Resource Preparedness

The transition toward sustainable and renewable energy requires Russia to undertake significant efforts to prepare energy infrastructure and improve transportation and storage procedures in order to address climate change. Climate transformations constitute a strategic challenge to Russian energy security, necessitating the adoption of a strategy that balances continued support for fossil fuels with increased investment in renewable energy [5.[

Russia's energy strategy represents a comprehensive attempt to strengthen its influence in the global energy market despite the multiple challenges it faces. Although the strategy focuses on expanding production capacity, strengthening relations with Asian countries, and improving energy efficiency, Western sanctions and climate change remain important factors affecting the success of this strategy. The Russian energy sector remains subject to continuous change and transformation, requiring periodic assessment and new perspectives to address global developments.

Section Two: Russia's Energy Strategy toward China

Energy occupies a fundamental and central position in Russian-Chinese relations. Russia's strategy in this sector has constituted a vital instrument for strengthening the position of the Russian Federation at the international level. Since the dissolution of the Soviet Union and the beginning of the first decade of the twenty-first century, Russian policymakers have recognized that the future of Russia's international influence depends to a considerable extent on the manner in which energy is employed as a strategic instrument through which Russia can exert influence over the global market and strengthen its regional and international presence, particularly in light of the profound transformations taking place within the international system that have affected regional and international balances, as well as the rise of China as a major power with significant influence over global decision-making on the international stage.

Subsection One: The Role of Russia's Energy Strategy in Strengthening Its Relations with China

The energy sector has contributed to strengthening international relations among major and smaller powers alike. With China's rapid and growing rise on the international stage and its increasing energy needs, Russian-Chinese relations began to take a more serious and cooperative course, particularly with regard to international decision-making and the two countries' shared geopolitical vision of a system dominated by the United States.

Following the escalation of Western pressure on Russia after the two Ukraine crises in 2014 and 2022, energy became a major strategic instrument in Russian foreign policy rather than merely an economic commodity. The Russian Federation found in Beijing the most reliable partner for marketing its oil and gas production, away from Western dominance and the economic sanctions that imposed restrictions on its exports to Europe.

Conversely, China viewed Russia as a secure source of energy, distinct from its maritime sources that pass through waterways subject to U.S. oversight, such as the Strait of Malacca and the South China Sea. This dimension has made Russian energy an important guarantee of Chinese national security, as it provides China with a secure and stable overland route for its energy supplies [6].

With China occupying the second position in the global economic hierarchy and Russia's return to the international arena, the two countries' ambitions to transform the international system increased, seeking to move from a unipolar system dominated by the United States to a multipolar system. Accordingly, both the Russian Federation and China strengthened their bilateral relations politically and militarily, and, to an even greater extent, economically [1.[

Economic cooperation between the two countries constituted the fundamental pillar during this period amid the structural transformations taking place within the international system. The two sides agreed to increase the volume of Russian gas exports to China through the Siberia–Pacific Ocean pipelines [2]. They also signed a long-term contract in 2014, which was regarded as a turning point in energy relations between the two countries. The agreement stipulated that Russia would supply China with 38 billion cubic meters of natural gas annually for a period of 30 years, in addition to increasing the volume of Russian oil exports to China.

The Russian-Ukrainian crisis over Crimea in 2014 and the imposition of economic sanctions on Russia further strengthened this strategic partnership between the two countries. Russia regarded China as a strategic ally capable of strengthening its economic resources and as a major economic market for Russia and its energy projects. Following the energy exchange agreement concluded between Russia and China to increase China's imports of Russian energy, the two sides also signed investment agreements aimed at broadening the prospects for economic cooperation between them, in addition to agreements in the military field [3.[

The two countries also exchanged military equipment. Bilateral trade reached approximately USD 88 billion in 2014 and increased to USD 95 billion in 2015. It subsequently declined to USD 66 billion in 2016 as a result of the global economic crisis, before rising again to USD 107 billion in 2017. Cooperation in the energy sector accounted for the largest share, with energy trade constituting approximately 60% of total bilateral trade during those years [4.[

Russian-Chinese relations took a more serious course following the economic war launched by the United States against China and the pressure exerted on Beijing concerning internal issues in Hong Kong and the South China Sea. This was followed by the outbreak of the COVID-19 pandemic and the accompanying economic crisis that affected countries across the world. The two sides consequently strengthened their economic relations, and bilateral trade increased to more than USD 110 billion in 2019, prior to the closure of global markets because of the pandemic.

Russia succeeded in surpassing Saudi Arabia in its oil exports to China and became the largest oil exporter through the Power of Siberia 1 and Power of Siberia 2 pipelines. China also strengthened its investments in the Russian energy sector in the Arctic in 2020. The two sides announced a "no-limits partnership" encompassing several agreements in the fields of trade and energy between the two countries. This partnership was announced by Chinese President Xi Jinping in 2022, shortly before the outbreak of the Russian-Ukrainian war, thereby further strengthening their economic partnership at the global level [5.[

Based on the foregoing, it can be argued that the role played by energy in strengthening Russian-Chinese relations extends beyond purely economic dimensions. Rather, it is connected to the process of building a comprehensive strategic partnership aimed at reshaping the balances within the international system. Through its energy exports to China, Russia not only secures vital financial and economic resources but also strengthens geopolitical ties that make China a difficult partner to dispense with in confronting Western pressure.

Conversely, China obtains stable and growing energy supplies that provide it with greater flexibility in managing its economic and security strategies and reduce its exposure to the risks of blockade or the disruption of maritime supply routes. Thus, Russia's energy strategy has become a central pillar of its relationship with China, representing a practical embodiment of the concept of "interdependence," which provides both sides with deep shared interests and makes the dissolution of this relationship extremely difficult.

The relationship between Russia and China in the energy sector is therefore no longer merely a temporary form of economic cooperation. Rather, it has become part of a long-term strategic project that contributes to reshaping the balance of international power and provides both countries with additional instruments for influencing the structure of the current international system.

Subsection Two: The Extent of the Success of Russia's Strategy in Strengthening Its Relations with China

Russia's energy strategy has achieved clear success on various levels in strengthening its relations with China, amid shared interests and objectives as well as geopolitical competition between the two countries.

Bilateral relations have reached their highest levels since the dissolution of the Soviet Union following the outbreak of the Russia-Ukraine war in February 2022 [1.[

From an economic perspective, Russia has succeeded in finding a strategic alternative to the European market, which it gradually lost following the imposition of Western sanctions. It redirected its energy exports, particularly oil and natural gas, toward Asian markets, foremost among them China. China became the largest purchaser of Russian energy after 2014 [2]. With the outbreak of the Ukrainian crisis in 2022, China's position became even more significant, making it Russia's primary partner in absorbing its energy surplus. Major projects such as the Power of Siberia pipeline, together with long-term gas and oil agreements, helped consolidate this shift and give the economic cooperation between the two countries a strategic character [3.[

At the political level, energy contributed to bringing Russian and Chinese positions closer regarding international issues. Both sides adopted a shared vision aimed at confronting American dominance and pursuing the construction of a multipolar international system. The energy partnership also provided a solid foundation for their strategic partnership. Russia secured a stable market relatively insulated from American and Western sanctions, while China obtained secure supplies through overland routes, reducing its dependence on maritime routes subject to U.S. monitoring. This gave energy a geopolitical dimension extending beyond its purely economic value [4.[

At the military level, Russia's strategy succeeded in transforming its rapprochement with China from "situational coordination" into a practical security partnership developing along three complementary tracks: selective arms transfers and technology, increasingly complex joint exercises, and air and maritime patrols conveying deterrence messages to the United States and its allies within the international system.

The acceleration began in 2015 with contracts for the (Su-35) and (S-400) systems, which demonstrated Russia's willingness to overcome its traditional reservations regarding the export of advanced systems to China. These were subsequently followed by agreements involving helicopters, engines, and naval technologies, thereby strengthening trust and operational cooperation between the two armed forces. This process was not purely commercial; rather, it was designed to bring the two countries' military doctrines closer together and to establish greater connectivity among their sensing, command, and control systems, thereby enhancing their interoperability in northern and eastern theaters of operation [5.[

The second track consists of large-scale joint training. Since 2019, the pace and geographical scope of these exercises have accelerated, with independent monitoring recording at least 133 exercises through June 2025, more than half of which took place after 2019. These exercises have included land, naval, air, air-defense, and joint command training. This intensity has translated into increasingly complex exercises involving scenarios such as air-defense simulations, repelling amphibious landings, and joint strikes. It has also increased interoperability in the Pacific and Arctic environments.

The third track consists of strategic patrols, which convey direct deterrence messages to Washington's allies. Since 2019, Russian and Chinese bomber patrols have been conducted periodically over the Sea of Japan and the waters of East Asia. The two sides continued these joint patrols through November 2024 under an annual cooperation plan. In the summer of 2024, joint surface naval formations also appeared near Alaska and the Aleutian Islands, reflecting the extension of these signals from Asian shores to the vicinity of U.S. territory. These patterns increase the costs associated with Western pressure and demonstrate that Russia has a symbolic military avenue toward the Pacific through a major Asian partner, namely China [6.[

Based on the foregoing, it can be argued that Russia's energy strategy has been highly effective in strengthening its bilateral relations with China at the political, economic, and even military levels. However, the relationship has not reached the level of a formal strategic alliance involving binding military commitments or joint participation in wars. Rather, it remains a flexible partnership characterized by the absence of binding obligations between the two sides.

Section Three: The Future of Russian-Chinese Relations

Based on the current assessment of the nature of Russian-Chinese relations, which have recently been strengthened rapidly, steadily, and gradually across various levels—including the economic, political, technological, and military spheres—without moving toward a formal military alliance between the two countries, the future of bilateral relations appears to revolve around a pragmatic strategic partnership in which energy will play the leading role during this stage.

China seeks to develop its relations and partnership with Russia while maintaining functional relations with the United States and Western powers. This represents an interim strategic arrangement through which China can derive the maximum possible benefit from Russia under the current circumstances. Russia, meanwhile, seeks through this relationship to obtain the greatest possible benefits from bilateral trade arrangements and economic exchanges amid the sanctions imposed upon it, enabling it to keep pace with military, technological, and economic developments and to continue exporting its energy products to Chinese markets until alternative solutions can be found to address its economic situation, which remains heavily dependent on its oil and gas products.

A number of factors reinforce this perspective, which can be addressed as follows:

.1Continued Economic Cooperation and Bilateral Trade between the Two Countries in a Balanced Manner, Particularly in the Energy Sector, without Reaching Complete Mutual Dependence [1[

Despite the strengthening of economic relations between Russia and China and the increase in the level of their economic and trade cooperation, the level of cooperation between the two countries has not yet reached the stage of economic integration or complete mutual dependence to the extent that either country would be unable to dispense with the other. This is particularly evident as China has increasingly opened its markets to countries in the Middle East and expanded bilateral agreements and partnerships with them in the fields of energy, infrastructure, and technological exchange.

Examples include the bilateral agreements concluded by China with Iran, Saudi Arabia, Qatar, and Iraq, whether through the Belt and Road Initiative or through bilateral agreements, as previously discussed in this study.

.2Economic Interdependence between China, the United States, and the European Powers as an Obstacle to Economic Integration and the Adoption of a Long-Term Strategy with Russia [2[

China maintains dynamic relations with the United States and European countries within the international system. Economically, these relations are characterized by a high degree of interdependence between the parties despite the continuing tensions between them. The economic relationship between the United States and China is fundamental, and neither side can easily dispense with the other, as demonstrated by the volume of bilateral trade, which ranks among the largest trade relationships for both parties.

The same applies to China's relations with European countries, which constitute its second-largest economic relationship after the United States. This situation requires China to adopt a cautious strategy in its bilateral relations with the Russian Federation, particularly in light of the numerous fluctuations affecting the international system.

.3Similarities in Russia's and China's Positions on Regional Issues, Particularly the Ukrainian and Taiwanese Issues [3[

While Russia considers Ukraine part of its vital sphere of influence and maintains that it cannot be subjected to external interference or incorporated into NATO, China likewise regards Taiwan as part of its strategic sphere, within the scope of its sovereignty, and as an inseparable part of its territory. This situation encourages the two countries to strengthen their current relations in pursuit of their short-term regional and international strategic objectives.

These factors, among others that the researcher was unable to address, constitute a major component in shaping an interim strategic partnership between the Russian Federation and China. This represents one of the possible future scenarios for the development of bilateral relations between the two countries.

Conclusion

The foregoing study demonstrates that the energy strategy of the Russian Federation represents a pivotal instrument for strengthening Russian-Chinese relations. Energy has played a fundamental role in shaping the strategic partnership between the two countries, particularly in light of the structural transformations that have affected the international system following the Russia-Ukraine war. China has proven to be Russia's most important partner in the energy sector, both in terms of energy supplies and investment, making the Asian market a strategic alternative to the European market, which has been contracting as a result of Western sanctions.

The study also demonstrates that Russia's energy doctrine and strategy through 2035 are based on diversification, expansion, and maintaining Russia's global role as a major energy exporter, while taking into account geopolitical challenges, environmental changes, and technological transformations.

This shift from European dependence toward an Asian partnership, particularly with China, was not merely an economic choice but rather a strategic decision reflecting Russia's desire to reshape its position within the international system and consolidate its presence as an energy power that cannot be disregarded.

Accordingly, the future of Russian-Chinese relations appears likely to witness further integration, particularly in light of the geopolitical convergences that encourage both sides to deepen their cooperation in response to Western dominance and to contribute to building a more balanced and multipolar international system.

References

Al-Yasiri, Aisar Ali Jawad, and Saif Haider Al-Husseini. "A Study of the American-Russian Role in the Caspian Sea Region." Al-Ma'had Journal, Al-Alamein Institute, No. 15, Kufa, 2023.

"Chinese-Russian Rapprochement and Its Impact on the Balance of Power in the Middle East." China Studies Unit, Emirates Policy Center, 2021.

https://epc.ae/ar/details/featured/chinese-russian-rapprochement-and-its-impact-on-the-balance-of-power-in-the-middle-east

Al-Shammari, Hassan Nasser Abd. "The Role of Energy in Restoring the International Standing of the Russian Federation." Journal of the College of Basic Education, Al-Mustansiriyah University, Vol. 26, No. 106, Baghdad, 2020.

Abd al-Ridha, Sarah Qasim. “Russian-American Competition over Energy in the Arctic Region.” Political Issues, Al-Nahrain University, No. 77, Baghdad, 2024.

Al-Saeedi, Saad Obeid. “The Russian Federation’s Use of the Energy Sector to Support Its Global Role after 2000.” Al-Ma'had Journal, Al-Alamein Institute for Postgraduate Studies, Kufa, 2022.

Al-Hosni, Aisha Ibrahim. “Prospects for Russian-Chinese Relations in Light of Putin’s Visit to China.” Article published by Trends Research & Advisory, 2024.

https://trendsresearch.org/ar/insight

Al-Mundhiri, Alaa Abd al-Wahab. “Russian Mechanisms for Confronting Western Economic Sanctions.” Tikrit Journal of Political Science, College of Tikrit University, Vol. 3, No. 36, Tikrit, 2024.

Ubaid, Qasim Muhammad, and Sina Michael Issa. “The Strategic Dimensions of Russia’s Energy Orientation toward the European Union after 2000.” Al-Ma'had Journal, Al-Alamein Institute, No. 1, Kufa, 2020.

Kanaan, Lamia. “Russia and China: A Transcontinental Economic Partnership.” Article published by CNN Business Arabic, 2024.

https://cnnbusinessarabic.com/economy/62380

Al-Saadi, Mohammed Ali. “Russian Energy Policy and Its Impact on International Relations.” Al-Qarar Journal for Peer-Reviewed Scientific Research, Center for Research, Training and Studies, Vol. 5, No. 13, Beirut, 2025.

Mamas, Meziane. “Russia’s Energy Strategy 2035 in Light of the COVID-19 Pandemic.” Algerian Journal of Strategic Studies, Vol. 8, No. 2, Algeria, 2021.

Al-Majali, Yazid Adel Abdul Majeed. “The Reality and Future of Russian-Chinese Political Relations during the Period 2014–2023.” Journal of Political Science and Law, Arab Democratic Center, Vol. 8, No. 38, Berlin, 2023.

1-Alekseev, Alexander N. “A Critical Review of Russia’s Energy Strategy in the Period until 2035.” International Journal of Energy Economics and Policy, EconJournals, Vol. 9, Issue 6, Istanbul, 2019.

2-Azis, A., et al. “The RE Power EU: An EU Climate Ambitions and Its Implications on Russian-European Energy Geopolitics Stability.” Journal of International Studies on Energy Affairs, Universitas Pertamina, Vol. 3, No. 2, Jakarta, 2023.

3-Belikova, K.M., et al. “Cooperation of China and Russia in the Framework of the Asian Super Grid: Political and Legal Aspects.” International Journal of Economics and Business Administration, International Strategic Management Association, Vol. VII, Issue 1, Athens, 2019.

4-Bogoviz, Aleksei Valentinovich, et al. “Russia’s Energy Security Doctrine: Addressing Emerging Challenges and Opportunities.” International Journal of Energy Economics and Policy, EconJournals, Vol. 8, No. 5, Mersin, 2018.

5-Borges, Chris, and Andrea Leonard Palazzi. “The U.S.-China Relationship amid China’s Economic Woes.” CSIS, 2023. https://www.csis.org/blogs/perspectives-innovation/us-china-relationship-amid-chinas-economic-woes

6-Chang, Youngho, et al. “Competition and Cooperation in the Natural Gas Market: A Game-Theoretic Demand-Base Analysis.” Asia Europe Journal, Springer, No. 19, Heidelberg, 2021.

7-China Power. “Series: China-Russia Relations.” 2024. https://chinapower.csis.org/series-china-russia-relations

8-Congressional Research Service. Power of Siberia: A Natural Gas Pipeline Brings Russia and China Closer. Washington, 2020.

9-Dmitrieva, Diana, and Victoria Solovyova. "Russian Arctic Mineral Resources Sustainable Development in the Context of Energy Transition, ESG Agenda and Geopolitical Tensions." Energies, MDPI, No. 16, Basel, 2023.

10-Dyomina, Olga. "The Role of the Far East in Russia's Foreign Energy Policy Agenda." E3S Web of Conferences, EDP Sciences, No. 289, Les Ulis, 2021.

11-EIA. "China's Crude Oil Imports Decreased from a Record as Refinery Activity Slowed." 2024. https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=64544

12-Essen, Hugo von. Future Scenarios of Russia-China Relations: Not Great, Not Terrible? NKK/SCEEUS Report, Swedish National Chain Center, No. 4, Stockholm, 2024.

13-Geng, Zhe. "Russian Energy Strategies in the Natural Gas Market for Energy Security." International Journal of Energy Economics and Policy, EconJournals, Vol. 11, No. 2, Istanbul, 2021.

14-Godzimirsk, Jakub Maciej. "Energy, Climate Change and Security: The Russian Strategic Conundrum." Journal of Eurasian Studies, SAGE, Vol. 31, No. 1, Seoul, 2022.

15-Godzimirski, Jakub M. Energy and Russian Great Power Post-Crimea. Edited by Elizabeth Buchanan, Russian Energy Strategy in the Asia-Pacific, ANU Press, Canberra, 2021.

16-Kluge, Janis. Russia-China Economic Relations: Moscow's Road to Economic Dependence. Wissenschaft und Politik, German Institute for International and Security Affairs, Berlin, 2024.

17-Kuliani, Michael. The Bear and the Dragon: Prospects of Sino-Russian Alliance, Rapprochement, Rivalry and the Things in Between, Master's Thesis in Chinese Society and Politics, University of Oslo, Oslo, 2012.

18-Kuliani, Michael. The Bear and the Dragon: Prospects of Sino-Russian Alliance, Rapprochement, Rivalry and the Things in Between, Master's Thesis, University of Oslo, 2012.

19-Ma, Yongjian. "The Impact of Crude Oil Price Shocks on Bitcoin under the Russian–Ukrainian War." BCP Business & Management, Boya Century Publishing, Vol. 30, Hong Kong, 2022.

20-Mitrova, Tatiana, and Yuriy Melnikov. "Energy Transition in Russia." Energy Policy, KAPSARC, No. 3, Riyadh, 2019.

21-Novikau, Aliaksandr. "What Does Energy Security Mean for Energy-Exporting Countries? A Closer Look at the Russian Energy Security Strategy." Journal of Energy & Natural Resources Law, Taylor & Francis, Vol. 33, Issue 1, 2020.

22-Partners or Rivals? Areas of Convergence and Divergence of Interests in the Indo-Pacific. Russia Strategic Initiative, 2024.

23-Rasoulinezhad, Ehsan, et al. Russian Federation–East Asia Liquefied Natural Gas Trade Patterns and Regional Energy Security. ADBI Working Paper Series, No. 965, Tokyo, 2019.

24-Saneev, B.G. "Regional Priorities of the Eastern Energy Strategy of Russia: the Past, the Present, and an Outlook for the Future." Energy Systems Research, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Vol. 6, No. 1, Irkutsk, 2023.

25-Shahini, Ermir, et al. "The Supply Shock in Organic Fertilizers for Agriculture Caused by the Effect of Russia-Ukraine War." Scientific Horizons, Polissia National University, Vol. 25, No. 2, Ukraine, 2022.

26-SIPRI. Siemon T. Wezeman, "China, Russia and the Shifting Landscape of Arms Sales." 2017. https://www.sipri.org/commentary/topical-backgrounder/2017/china-russia-and-shifting-landscape-arms-sales

27-Stronski, Paul, and Nicole Ng. Cooperation and Competition: Russia and China in Central Asia, the Russian Far East, and the Arctic. Carnegie Endowment for International Peace, New York, 2018.

28-Tyurina, E.A., et al. "Competitiveness of Export-Oriented Systems of Long-Range Energy Supply." Energy Systems Research, Institute of Energy Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Vol. 7, No. 1, Irkutsk, 2024.

29-Williams, Heather, et al. "Why Did China and Russia Stage a Joint Bomber Exercise near Alaska?" CSIS, 2024. https://www.csis.org/analysis/why-did-china-and-russia-stage-joint-bomber-exercise-near-alaska

30-Yermakov, Vitaly, and Tatiana Mitrova. Russia's Energy Strategy 2035. Ifri Report, No. 28, Paris, 2019.

31-Zotova, Elizaveta, et al. "Realization of the Energy Strategy of the Russian Federation Regarding the Transportation of Energy Resources." E3S Web of Conferences, EDP Sciences, No. 110, Les Ulis, 2019.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

FROM GEOPOLITICAL COMPETITION TO STRATEGIC UNCERTAINTY: REGIONAL CONFLICT AND THE CHANGING SECURITY CHOICES OF SECONDARY POWERS IN THE MIDDLE EAST

Hassan Attahiru Gwandu
Department of History and International Studies, Federal University Birnin Kebbi
ORCID: 0000-0002-2424-5489

Abstract
The changing security environment in the Middle East has created new uncertainties for states that possess significant regional capabilities but do not occupy great-power positions. The ongoing 2026 US–Iran conflict has intensified uncertainty concerning the reliability of established security partnerships, the behaviour of competing actors, and the future regional security order. Yet secondary powers have not responded through uniform realignment. This paper examines how regional conflict generates strategic uncertainty and reshapes the security choices of secondary powers in the Middle East. It develops a qualitative comparative analysis of Saudi Arabia, Türkiye, and Qatar between 2025 and September 2026. The paper conceptualizes strategic uncertainty as a condition in which states face diminished confidence regarding existing security partnerships, competing actors, and the future regional environment. It argues that this condition encourages differentiated strategic adjustment rather than automatic alignment with a single external power. Saudi Arabia illustrates security diversification through expanded defence partnerships; Türkiye demonstrates regional security provision and greater strategic agency; while Qatar relies on diplomatic hedging, multiple relationships, and strategic resilience. The comparison shows that diversification and hedging can expand strategic room for manoeuvre without necessarily producing strategic autonomy. The paper therefore conceptualizes the emerging Middle Eastern security environment as a process of layered security diversification rather than wholesale realignment.
Keywords: strategic uncertainty; secondary powers; Middle East; geopolitical competition; regional security; hedging; strategic autonomy; security diversification.

1. Introduction

The security environment of the Middle East is undergoing significant change. For decades, the region's security order has been strongly influenced by external powers, particularly the United States, while regional states have developed different strategies for managing competition among major powers and persistent regional conflicts. The escalation of the US–Iran conflict in 2026 has placed these arrangements under renewed pressure. The conflict has extended beyond direct confrontation between Washington, Israel, and Tehran to affect Gulf security, energy infrastructure, maritime routes, and the strategic calculations of states that have sought to remain outside the conflict. By September 2026, disruption around the Strait of Hormuz and the emergence of renewed Houthi pressure around the Bab el-Mandeb had created simultaneous military, economic, and maritime-security pressures for Gulf states.

These developments raise an important question about the behaviour of secondary powers. Much of the international-security literature examines geopolitical competition through the choices of great powers or through the alignment behaviour of smaller states. Less attention is paid to states that possess substantial economic, military, diplomatic, or regional capabilities but remain below the level of great-power dominance. Such states are neither passive recipients of the international security environment nor capable of independently determining its structure.

They possess meaningful strategic agency, but their choices are constrained by dependence on external security partnerships, regional threats, economic interdependence, and uncertainty concerning the intentions of more powerful actors.

The 2026 conflict provides an important setting in which to examine this problem. Regional states have not responded uniformly to the changing security environment. Saudi Arabia, for example, has expanded its security relationships through the August 2026 Makkah Joint Defence Agreement with Türkiye and Pakistan, while maintaining its existing relationships with external powers. The agreement provides for collective defence in the event of an armed attack against one of its members. Türkiye has subsequently indicated that it is prepared to assist Saudi Arabia with military and technical requirements while emphasizing that the agreement does not replace existing alliances.

These developments suggest diversification rather than straightforward realignment.

Türkiye represents a somewhat different pattern. Ankara has increasingly sought to act not simply as a recipient of regional security but as a contributor to its provision. Its participation in the Makkah defence arrangement demonstrates an effort to expand its regional security role while remaining embedded in established international structures. Qatar, by contrast, has relied more heavily on diplomatic engagement, multiple external relationships, and strategic resilience. These differences are analytically significant because they demonstrate that exposure to the same regional crisis does not necessarily produce identical security choices.

This paper argues that strategic uncertainty provides a useful analytical lens for explaining these differences. Strategic uncertainty refers here to a condition in which states face insufficient confidence about the reliability of existing security partnerships, the behaviour of competing actors, and the future configuration of the regional security order. It differs from the security dilemma, which focuses on reciprocal insecurity generated by states' security measures, and from threat perception, which concerns how states interpret particular threats. It also differs from hedging and strategic autonomy. Hedging is a form of strategic behaviour under uncertainty, while strategic autonomy refers to a greater capacity for independent strategic action. Strategic uncertainty is therefore treated as the condition, rather than the strategy or outcome.

The paper asks: How has regional conflict generated strategic uncertainty that is reshaping the security choices of secondary powers in the Middle East? It addresses this question through a qualitative comparative analysis of Saudi Arabia, Türkiye, and Qatar between 2025 and September 2026. The 2026 conflict constitutes the central empirical shock, but the analysis begins in 2025 because several of the security relationships examined here predate the conflict. This allows the paper to distinguish between arrangements created by the crisis and relationships whose development has been accelerated, redirected, or given new strategic significance by it.

The argument proceeds through four analytical stages: geopolitical competition, regional conflict, strategic uncertainty, and differentiated security choices. Geopolitical competition establishes the broader structural environment. Regional conflict intensifies existing pressures and exposes vulnerabilities. Strategic uncertainty emerges when states become less certain about the reliability of their partnerships and the future regional order. Secondary powers then respond through different combinations of alliance reinforcement, security diversification, hedging, diplomacy, and regional cooperation.

The comparison demonstrates three broad patterns. Saudi Arabia illustrates security diversification, as it adds regional defence relationships without formally abandoning existing partnerships. Türkiye demonstrates regional security provision and strategic agency, using its capabilities and partnerships to increase its role in shaping regional security arrangements.

Qatar illustrates diplomatic hedging and strategic resilience, combining established security relationships with diplomatic engagement and multiple external connections. These patterns should not be interpreted as sequential stages or as evidence that all three states are moving toward full strategic autonomy.

The paper therefore makes a narrower argument. Regional conflict increases strategic uncertainty, but uncertainty does not determine a single strategic response. Instead, the response depends on the resources, vulnerabilities, existing partnerships, and regional ambitions of individual secondary powers. The emerging Middle Eastern security environment may consequently be better understood as one of layered security diversification, in which states develop additional mechanisms of protection and influence alongside existing alliances rather than immediately replacing them.

2.1 Geopolitical Competition, Alignment, and International Security

Geopolitical competition remains a central concern of international security because the distribution of power among states shapes the opportunities, constraints, and risks that states face in an anarchic international system. Structural realism places particular emphasis on the distribution of capabilities and the pressures generated by the absence of a central authority capable of guaranteeing state security (Waltz, 1979). From this perspective, changes in the balance of capabilities can alter the strategic environment even when states do not actively seek confrontation. The rise of competing centres of power therefore creates incentives for states to reconsider their external security relationships, particularly when existing arrangements become uncertain or appear insufficient to address emerging threats.

The literature on alliances provides a more specific account of how states respond to these pressures. Walt's (1987) balance-of-threat theory challenged a purely balance-of-power explanation by arguing that states respond not simply to the accumulation of material capabilities but to perceived threats. The level of threat is shaped by factors including aggregate power, geographic proximity, offensive capabilities, and perceived intentions. Alliance formation, therefore, reflects assessments of the security environment rather than an automatic response to the strongest state. This distinction is particularly relevant to secondary powers, whose security calculations may be affected simultaneously by several regional and external actors.

Alliance behaviour is also more complex than a simple choice between balancing and bandwagoning. Schweller (1994), for example, demonstrates that states may align with stronger powers for reasons extending beyond immediate security, including opportunities for gains and influence. His argument challenges the assumption that states uniformly resist rising powers and highlights the importance of differing interests and incentives among states with unequal capabilities. Snyder (1997) similarly moves beyond a purely systemic account by examining alliances as relationships involving bargaining, dependence, influence, and competing pressures within and between partnerships. Alliances can therefore simultaneously provide security and generate constraints on the autonomy of their members.

These approaches remain important for understanding contemporary geopolitical competition, but they also reveal a limitation for analysing secondary powers operating in an increasingly complex security environment. Classical alignment theories tend to organize strategic behaviour around relatively clear alternatives: balancing against a threat, bandwagoning with a stronger power, or forming alliances to improve security. Contemporary secondary powers, however, may pursue several strategies simultaneously.

A state can maintain an established defence relationship with one major power while developing security cooperation with another, strengthening regional partnerships, maintaining diplomatic channels with an adversary, and expanding its own capacity for independent action. Such behaviour does not necessarily represent a complete realignment.

This distinction becomes especially important when geopolitical competition intersects with active regional conflict. Conflict can alter not only the distribution of material power but also perceptions of reliability, commitment, escalation, and future regional order. A long-standing security partnership may remain formally intact while its political or strategic value is reassessed. Similarly, the emergence of an additional defence relationship does not necessarily mean that an existing alliance has been abandoned. Security relationships can therefore be layered rather than mutually exclusive.

The contemporary literature on secondary powers develops this point further by questioning the assumption that states caught between competing major powers must choose one side. Research on hedging and alignment diversification shows that secondary states may seek to preserve strategic flexibility by maintaining relationships with multiple external actors rather than committing exclusively to one camp. This literature is particularly relevant to the Middle East, where states have historically combined external security partnerships with regional diplomacy and increasingly diversified relationships. Recent scholarship on Gulf security similarly identifies uncertainty surrounding the future regional security architecture as an important context for debates over external alignment, regional cooperation, and greater strategic agency.

The significance of this literature for the present study is not to suggest that classical balance-of-power or alliance theories have become irrelevant. Rather, they provide the starting point for examining how states interpret changes in their security environment. Their principal limitation for this study is that they offer less analytical attention to the condition of uncertainty produced when existing security arrangements remain in place but their future reliability, strategic value, or regional context becomes less predictable. This distinction is particularly important for secondary powers because they may respond to uncertainty without abandoning existing partnerships or fully aligning with an alternative power.

The present study therefore treats geopolitical competition as a structural condition that can intensify pressures on secondary powers, while recognizing that those pressures do not mechanically produce a single form of alignment. The key analytical question is what happens when geopolitical competition becomes associated with an active regional conflict that raises doubts about security guarantees, the intentions o

2.2 Secondary Powers, Hedging, and Strategic Choice

The literature on secondary powers provides an important bridge between classical theories of alignment and the more complex security choices observed under contemporary geopolitical competition. While traditional alliance theories emphasize balancing, bandwagoning, and alliance formation, secondary powers do not always respond to strategic competition through exclusive alignment. Their relatively limited capabilities compared with great powers can create incentives to preserve flexibility, avoid excessive dependence, and maintain relationships with multiple actors simultaneously. This has generated growing interest in hedging as a distinct form of strategic behaviour.

Hedging emerged partly from attempts to explain the behaviour of states operating between competing centres of power. Rather than treating alignment as a binary choice, the hedging literature emphasizes strategies that combine apparently contradictory forms of engagement. States may deepen security cooperation with one major power while simultaneously expanding economic, diplomatic, or security relations with another.

Goh (2005, 2006), for example, demonstrates how Southeast Asian states sought to manage uncertainty surrounding the regional balance of power by maintaining relationships with competing major powers rather than committing themselves exclusively to one. The significance of this approach is that uncertainty does not necessarily produce immediate alignment; it can instead encourage states to preserve multiple options.

Kuik (2008, 2026) develops this argument by conceptualizing hedging as a strategy through which smaller and secondary states seek to reduce risks while avoiding the costs associated with taking an unequivocal side in great-power competition. His more recent work is particularly useful because it treats hedging not simply as indecision between balancing and bandwagoning but as a meaningful strategic choice under conditions of uncertainty. Hedging can involve different combinations of limited alignment, engagement, diversification, and strategic insurance depending on the risks and opportunities confronting a state.

Recent scholarship also demonstrates that hedging should not be understood as a uniform strategy. Korolev (2026), for instance, distinguishes between risk-mitigation and gains-maximisation logics of hedging. States may diversify relationships primarily to reduce vulnerability to an adverse strategic environment, but they may also use competing relationships to obtain economic, diplomatic, military, or political advantages. This distinction is important because similar observable behaviour—such as establishing a new defence partnership—can reflect different strategic calculations. A new partnership may be intended to reduce dependence on an existing security provider, increase bargaining leverage, create additional diplomatic options, or simply provide access to new resources.

The Gulf provides a particularly important setting for examining these dynamics. Recent research by Bakir and Al-Shamari (2025) demonstrates that Qatar, Saudi Arabia, and the United Arab Emirates have employed different forms of hedging amid US–China competition. Their analysis shows that Gulf states do not respond identically to the same external strategic environment, despite sharing important security concerns and maintaining substantial relationships with the United States. This finding is significant for the present study because it cautions against treating Gulf states as a single strategic bloc. Differences in domestic priorities, threat perceptions, diplomatic relationships, and expectations about the future regional order can produce different responses to common external pressures.

The concept of hedging, however, requires an important qualification in the context of this study. Hedging is a form of strategic behaviour, whereas strategic uncertainty is a condition within which that behaviour may occur. The two concepts should therefore not be treated as interchangeable. A state may hedge because it is uncertain about the intentions of major powers, the reliability of existing security guarantees, or the future distribution of regional power. Conversely, a state may diversify its partnerships for reasons that have little to do with uncertainty. The analytical task is therefore to establish whether changes in security behaviour can be connected to changes in the strategic environment.

This distinction is particularly relevant to the concept of diversification. Partnership diversification can increase a state's strategic options without necessarily producing strategic autonomy. A state that establishes additional defence relationships may still remain heavily dependent on its principal security provider. Diversification can therefore be understood as an instrument for managing dependence, rather than evidence in itself of autonomy. Strategic autonomy represents a more demanding condition in which a state possesses greater capacity to make and implement security choices without excessive reliance on any single external actor. The difference matters because contemporary security partnerships frequently overlap rather than replace one another.

Recent scholarship on Türkiye illustrates this problem. Aran, Altunisik, and Kutlay (2026) examine Türkiye's pursuit of strategic autonomy amid regional and global uncertainty, demonstrating that autonomy is better understood as an ongoing strategic objective than as a simple departure from existing alliances. This is relevant to the present study because Türkiye's security behaviour cannot be adequately captured by asking whether it is aligning with or distancing itself from a particular major power. Its strategic choices involve simultaneous engagement across different regional and international relationships.

The same distinction is visible in the Gulf. Recent scholarship on Gulf security argues that uncertainty surrounding the future regional security architecture has encouraged discussion of external alignment, regional security cooperation, and greater regional agency. Miller and Kardaş (2026), for example, examine Gulf security in an environment characterized by uncertainty over the longer-term role of the United States as the principal external security guarantor, while also emphasizing the continued importance of external security relationships. Their analysis points toward a regional environment in which states may seek greater room for manoeuvre without necessarily abandoning established partnerships.

This literature therefore provides three important insights for the present study. First, secondary powers possess meaningful strategic agency even when they operate within an unequal international system**.** Second, uncertainty can encourage diversification and hedging rather than immediate realignment**.** Third**,** greater diversification should not automatically be interpreted as strategic autonomy. These distinctions allow the study to examine security choices without assuming that every new partnership represents a geopolitical shift away from an existing power.

The remaining question, however, concerns what happens when the uncertainty confronting secondary powers is not simply generated by long-term great-power competition but is intensified by an active regional conflict. Existing research has established how secondary powers hedge under conditions of strategic competition and how Gulf states have diversified their relationships. Less attention has been paid to how an ongoing regional conflict can alter the uncertainty surrounding existing security partnerships and thereby change the calculations underlying those choices. The 2026 Middle Eastern conflict provides an opportunity to examine this process because it has directly affected perceptions of regional security, external guarantees, escalation risks, and the future configuration of the regional order.

This leads to the central analytical move of the paper: rather than treating hedging or diversification as the dependent variable by itself, the study examines how regional conflict generates or intensifies strategic uncertainty, and how secondary powers translate that uncertainty into different security choices. The next section therefore turns to strategic autonomy and security partnerships, establishing the distinction between maintaining multiple relationships, reducing dependence, and developing a greater capacity for independent strategic action.

2.3 Strategic Autonomy and Security Partnerships

Strategic autonomy has become increasingly important in scholarship on the foreign and security policies of states seeking greater room for manoeuvre within an international system dominated by major powers. Although the concept is used across different regional and theoretical contexts, its central concern is the capacity of a state to make and implement important strategic decisions without being excessively constrained by dependence on another power. Autonomy therefore does not necessarily mean isolation, neutrality, or the abandonment of alliances. A state may remain deeply embedded in existing security arrangements while simultaneously seeking greater capacity to make independent choices.

This distinction is particularly important for analysing secondary powers. States with substantial but limited capabilities rarely possess the resources to provide for their security entirely independently. They consequently rely on external partnerships, alliances, military cooperation, economic relationships, and regional institutions. Strategic autonomy in such circumstances is better understood as a matter of degree rather than an absolute condition. The relevant question is not whether a state is autonomous or dependent, but how much strategic freedom it possesses and how successfully it can avoid excessive reliance on a single external actor.

The literature on strategic autonomy also demonstrates that autonomy can involve several dimensions. These may include the ability to formulate independent foreign-policy positions, maintain diversified external relationships, develop indigenous capabilities, shape regional security arrangements, and resist pressures to adopt another power's preferred strategic position. However, these dimensions do not necessarily develop simultaneously. A state can increase its diplomatic freedom while remaining militarily dependent on an external partner, or expand its defence capabilities while continuing to rely heavily on an established alliance. Strategic autonomy should therefore not be reduced to military self-sufficiency.

This distinction separates autonomy from the related concepts of hedging and diversification. Hedging describes a strategy for managing uncertainty; diversification describes the expansion of relationships or options; strategic autonomy describes a broader capacity for independent strategic choice. The three may be connected, but they are not synonymous. A state may diversify its partnerships without becoming autonomous, and it may hedge without pursuing autonomy as an explicit objective. Conversely, sustained diversification and hedging may gradually increase the strategic space available to a state.

This conceptual distinction is particularly relevant in the Middle East, where external security partnerships have historically played an important role in regional security. Gulf states have developed extensive defence, intelligence, diplomatic, and economic relationships with the United States while simultaneously expanding relations with other major and regional powers. The resulting security environment cannot therefore be adequately described through a simple transition from dependence to independence. Instead, it involves overlapping partnerships in which states attempt to preserve existing security guarantees while creating additional strategic options.

Recent scholarship on Türkiye reinforces the importance of this distinction. Aran, Altunisik, and Kutlay (2026) examine Türkiye's pursuit of strategic autonomy in the Middle East and Black Sea regions in the context of regional and global uncertainty. Their analysis illustrates that autonomy can involve an active effort to increase the state's capacity to shape its surrounding strategic environment rather than merely withdrawing from existing alliances. Türkiye therefore provides an important example of how a secondary or regional power can seek greater strategic agency while continuing to operate within established international security relationships.

The Gulf security literature raises a related issue concerning the future role of external security providers. Miller and Kardaş (2026) examine competing visions of Gulf security in an era of uncertainty, including continued reliance on external security arrangements, greater GCC defence cooperation, and proposals for forms of regional security autonomy. Their analysis is useful because it demonstrates that uncertainty over the future security architecture does not automatically eliminate the role of established external powers. Instead, it can encourage states to consider additional mechanisms through which they might reduce vulnerability and increase their influence over regional security arrangements.

The concept of strategic autonomy is consequently most useful in this study as a possible trajectory rather than a predetermined outcome. The paper does not assume that Saudi Arabia, Türkiye, or Qatar is necessarily moving toward autonomy. Instead, it asks whether changes in their security choices following the intensification of regional conflict indicate greater strategic room for manoeuvre, continued dependence, or some combination of the two. This allows the analysis to distinguish between an immediate strategic adjustment and a longer-term transformation of the security relationship.

This distinction also prevents a common analytical problem: interpreting every new defence agreement as evidence of geopolitical realignment. The establishment of an additional security partnership may simply supplement an existing relationship. For example, the emergence of new defence arrangements involving Saudi Arabia, Türkiye, and Pakistan does not in itself demonstrate the replacement of Saudi Arabia's longstanding relationships with the United States or other partners. Reuters reported in September 2026 that Türkiye described the Saudi–Pakistan defence arrangement as capable of supporting Saudi military and technical needs while also emphasizing that the agreement did not replace existing alliances. The significance of such developments therefore lies not simply in the existence of a new partnership but in what the accumulation of partnerships does to the state's strategic options and dependence.

This perspective is particularly valuable when examining the effects of the 2026 regional conflict. If conflict increases doubts about the reliability of existing security arrangements, secondary powers have several possible responses. They may reinforce established alliances because those relationships remain indispensable; diversify partnerships to reduce dependence; deepen regional cooperation; increase diplomatic engagement with competing actors; or pursue combinations of these strategies. Only some of these responses would necessarily constitute movement toward strategic autonomy.

The concept of strategic autonomy therefore completes the analytical progression developed in the preceding sections. Geopolitical competition creates structural pressure; regional conflict can intensify that pressure; strategic uncertainty describes the resulting condition of unpredictability; and secondary powers respond through different combinations of alignment, hedging, diversification, diplomacy, and regional cooperation. Strategic autonomy represents one possible longer-term consequence of these adjustments rather than an assumed endpoint.

This conceptualization provides a basis for examining the Middle Eastern security environment without reducing contemporary strategic behaviour to a simple shift from one great-power camp to another. It also creates the analytical space necessary to explain why states exposed to similar geopolitical pressures may make different security choices. The next section therefore turns specifically to Middle Eastern regional security and the changing regional order, establishing the empirical context in which these choices are being made.

2.3 Middle Eastern Regional Security and the Changing Regional Order

The Middle East provides a particularly important setting for examining the relationship between geopolitical competition, strategic uncertainty, and the security choices of secondary powers. The region has long been characterized by overlapping rivalries, external intervention, contested regional leadership, and fragmented security arrangements. Rather than operating through a single institutionalized regional security architecture, states have historically relied on a combination of bilateral alliances, external security guarantees, military partnerships, regional organizations, and diplomatic initiatives. This fragmentation has allowed states to pursue different security strategies even when they face common regional threats.

The Gulf is especially significant because its security architecture has historically depended heavily on relationships with external powers, most notably the United States. Yet this dependence has never eliminated regional agency. Gulf states have simultaneously developed their own military capabilities, cultivated relationships with other major powers, pursued intra-Gulf diplomacy, and sought to influence the regional balance of power. The result is a security environment in which external alignment and regional agency coexist rather than represent mutually exclusive alternatives.

Recent scholarship reinforces this interpretation. Bakir and Al-Shamari (2025), examining Qatar, Saudi Arabia, and the United Arab Emirates, show that Gulf states have developed different forms of hedging amid US–China competition. Their analysis is particularly relevant because it demonstrates that even states operating within broadly similar regional conditions do not necessarily adopt identical strategic responses. Differences in their political and strategic circumstances produce variation in the ways they combine relationships with major powers.

This variation is important for understanding the present study's three cases. Saudi Arabia, Türkiye, and Qatar occupy different positions within the regional security environment and possess different relationships with external and regional powers. They therefore provide an opportunity to examine strategic choice comparatively rather than treating the Middle East as a homogeneous strategic space. Saudi Arabia has traditionally depended heavily on US security relationships while also pursuing broader partnerships and greater regional agency. Qatar has combined its security relationship with the United States with extensive diplomatic engagement and relationships across competing regional and international actors. Türkiye, meanwhile, has pursued a more explicitly autonomy-oriented foreign and security policy while maintaining membership in established Western security institutions.

The regional security environment has become more fluid in recent years. The wars and crises that have affected the Middle East since 2023 have intensified concerns about escalation, regional spillover, external commitments, and the durability of existing security arrangements. The 2026 Iran conflict has further complicated these questions. Importantly, the conflict should not be understood simply as evidence that the established regional security order has disappeared. Rather, it has generated renewed uncertainty about how that order will operate under conditions of sustained conflict and whether existing external security arrangements are sufficient to address new threats.

Miller and Kardaş (2026) make this point directly in their recent analysis of Gulf security. They argue that the 2026 Iran War has generated substantial uncertainty regarding the future role of the United States as the principal external security provider, while also emphasizing that the structural obstacles to a fully autonomous Gulf security architecture remain significant. Their analysis therefore identifies a tension between renewed demands for regional agency and the continuing importance of external security relationships.

That tension is central to the present study. If the regional conflict had simply eliminated confidence in external security providers, one might expect a straightforward movement toward alternative alliances or autonomous regional security arrangements. The evidence instead suggests a more complicated process. Gulf states continue to maintain important relationships with the United States while simultaneously exploring additional security partnerships, regional cooperation, and diplomatic options. The result is not necessarily replacement but layering: new forms of security cooperation are added to existing arrangements.

The changing position of Türkiye further illustrates the complexity of the regional order. Aran, Altunisik, and Kutlay (2026) situate Türkiye's pursuit of strategic autonomy within a broader environment of regional and global uncertainty.

They argue that volatility in the Middle East and the war in Ukraine create both challenges and opportunities for middle powers seeking to navigate an increasingly fluid international environment.

Türkiye is therefore not simply responding to the 2026 conflict; its security behaviour forms part of a longer process of expanding strategic agency across the Middle East and beyond.

This temporal distinction is important for the present study. Not every strategic development observed during 2026 was caused by the conflict itself. Some security partnerships and diplomatic initiatives predate the conflict and reflect longer-term calculations. The analytical task is consequently not to attribute every change in regional security behaviour to the conflict, but to examine whether the conflict accelerated, redirected, or altered the significance of existing strategic choices**.**

The Saudi–Türkiye–Pakistan defence relationship illustrates why this distinction matters. In September 2026, Türkiye stated that it could help meet Saudi military and technical needs under the defence agreement between Saudi Arabia and Pakistan, while also emphasizing that the arrangement did not replace existing alliances.

This is analytically important because it demonstrates how a new security partnership can expand a state's strategic options without necessarily constituting a complete realignment.

The conflict has also increased the importance of regional diplomacy as a component of security strategy. Developments involving the Red Sea, the Gulf, and Iran have created incentives for states to consider diplomatic engagement alongside military and alliance-based responses. Reuters reported in September 2026 that pressure generated by Houthi activity and disruption around the Bab el-Mandeb was contributing to debates among Gulf states over how to manage relations with Iran and the United States.

Such developments suggest that security choices in the contemporary Middle East cannot be reduced to military alliances alone. Diplomatic engagement, economic resilience, regional cooperation, and external partnerships can operate simultaneously as instruments of security policy.

The changing regional environment therefore creates an analytical puzzle. The same conflict can increase the perceived value of established alliances while simultaneously encouraging states to diversify their security relationships. An external security provider may remain indispensable for certain military capabilities while becoming less sufficient as the sole foundation of national security. Similarly, a new regional partnership may increase strategic flexibility without eliminating existing dependence.

This helps explain why the concept of strategic uncertainty is useful for the present study. The relevant uncertainty is not simply whether a particular alliance will survive. It concerns three interconnected questions: whether existing security partners can be relied upon during a major crisis; how competing regional and external powers will behave as conflict develops; and what the regional security order will look like after the immediate crisis has evolved. These uncertainties can encourage secondary powers to reassess their security portfolios without necessarily producing a uniform strategic response.

The Middle Eastern case therefore allows the study to move beyond a binary understanding of geopolitical alignment. Saudi Arabia, Türkiye, and Qatar face overlapping but not identical strategic pressures, and their responses can involve different combinations of alliance reinforcement, partnership diversification, diplomatic engagement, regional cooperation, and strategic resilience. The variation among these responses provides the basis for examining how secondary powers translate common regional uncertainty into different security choices.

Taken together, the literature reviewed in this section shows that the Middle Eastern security order is neither static nor undergoing a simple transition from one dominant security provider to another.

Instead, it is characterized by overlapping relationships, continuing external dependence, increasing regional agency, and uncertainty about the future distribution of security responsibilities. This provides the empirical and conceptual setting for the paper's central argument: regional conflict matters not only because it changes immediate threat conditions, but because it can alter the uncertainty within which secondary powers evaluate the reliability of their existing security relationships and consider alternative security choices.

2.5 Research Gap and Analytical Framework

Existing scholarship provides important explanations of geopolitical competition, alliance formation, hedging, strategic autonomy, and Middle Eastern security. However, these literatures have largely examined these questions separately. Alliance and realist approaches explain how changes in power and perceived threats influence state behaviour (Waltz, 1979; Walt, 1987), while research on secondary powers shows how states can use hedging and diversification to manage uncertainty without committing exclusively to one major power (Goh, 2005, 2006; Kuik, 2008, 2026). Recent studies have also examined Gulf hedging and Türkiye's pursuit of strategic autonomy (Bakir and Al-Shamari, 2025; Aran, Altunisik and Kutlay, 2026).

Less attention has been given to how active regional conflict changes the strategic uncertainty within which secondary powers make these choices**.** This study addresses that gap by examining whether the 2026 Middle Eastern conflict has altered how secondary powers assess existing security partnerships and consider alternative security arrangements. The study does not assume that the conflict created diversification or autonomy; several relevant strategic relationships predate the conflict. Instead, it examines whether the conflict has accelerated, redirected, or changed the significance of existing security choices.

The analytical framework links four elements:

Geopolitical competition → Regional conflict → Strategic uncertainty → Security choices

Here, geopolitical competition represents the broader structural condition, while regional conflict acts as an intensifying event. Strategic uncertainty refers to uncertainty about the reliability of existing security partnerships, the behaviour of competing actors, and the future regional security environment. Secondary powers may respond through alliance reinforcement, partnership diversification, hedging, regional cooperation, diplomatic engagement, or other forms of strategic adjustment.

The study makes an important distinction between these responses and strategic autonomy. Diversification may increase a state's strategic room for manoeuvre without necessarily reducing dependence on established security partners. Strategic autonomy is therefore treated as a possible longer-term consequence of strategic adjustment rather than an assumed outcome.

The comparison of Saudi Arabia, Türkiye, and Qatar allows the study to examine variation in these responses. Rather than asking whether these states have abandoned existing alliances, the analysis asks how they are adjusting their security portfolios under changing conditions of strategic uncertainty.

The study therefore proposes that when regional conflict intensifies uncertainty about existing security arrangements and the future regional order, secondary powers are likely to reassess their security portfolios rather than automatically realign with a single external power. Such reassessment may expand strategic room for manoeuvre without necessarily producing strategic autonomy.

3. Methodology

This study adopts a qualitative comparative case-study design to examine how regional conflict shapes the security choices of secondary powers. Saudi Arabia, Türkiye, and Qatar are selected because they occupy different positions within the Middle Eastern security environment while each possesses sufficient diplomatic, economic, and security capabilities to exercise meaningful strategic agency. Their different responses to changing regional conditions provide comparative variation for examining how states manage strategic uncertainty.

The empirical analysis focuses primarily on the period from 2025 to September 2026**,** with particular attention to the 2026 US–Israel–Iran conflict as an intensifying event. The earlier period is retained because several of the security relationships examined in the study predate the conflict. This allows the analysis to distinguish between longer-term strategic developments and changes that may have been accelerated or redirected by the conflict.

The study relies primarily on qualitative analysis of publicly available secondary sources, including peer-reviewed academic literature, policy research, official government statements, defence and security agreements, and credible international news reporting. These sources are used to reconstruct changes in security partnerships, diplomatic behaviour, regional cooperation, and strategic positioning. Particular attention is given to developments involving the United States, Iran, Türkiye, Saudi Arabia, Qatar, and other actors directly relevant to the changing regional security environment.

The cases are analysed comparatively rather than as three separate country profiles. The analysis focuses on three dimensions of strategic uncertainty: the reliability of existing security partnerships, uncertainty about the behaviour of competing actors, and uncertainty about the future regional security order. The study then examines how each state responds through alliance reinforcement, partnership diversification, hedging, diplomatic engagement, regional cooperation, or other forms of strategic adjustment.

The analysis is interpretive rather than predictive. It does not attempt to determine whether any state is likely to abandon an existing alliance or achieve strategic autonomy. Instead, it identifies observable changes in security relationships and evaluates how those changes correspond with the pressures generated by the evolving regional environment.

The comparative design also recognizes that the three cases are not identical. Saudi Arabia, Türkiye, and Qatar differ in their military capabilities, alliance structures, regional roles, and diplomatic strategies. These differences are analytically useful because they allow the study to examine whether similar regional pressures produce different forms of strategic adjustment. The objective is therefore not to establish a single model of Middle Eastern behaviour, but to identify how secondary powers exercise strategic agency under conditions of heightened uncertainty.

4. The 2026 Conflict and the Emergence of Strategic Uncertainty

The 2026 US–Israel–Iran conflict has significantly altered the security environment in the Middle East by exposing the vulnerability of existing regional security arrangements and creating uncertainty about the future distribution of security responsibilities. The conflict has extended beyond the immediate confrontation between the United States, Israel, and Iran, with attacks affecting Gulf states, maritime routes, energy infrastructure, and wider regional relationships. By September 2026, the crisis remained ongoing, with continued Iranian warnings of escalation, Houthi attacks affecting Saudi Arabia, and severe disruption around the Strait of Hormuz.

The significance of the conflict for this study lies not simply in the scale of the military confrontation but in the uncertainty it has generated for states that have traditionally relied on external security relationships. Gulf states have long maintained close defence relationships with the United States, but the conflict has raised questions about the extent to which existing partnerships can provide reliable protection when regional threats expand across multiple theatres. Recent analysis of Gulf security identifies uncertainty over the longer-term role of the United States as a principal external security guarantor while also emphasizing that existing external relationships remain important. This creates a strategic dilemma for secondary powers. Existing alliances remain valuable, but their continued value does not necessarily eliminate incentives to develop additional options. The result can be security diversification rather than immediate realignment. Saudi Arabia's 2026 defence agreement with Türkiye and Pakistan provides an important illustration. The Mecca Joint Defence Agreement established a mutual-defence framework among the three states during the regional crisis. Reuters reported that the agreement was concluded amid escalating regional tensions and attacks involving Gulf states. The significance of this development should nevertheless be interpreted cautiously. The agreement does not demonstrate that Saudi Arabia has abandoned its established relationship with the United States. Indeed, Türkiye subsequently emphasized that the pact did not replace existing alliances and could instead provide additional military and technical support.

The case therefore illustrates the distinction developed earlier between diversification and strategic autonomy. Saudi Arabia can add alternative security relationships while continuing to rely on existing partners.

The conflict has also generated uncertainty beyond conventional military protection. Disruption around the Strait of Hormuz and Bab el-Mandeb has demonstrated how regional conflict can simultaneously affect energy security, maritime security, trade, and national economic interests. By September 2026, shipping through Hormuz had been severely disrupted, while attacks associated with the wider conflict were affecting Saudi energy infrastructure and regional transportation.

For Gulf states whose economic strategies depend heavily on regional stability and international connectivity, security calculations therefore extend beyond the question of military defence.

The regional response has consequently involved several forms of adjustment at the same time. States have continued military cooperation with established partners, explored additional defence arrangements, pursued diplomatic channels, and sought mechanisms for regional coordination. Recent analysis describes this emerging environment as one in which Gulf states may seek greater strategic room for manoeuvre while continuing to maintain relationships with external powers.

The conflict has therefore not produced a single strategic response among secondary powers. Instead, it has intensified the uncertainty within which they make security decisions. For some, this may increase the value of established alliances; for others, it may strengthen incentives to diversify partnerships or develop greater regional agency. These responses can coexist, and their significance depends on the extent to which they alter existing patterns of dependence.

This provides the empirical foundation for the comparative cases that follow. Saudi Arabia, Türkiye, and Qatar are not treated as states moving along a common path toward strategic autonomy. Rather, they represent different responses to an increasingly uncertain regional security environment. The next sections examine these responses individually and then compare them to identify what the 2026 conflict reveals about the changing security choices of secondary powers.

5. Saudi Arabia: Diversifying Security Partnerships Under Strategic Uncertainty

Saudi Arabia provides an important case of how a secondary power can respond to heightened strategic uncertainty without abandoning established security relationships. The kingdom has historically maintained a close security relationship with the United States, including extensive defence cooperation and reliance on American military capabilities. At the same time, Saudi foreign and security policy has increasingly sought to broaden its external relationships and reduce excessive dependence on any single partner. The 2026 conflict with Iran placed these calculations under additional pressure. CSIS analysts argue that the war became a significant test of the recently strengthened US–Saudi security relationship because Riyadh had not sought the conflict and initially faced uncertainty regarding Washington's objectives and commitment to Saudi security (Ratney and Alhenaki, 2026).

The conflict subsequently exposed the limits of relying on a single external security relationship. Saudi Arabia faced direct and indirect threats from several directions, including attacks associated with Iran and the Houthis in Yemen. Reuters reported in August 2026 that the kingdom was increasingly developing regional defensive arrangements as it sought to respond to attacks and reduce the risks associated with being drawn further into the conflict (Azhari, 2026).

The significance of this development is not that Saudi Arabia had abandoned the United States, but that the changing threat environment increased the value of additional security partnerships.

The clearest manifestation of this adjustment was the Makkah Joint Defence Agreement signed by Saudi Arabia, Türkiye, and Pakistan on 7 August 2026. The official Saudi statement described the agreement as a framework for strengthening collective security and deterrence and stipulated that an armed attack against one of the three states would be regarded as an attack against all three (Saudi Government, 2026).

The agreement therefore represents more than a conventional bilateral defence relationship: it institutionalizes a form of collective security cooperation among three states with substantial but different regional capabilities.

The timing of the agreement is analytically important. It emerged during an active regional conflict rather than in an environment of strategic stability. Yet the agreement should not be interpreted as evidence of a complete Saudi realignment. Reuters subsequently reported that Türkiye could assist Saudi Arabia with military and technical requirements under the pact while emphasizing that the arrangement did not replace existing alliances. This distinction is central to the argument of this paper: the addition of a new security relationship can be a mechanism for managing uncertainty without constituting a rejection of an established alliance**.**

The subsequent institutionalization of the agreement further suggests that the arrangement was not merely symbolic. At the first meeting of the Strategic Political and Defence Committee in Istanbul on 31 August 2026, Saudi Arabia, Türkiye, and Pakistan agreed to develop the cooperation established under the Makkah agreement, including the creation of a permanent secretariat in Saudi Arabia (Anadolu Agency, 2026).

This indicates an effort to translate the initial defence commitment into a more durable institutional framework.

Saudi Arabia's response can therefore be understood as security diversification under uncertainty**.** The kingdom has not simply replaced one security provider with another. Instead, it has added a regional and extra-regional layer to an already established security portfolio. The distinction matters because diversification can serve several purposes simultaneously: strengthening deterrence, increasing access to military capabilities, distributing security risks, and expanding diplomatic room for manoeuvre.

The Saudi case also illustrates why diversification should not automatically be equated with strategic autonomy. The Makkah agreement expands Saudi Arabia's security options, but the kingdom continues to maintain important defence relationships with the United States. Its strategy therefore appears less consistent with withdrawal from external dependence than with reducing the concentration of that dependence. This is precisely the distinction between diversification and autonomy established in the analytical framework.

The regional environment further reinforces this interpretation. The continuing conflict has affected Saudi Arabia not only through direct security threats but also through disruptions to maritime routes and regional economic connectivity. By September 2026, the conflict had produced severe disruption around both the Strait of Hormuz and Bab el-Mandeb, increasing the strategic importance of protecting Saudi territory, infrastructure, shipping routes, and economic interests (Reuters, 2026).

Security policy consequently extends beyond conventional military alliances to include maritime security, economic resilience, regional diplomacy, and the management of escalation risks.

Saudi Arabia's response thus demonstrates the central mechanism proposed by this study. Regional conflict has not automatically produced a change of alliance; rather, it has increased uncertainty about the adequacy and reliability of existing security arrangements, encouraging the kingdom to broaden its security portfolio. The resulting strategy combines established external security ties with new regional defence cooperation.

The Saudi case consequently provides the first empirical indication that strategic uncertainty can generate layered security rather than binary alignment. The kingdom's behaviour is neither a straightforward continuation of previous dependence nor evidence of complete strategic autonomy. It represents an attempt to create additional strategic options while preserving relationships that remain important to national security.

That distinction becomes even more useful when examining Türkiye. Unlike Saudi Arabia, Türkiye is not simply adding itself to another state's security network. It is simultaneously a regional actor, a NATO member, and a state that has pursued greater strategic autonomy. Its role in the Makkah agreement therefore raises a different question: can a secondary power respond to regional uncertainty not only by diversifying its own partnerships, but also by helping shape new regional security arrangements?

6. Türkiye: Regional Security Provision and the Pursuit of Strategic Autonomy

Türkiye presents a different form of strategic adjustment from Saudi Arabia. Rather than primarily seeking additional security guarantees, Türkiye has increasingly positioned itself as a security actor capable of contributing to regional security arrangements. This behaviour is connected to a longer-term pursuit of strategic autonomy, but the 2026 conflict has created a new environment in which Türkiye's regional role and security partnerships have acquired additional significance.

Türkiye's strategic autonomy has developed over several years and should therefore not be attributed solely to the 2026 conflict. Aran, Altunisik and Kutlay (2026) describe Türkiye's foreign and security policy as a continuing effort to navigate regional and global uncertainty while increasing its capacity for independent strategic action. Their analysis places Türkiye's behaviour within the broader transformation of the Middle Eastern and Black Sea security environments rather than treating autonomy as a simple withdrawal from Western alliances.

The 2026 conflict nevertheless created new opportunities and pressures for this strategy. Türkiye remained embedded in established Western security structures while simultaneously expanding its role in regional security diplomacy.

This combination is important because it demonstrates that strategic autonomy does not necessarily require abandoning existing alliances. Instead, autonomy can involve increasing the range of relationships through which a state can pursue its security interests.

The Makkah Joint Defence Agreement provides the clearest contemporary example. Türkiye joined Saudi Arabia and Pakistan in the agreement signed on 7 August 2026, which commits the three states to treat an armed attack against one as an attack against all and to strengthen defence cooperation (Saudi Government, 2026).

For Türkiye, the significance of the agreement extends beyond bilateral military cooperation. It places Ankara within an emerging regional security arrangement involving two states with substantial strategic importance in the Gulf and South Asia.

The subsequent institutionalization of the agreement further demonstrates Türkiye's role in shaping rather than merely responding to regional security arrangements. At the first Strategic Political and Defence Committee meeting in Istanbul on 31 August, the three states agreed to establish a permanent secretariat and further institutionalize cooperation under the pact (Anadolu Agency, 2026).

Türkiye therefore participated not simply as a beneficiary of Saudi security concerns but as one of the actors helping to construct an additional layer of regional security cooperation.

At the same time, Türkiye has been careful not to present the agreement as a replacement for existing alliances. On 19 September, Turkish Foreign Minister Hakan Fidan stated that Türkiye could assist Saudi Arabia with military and technical requirements under the agreement while emphasizing that the pact did not replace existing alliances. This is consistent with the distinction developed earlier between diversification and autonomy. Türkiye can expand its regional security role while remaining embedded in broader international security structures.

The conflict has also encouraged Türkiye to combine military positioning with diplomatic engagement. Ankara has condemned attacks affecting Saudi Arabia while simultaneously supporting diplomatic efforts to contain the wider conflict (Reuters, 2026). This combination illustrates that strategic autonomy does not necessarily mean choosing between military and diplomatic instruments. Rather, it can involve maintaining multiple channels through which a state can influence the regional environment.

Türkiye's role consequently differs from the Saudi case. Saudi Arabia's principal adjustment has been to add security relationships to reduce vulnerability and diversify its security portfolio**.** Türkiye, by contrast, is using its existing capabilities and relationships to participate in and shape new regional security arrangements. The two responses are connected by the same underlying condition greater strategic uncertainty, but they represent different forms of strategic agency.

The Turkish case therefore supports the argument that strategic uncertainty does not produce uniform behaviour among secondary powers. For a state already possessing substantial military and diplomatic capabilities, uncertainty can create incentives not merely to seek additional protection but to increase its role as a provider, organiser, or broker of regional security. Whether this ultimately produces greater strategic autonomy remains an open question, but the expansion of Türkiye's regional security role clearly increases the range of strategic options available to Ankara.

Türkiye thus demonstrates the second pathway identified in this study: strategic uncertainty can encourage a secondary power to increase its regional agency rather than simply diversify its external dependence**.**

7. Qatar: Diplomatic Hedging and Strategic Resilience

Qatar presents a different response to strategic uncertainty from those observed in Saudi Arabia and Türkiye. Rather than relying primarily on new defence arrangements or seeking a more autonomous regional security role, Doha has combined its existing security relationship with the United States with diplomatic engagement, multiple external partnerships, and efforts to preserve room for manoeuvre. This approach is consistent with earlier scholarship identifying Qatar as a hedging state whose strategy has been shaped by its small geographic size, economic resources, and need to maintain relationships with competing powers (Bakir & Al-Shamari, 2025).

The 2026 conflict has nevertheless exposed the limits of relying on any single dimension of this strategy. Qatar has maintained a close security relationship with Washington while also retaining channels of communication with Tehran. During the conflict, Doha continued to participate in diplomatic efforts involving the United States and Iran. In August 2026, Qatar stated that it was working with Oman and Pakistan to facilitate engagement between Washington and Tehran and to encourage a return to negotiations.

This behaviour illustrates an important distinction between hedging and neutrality. Qatar has not withdrawn from its existing security partnerships; instead, it has attempted to preserve multiple channels through which it can protect its interests under changing regional conditions. The conflict has also transformed strategic uncertainty from an abstract concern into a direct security problem for Qatar. Iranian attacks on Qatari territory during the conflict challenged assumptions that the country's extensive external security relationships could by themselves prevent direct exposure to regional escalation. In September, Qatar formally protested the Iranian attacks before the United Nations while simultaneously continuing to advocate diplomatic engagement and freedom of navigation in the Strait of Hormuz.

The coexistence of these positions is analytically important: Qatar has defended its territorial security while maintaining diplomatic channels with actors involved in the conflict. Qatar's response therefore involves what can be described as diplomatic hedging under heightened security uncertainty. Its strategy rests on maintaining relationships with actors whose interests do not always coincide. The United States remains an important security partner, while Qatar has also maintained channels with Iran and expanded diplomatic engagement with China. In September 2026, Doha intensified coordination with Beijing concerning efforts to reduce regional tensions.

Qatar's own foreign ministry likewise described continued coordination with China and other regional and international partners as part of its effort to revive negotiations. This strategy also has an important economic-security dimension. Qatar's dependence on energy exports means that regional instability cannot be separated easily from national security. Disruption around the Strait of Hormuz affects not only military calculations but also energy exports, maritime commerce, investment, and economic planning. The conflict has consequently increased the value of diplomatic mechanisms capable of reducing escalation while simultaneously increasing the importance of maintaining defensive resilience. Recent analysis of Qatar's position during the conflict similarly emphasizes the interaction between its economic vulnerabilities and its security strategy.

Qatar's case therefore demonstrates that strategic adjustment does not necessarily take the form of military realignment. Under conditions of heightened uncertainty, a secondary power may seek security through diplomatic connectivity, relationship diversification, and resilience, while retaining established external security ties. This differs from Saudi Arabia's emphasis on adding defence partnerships and from Türkiye's effort to assume a more active role in regional security provision. The three cases consequently reveal different ways in which secondary powers can respond to the same regional shock.

Importantly, Qatar's behaviour should not automatically be interpreted as evidence of strategic autonomy. Maintaining communication with multiple actors can increase diplomatic room for manoeuvre, but it does not eliminate dependence on existing security relationships or structural vulnerabilities. The more defensible interpretation is that Qatar is attempting to preserve strategic flexibility under conditions in which the reliability and future configuration of the regional security order have become less certain. This supports the paper's broader argument that strategic uncertainty can produce differentiated responses rather than uniform realignment.

The Qatar case therefore adds a third pattern to the comparison: diplomatic hedging and strategic resilience. Whereas Saudi Arabia has responded by broadening its security partnerships and Türkiye by increasing its role as a regional security actor, Qatar has relied more heavily on mediation, multiple diplomatic relationships, and resilience while preserving its established security partnerships. These differences suggest that the consequences of regional conflict depend not only on the intensity of external threats but also on the resources, vulnerabilities, and pre-existing strategic relationships of the secondary power concerned.

8. Comparative Analysis: Three Responses to Strategic Uncertainty

The comparison of Saudi Arabia, Türkiye, and Qatar demonstrates that regional conflict does not produce a uniform response among secondary powers. Although all three states operate within the same increasingly uncertain Middle Eastern security environment, their responses reflect differences in strategic position, existing partnerships, military capabilities, economic interests, and regional ambitions. Recent scholarship similarly identifies growing uncertainty surrounding the Gulf security order and the emergence of more diversified forms of regional security cooperation.

The first difference concerns how each state responds to uncertainty about existing security partnerships. Saudi Arabia has responded primarily through security diversification**.** The Makkah Joint Defence Agreement with Türkiye and Pakistan represents an attempt to add regional security relationships without formally abandoning existing external partnerships. The agreement was subsequently institutionalized through a Strategic Political and Defence Committee and a planned permanent secretariat, indicating that diversification is developing beyond a symbolic diplomatic arrangement.

Saudi Arabia's response can therefore be understood as an effort to reduce excessive dependence on any single security provider while maintaining flexibility across several relationships. Türkiye represents a different pattern. Its response is more closely associated with regional security provision and strategic agency. Rather than simply seeking additional protection, Ankara has participated in constructing a new regional security arrangement through the Makkah agreement and has presented itself as capable of contributing military, technical, diplomatic, and defence-industrial resources. Türkiye has nevertheless emphasized that the agreement does not target a particular country and does not replace existing alliances.

This suggests that strategic autonomy should not be understood as withdrawal from established alliances. Instead, a secondary power can seek greater autonomy by increasing its capacity to operate across multiple security relationships. Qatar provides a third pattern: diplomatic hedging and strategic resilience. Doha has retained its established security relationship with the United States while continuing diplomatic engagement with competing regional actors. Its response therefore relies less on constructing a new collective defence arrangement and more on preserving multiple channels of communication and maintaining sufficient diplomatic room for manoeuvre.

Qatar's close relationship with Türkiye further illustrates how smaller states can use overlapping partnerships to reinforce their strategic position. Recent scholarship describes the Türkiye–Qatar relationship as a significant component of Ankara's growing capacity to project influence into the Gulf.

The comparison also clarifies the relationship between strategic uncertainty and strategic autonomy. Strategic uncertainty does not automatically produce autonomy. Saudi Arabia's diversification of security partnerships may increase its room for manoeuvre, but diversification alone does not establish independence from the United States or other external powers. Similarly, Qatar's diplomatic flexibility provides additional strategic options without eliminating its dependence on external security relationships. Türkiye comes closer to the autonomy-oriented end of the spectrum because it possesses greater military and diplomatic capacity to act as a regional security provider, but even Ankara remains embedded in established international and regional structures.

This distinction is important because recent debates sometimes treat every new regional partnership as evidence of the emergence of an autonomous Middle Eastern security order. The available evidence does not yet support such a definitive conclusion. The Makkah agreement is being institutionalized, but its operational credibility, military integration, decision-making procedures, and relationship with existing alliances remain developing questions.

The appropriate interpretation at this stage is therefore not that a new regional order has already replaced the previous one, but that regional actors are experimenting with additional security mechanisms in response to heightened uncertainty**.**

The cases also reveal that hedging is not synonymous with neutrality. Saudi Arabia, Türkiye, and Qatar all maintain relationships with major external powers while simultaneously developing alternative channels. Their strategies involve selective cooperation rather than equidistance between competing actors. This supports Kuik's (2026) conceptualization of hedging as a strategy available to non-great powers operating under uncertainty, while also reinforcing the need to distinguish hedging behaviour from the broader condition of strategic uncertainty.

Most importantly, the comparison supports the paper's central analytical argument. Geopolitical competition creates structural pressure, regional conflict intensifies that pressure, strategic uncertainty emerges as the condition through which states reassess their security environment, and the resulting choices vary according to national circumstances. The same conflict can therefore generate different forms of strategic adjustment rather than a single pattern of realignment.

Saudi Arabia illustrates diversification, Türkiye regional security provision, and Qatar diplomatic hedging and resilience. These should not be treated as stages through which all secondary powers necessarily progress. They are differentiated responses to a common environment of uncertainty. This makes strategic uncertainty useful as an analytical lens: it helps explain why states exposed to the same regional conflict can reassess their security relationships without making identical choices.

The broader implication is that the changing Middle Eastern security environment may be characterized less by the disappearance of established alliances than by the layering of additional partnerships and mechanisms around them. Existing relationships remain important, but secondary powers increasingly appear interested in reducing vulnerability by creating more than one pathway to security. The emerging pattern is therefore one of greater strategic diversification under uncertainty, rather than a completed transition toward regional strategic autonomy.

9. Conclusion

This paper has examined how regional conflict generates strategic uncertainty and how that uncertainty influences the security choices of secondary powers in the Middle East. The central argument is that geopolitical competition does not translate automatically into realignment. Instead, when regional conflict exposes uncertainties surrounding external security guarantees, the behaviour of competing powers, and the future configuration of the regional order, secondary powers reassess their existing security strategies and may seek additional sources of protection, influence, and strategic flexibility.

The 2026 conflict provides an important illustration of this process. Continuing attacks and disruptions affecting the Gulf, the Strait of Hormuz, the Red Sea and Bab el-Mandeb have demonstrated that regional conflict can rapidly connect military insecurity with energy, maritime and economic vulnerabilities. As of September 2026, the conflict remains ongoing, and uncertainty concerning the durability of existing security arrangements continues to affect regional calculations.

The three cases examined in this paper reveal different responses to this common environment. Saudi Arabia has pursued security diversification, demonstrated most clearly by its defence cooperation with Türkiye and Pakistan. The Makkah Joint Defence Agreement represents an additional security mechanism rather than an explicit replacement for Saudi Arabia's established relationships. Indeed, Türkiye has stated that the agreement does not replace existing alliances, while also expressing readiness to assist Saudi Arabia with military and technical requirements.

These cases therefore support the paper's two analytical propositions. First, when regional conflict increases uncertainty about existing security partnerships and the future regional order, secondary powers are likely to reassess their security portfolios rather than automatically realign with a single external power**.** Second, security diversification can expand strategic room for manoeuvre without necessarily producing strategic autonomy**.** The distinction is important. A state may acquire additional partners without becoming strategically autonomous, while a state may pursue autonomy without abandoning existing alliances.

The analysis also suggests that the emerging Middle Eastern security environment should not yet be interpreted as a straightforward transition from an American-led system to a new autonomous regional order. Recent developments indicate greater experimentation with layered security arrangements, collective defence initiatives, diplomatic engagement and multiple partnerships. At the same time, existing alliances remain important. Chatham House similarly argues that Saudi Arabia continues to regard the United States as its principal strategic partner while simultaneously seeking greater responsibility for regional security.

The evidence therefore points toward layering and diversification rather than wholesale replacement**.**

The broader contribution of the paper is consequently to place strategic uncertainty between regional conflict and observable security behaviour. Strategic uncertainty is not itself a strategy, nor is it equivalent to hedging or strategic autonomy. It is the condition produced when states become less certain about the reliability of partners, the intentions of competing actors, and the future structure of the regional security environment. Examining this condition helps explain why Saudi Arabia, Türkiye and Qatar can face the same regional crisis while pursuing different forms of strategic adjustment.

The Middle Eastern security order is therefore not necessarily moving toward a single alternative architecture. Instead, the evidence suggests an increasingly plural and layered security environment, in which secondary powers seek greater flexibility while retaining selected existing relationships.

Whether these adjustments develop into durable forms of strategic autonomy remains an empirical question that will depend on the future trajectory of the conflict, the reliability of external security commitments, and the ability of regional states to institutionalize their emerging security arrangements.

References

Aran, A., Altunisik, M., & Kutlay, M. (2026). Turkey's quest for strategic autonomy in the Middle East and the Black Sea regions: Navigating uncertainty amid regional and global flux. *International Politics*. https://doi.org/10.1057/s41311-026-00751-y

Bakir, A., & Al-Shamari, N. (2025). The art of hedging: Qatar, Saudi Arabia, and the UAE manoeuvres amid US–China great power competition. *Third World Quarterly, 46*(7), 773–794. https://doi.org/10.1080/01436597.2025.2509574.

Korolev, A. (2026). Risk mitigation versus gains maximisation – The two logics of smaller power hedging amid intensifying great power rivalry. *The British Journal of Politics and International Relations*. Advance online publication. https://doi.org/10.1177/13691481261472306.

Kuik, C.-C. (2026). *Theorizing hedging: Explaining shifts and variations in alignment choices*. Cambridge University Press.

Miller, R., & Kardaş, Ş. (2026). Visions of Gulf security in an era of uncertainty: Between external alignment and regional autonomy. *Middle East Policy*. https://doi.org/10.1111/mepo.70111

Official and policy sources

Government of Saudi Arabia. (2026, August 9). *Saudi Arabia, Pakistan sign strategic mutual defence agreement*. Saudi National Platform.

Ministry of Foreign Affairs of the State of Qatar. (2026). *Qatar keeps Washington–Tehran dialogue channel open as mediators push for lasting deal*. Doha: Ministry of Foreign Affairs.

Ministry of Foreign Affairs of the State of Qatar. (2026). *Qatar rejects Iranian claims in letters to UN Secretary-General and Security Council President*. Doha: Ministry of Foreign Affairs.

Chatham House. (2026, June 5). *As Iran war reshapes the Middle East, Turkey's regional role looks set to expand*. London: Royal Institute of International Affairs.

International news sources

Reuters. (2026, August 7). *Saudi Arabia, Turkey and Pakistan sign joint defence deal amid regional turmoil*. Reuters.

Reuters. (2026, September 19). *Turkey says it could help meet Saudi military needs under defence pact*. Reuters.

Reuters. (2026, September 20). *Iran warns against new escalation by US allies*. Reuters.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ENHANCING DISTANCE LEARNING FOR POLICE OFFICERS THROUGH THE FLIPPED CLASSROOM MODEL AND INTERACTIVE LEARNING RESOURCES

Dr. Ruslan Valieiev
Dnipro State University of Internal Affairs, Department of Administrative Law and Procedure
ORCID: 0000-0001-8593-5515

ABSTRACT

Ukraine's existing system of part-time education requires students to undertake a substantial amount of independent study. This is particularly relevant to police officers, who perform additional duties under martial law and may sometimes be unable to attend scheduled classes during examination sessions. Our experience in teaching police activities and their administrative and legal aspects demonstrates the effectiveness of distance courses in maintaining the continuity and quality of education.

Distance courses provide flexible learning opportunities regardless of students' location while allowing instructors to guide and monitor the learning process. This is achieved, in particular, through interactive resources containing tests, practical scenarios, and immediate feedback. Such resources enable students to study independently while maintaining regular interaction with the instructor.

An important component of this approach is the *flipped classroom model*. Students study new material independently in advance, primarily through video lectures and other digital resources, while synchronous classes focus on practical activities, group work, problem-solving, and discussion. Compared to traditional instruction, this approach makes more efficient use of limited contact time, allowing instructors to focus on providing feedback and addressing individual learning needs rather than repeatedly presenting the same material.

Video lectures are particularly valuable because students can access them at a convenient time and review difficult material as needed. Consequently, the limited time available for face-to-face or synchronous instruction can be used more effectively because students arrive better prepared.

The implementation of the flipped classroom model combined with interactive learning resources has demonstrated a high level of student satisfaction with distance education. Student satisfaction is assessed using the *Elaine Strachota Student Satisfaction Questionnaire*. As of July 2026, satisfaction among part-time police students with their interaction with distance learning technologies had exceeded 80%.

Keywords: student satisfaction, part-time education, distance learning, flipped classroom, police training.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

CHILD TRAFFICKING IN NORTH-CENTRAL NIGERIA: EXAMINING ITS SOCIOECONOMIC AND SOCIOCULTURAL DRIVERS, TRAFFICKING DYNAMICS, AND ANTI-TRAFFICKING INTERVENTIONS, 2015-2026

Anda Usman Obansa
Federal University Lokoja, Department of Sociology

Abstract
Child trafficking in North-Central Nigeria remains a complex human rights and security challenge, exacerbated over the past decade by escalating regional instability, socio-economic shocks, and deep-seated structural vulnerabilities. This study examines the multi-faceted dynamics of child trafficking across the North-Central geopolitical zone—comprising Benue, Nasarawa, Plateau, Niger, Kogi, Kwara states, and the Federal Capital Territory (FCT)—between 2015 and 2026. Utilizing a mixed-methods approach incorporating qualitative interviews, policy review frameworks, and secondary empirical data, the research analyzes the root drivers, internal and transit operational routes, and the efficacy of counter-trafficking measures. The findings indicate that socioeconomic pressures—specifically multidimensional rural poverty, youth unemployment, inflation, and displacement from agrarian and farmer-herder conflicts—serve as the primary supply-side drivers of child vulnerability. Socioculturally, traditional practices such as informal child fostering (fosterage), unregulated religious education networks, and deceptive "educational development" schemes are increasingly exploited by trafficking syndicates to acquire minors. Trafficking dynamics in the region have evolved into hybrid networks using fake non-governmental organizations, corrupt orphanage operations, digital recruitment platforms, and interstate transit corridors linking rural North-Central communities to urban centers in southern Nigeria and the FCT for forced domestic labor, commercial sexual exploitation, and illegal adoption. Regarding anti-trafficking efforts, interventions led by the National Agency for the Prohibition of Trafficking in Persons (NAPTIP), law enforcement, and civil society organizations have achieved notable successes in victim rescues and legal enforcement. However, institutional constraints—including underfunding, judicial delays, corruption, limited shelter capacity, and porous interstate transport monitoring—continue to undermine long-term prosecution and reintegration outcomes. The study concludes that addressing child trafficking in North-Central Nigeria requires integrated structural reforms, including strengthened community-level child protection systems, rigorous regulatory oversight of care facilities, economic stabilization in conflict-affected zones, and enhanced multi-agency enforcement strategies.
Keywords: Child Trafficking, North-Central Nigeria, Socioeconomic Drivers, Fostering Exploitation, NAPTIP, Human Security, Illegal Adoption

1.0 Introduction

Child trafficking constitutes one of the most severe forms of exploitation against children and remains a persistent human rights, development and human-security concern. Unlike ordinary migration, trafficking involves the recruitment, transportation, transfer, harbouring or receipt of persons for exploitative purposes, and children may be trafficked without the need to establish the use of coercive means. The contemporary trafficking environment has become increasingly complex as poverty, social inequality, armed conflict, displacement, limited educational opportunities and technological developments interact to create conditions in which children can be recruited and exploited. The United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC, 2024) reported a substantial increase in detected trafficking victims globally, with detected child victims rising by 31% in 2022 compared with 2019.

The report further identifies poverty, social inequality and conflict among the structural conditions that heighten vulnerability to trafficking. These patterns demonstrate that child trafficking cannot be adequately understood as an isolated criminal activity; rather, it is embedded in wider socioeconomic and institutional conditions that shape children's exposure to exploitation.

The problem is particularly significant in Africa, where armed conflict, displacement, poverty, limited access to education and weak social-protection systems can intersect to increase children's vulnerability. The persistence of these conditions creates opportunities for traffickers to exploit families and communities experiencing economic and social insecurity. Recent international evidence indicates that more than half of detected child trafficking occurs within victims' own countries, demonstrating the importance of examining internal trafficking alongside cross-border movement (Inter-Agency Coordination Group Against Trafficking in Persons [ICAT], 2024). Child trafficking may involve forced labour, domestic servitude, sexual exploitation, forced begging, criminal exploitation and other forms of abuse. The increasingly digital character of recruitment and exploitation further complicates prevention and detection, requiring anti-trafficking responses to extend beyond conventional border-control and law-enforcement approaches.

Nigeria represents an important context within this broader African challenge. The country's large population, socioeconomic inequalities, extensive informal economy, internal migration patterns and persistent insecurity create diverse conditions within which trafficking can occur. Nigerian children may be exploited in domestic service, agriculture, street vending, begging, forced labour, sexual exploitation and other forms of exploitation. Recent evidence also points to the intersection between trafficking vulnerability and adverse childhood circumstances, including extreme poverty, family instability, violence, neglect and limited opportunities (Michael *et al*., 2024). Similarly, Ezeh and Oli (2021) found socioeconomic deprivation and poverty to be important factors associated with children's vulnerability to trafficking in southeastern Nigeria. Although such evidence is geographically outside the present study area, it illustrates the broader structural mechanisms through which economic insecurity can increase children's susceptibility to deceptive recruitment and exploitation.

The Nigerian trafficking environment has also demonstrated significant internal movement of children between states and geopolitical zones. Importantly, trafficking should therefore not be conceptualised only in terms of international borders. Earlier empirical research documented the recruitment and movement of children from Benue State in North-Central Nigeria to Oyo State in South-West Nigeria, illustrating how rural-to-urban and interstate mobility can form part of domestic trafficking networks (Tade, 2014). More recent research continues to draw attention to the spatial dimensions of child trafficking in Nigeria, identifying rural hinterlands, peri-urban communities and mobility corridors as important environments within trafficking networks (Omoigberale & Anyanwu, 2025). This spatial dimension is particularly relevant to North-Central Nigeria, where rural livelihoods, population mobility, conflict-related displacement and connections between rural communities and major urban centres intersect.

Within this context, the North-Central geopolitical zone, comprising: Benue, Kogi, Kwara, Nasarawa, Niger and Plateau States and the Federal Capital Territory, presents an important setting for examining the changing dynamics of child trafficking. The region contains extensive rural and agrarian communities alongside rapidly expanding urban centres and major transportation corridors. It has also experienced varying forms of communal, farmer-herder conflict, and other forms of insecurity that have generated displacement and disrupted household livelihoods in parts of the zone.

Such disruptions can weaken conventional family and community protection mechanisms while increasing dependence on informal livelihood and migration arrangements. Recent Nigerian research similarly identifies poverty, unemployment, educational disadvantage and structural marginalisation as significant dimensions of vulnerability within child-trafficking networks (Omoigberale & Anyanwu, 2025). The relevance of these factors is heightened where children and families encounter limited economic opportunities and where social institutions are unable to provide adequate protection.

Socioeconomic vulnerability, however, does not operate independently of sociocultural practices. In Nigeria, practices involving informal child placement, fostering, apprenticeship and religious education can perform legitimate social and educational functions, but their informal nature may also create opportunities for exploitation when adequate safeguards are absent. Recent research on child trafficking and related forms of exploitation has highlighted the interaction between economic vulnerability, social pressure, cultural practices, inadequate education and weak legal protection (Michael *et al*., 2024). NAPTIP has also identified evolving forms of child trafficking involving the misuse of orphanages and maternity homes, the buying and selling of children, forced begging and technology-facilitated exploitation (National Agency for the Prohibition of Trafficking in Persons [NAPTIP], 2024). These developments demonstrate the need to distinguish between legitimate cultural or social institutions and the ways in which trafficking actors may appropriate or manipulate them for exploitative purposes.

The period from 2015 to 2026 is particularly significant for examining these developments because it encompasses the implementation of Nigeria's Trafficking in Persons (Prohibition) Enforcement and Administration Act 2015 and subsequent institutional and policy responses to trafficking. During this period, NAPTIP and other state and non-state actors expanded prevention, investigation, prosecution, victim identification and rehabilitation initiatives. Nevertheless, evidence indicates continuing institutional constraints. A recent assessment of NAPTIP's institutional framework between 2015 and 2023 identified inadequate resources, slow legal processes, limited public engagement and weaknesses in inter-agency coordination as persistent challenges (Shuaibu, 2024). Similarly, recent research on trafficking prosecutions in Nigeria highlights difficulties associated with victim participation, institutional capacity and the prosecution of traffickers (Okorie & Okeja, 2024). The 2025 Trafficking in Persons Report also continued to identify resource limitations, judicial challenges and gaps in victim-centred protection as important concerns in Nigeria's anti-trafficking response.

Against this background, this paper examined child trafficking in North-Central Nigeria between 2015 and 2026, focusing on the socioeconomic and sociocultural conditions that increases children's vulnerability to trafficking, the recruitment, transportation and exploitation dynamics through which trafficking occurs, and the nature and effectiveness of existing anti-trafficking interventions. Specifically, the study examines the socioeconomic factors contributing to children's vulnerability; explores the sociocultural practices and conditions that may facilitate their exploitation; analyses the evolving patterns, mechanisms and routes associated with child trafficking within and beyond the region; and assesses the interventions of government agencies, law-enforcement institutions and civil society organizations, including the institutional challenges affecting prevention, prosecution, victim protection and reintegration. By integrating qualitative evidence with relevant secondary empirical and documentary sources, the study provided a contextual understanding of how structural vulnerability, sociocultural conditions, trafficking networks and institutional responses interact to shape the persistence of child trafficking in North-Central Nigeria.

2.0 Literature Review

2.1 Concept of Child Trafficking

Child trafficking refers to the recruitment, transportation, transfer, harbouring or receipt of a child for the purpose of exploitation. Because children are especially vulnerable, the legal definition does not require the same demonstration of coercive means that is generally relevant when establishing trafficking involving adults. Exploitation may take different forms, including forced labour, domestic servitude, sexual exploitation, forced begging and other practices that deprive children of their rights and freedom (Ezeh and Oli, 2021).

The concept also needs to be distinguished from ordinary child migration, labour and informal fostering. Not every movement of a child or every instance of child work constitutes trafficking. The defining concern is the exploitation of the child through processes of recruitment, transportation, transfer, harbouring or receipt. This distinction is particularly relevant in Nigeria, where legitimate social practices such as family-based fostering, apprenticeship and religious education may coexist with situations in which children are exposed to exploitation. Michael et. al. (2024) similarly emphasizes the interaction between socioeconomic vulnerability, social pressure, limited educational opportunities and inadequate protection in creating conditions conducive to child exploitation.

2.2 Socioeconomic and Sociocultural Drivers

In this study, socioeconomic drivers refer to economic and material conditions that increase children's vulnerability to trafficking. These include poverty, unemployment, household economic insecurity, displacement, limited educational opportunities and livelihood disruption. Recent research in Nigeria identifies poverty, unemployment, educational disenfranchisement and multidimensional precarity as important structural conditions associated with trafficking vulnerability (Omoigberale & Anyanwu, 2025).

Sociocultural drivers, on the other hand, refer to social norms, practices, relationships and institutional arrangements that may facilitate children's movement into exploitative situations. These may include informal child fostering, social expectations surrounding children's economic contributions, weakly regulated educational or religious arrangements, and community practices that can be manipulated by traffickers. The important analytical point is that such practices should not automatically be regarded as trafficking; rather, the study examines how legitimate social arrangements may become vulnerable to exploitation when adequate safeguards are absent. Bentina and Eze (2023) has similarly identified the interaction of poverty, ignorance, unemployment and sociocultural conditions in shaping vulnerability to child trafficking.

2.3 Trafficking Dynamics

Trafficking dynamics in this study encompass the processes through which children are recruited, transported, transferred, received and exploited, as well as the relationships and networks that facilitate these processes. This concept draws attention to trafficking as a networked and spatial phenomenon rather than simply an isolated criminal act. Recent research using household surveys, interviews and geospatial analysis found trafficking vulnerabilities concentrated in rural hinterlands, peri-urban areas and high-mobility corridors in Nigeria, highlighting the importance of spatial and governance factors in understanding trafficking networks (Omoigberale & Anyanwu, 2025). For the present study, trafficking dynamics therefore include recruitment strategies, movement between communities and states, forms of exploitation, the actors involved, and the institutional environments through which trafficking may be facilitated or interrupted.

2.4 Anti-Trafficking Interventions

Anti-trafficking interventions refer to the measures undertaken by government agencies, law-enforcement institutions, civil society organizations and other relevant actors to prevent trafficking, identify and protect victims, investigate and prosecute offenders, and support victims' rehabilitation and reintegration. The concept is therefore broader than criminal prosecution alone. It encompasses prevention, protection, prosecution and partnership, including community-based interventions and institutional coordination (Okorie & Okeja, 2024).

2.5 Theoretical Framework: Structural Violence Theory

Structural Violence Theory, associated principally with Johan Galtung's work, provides the theoretical foundation for this study. The theory shifts attention from direct physical acts of violence to social, economic and political structures that systematically prevent particular groups from achieving their basic needs and full human potential. Violence according to Galtung (1969) is therefore not restricted to an identifiable perpetrator physically harming a victim; it can also be embedded in institutions, inequalities and social arrangements that expose vulnerable populations to avoidable harm.

Applied to child trafficking, the theory suggests that trafficking vulnerability can emerge from structural conditions that constrain children's and families' available choices. Persistent poverty, unemployment, educational exclusion, displacement, weak social protection and inadequate institutional protection may create environments in which traffickers can exploit existing vulnerabilities. The theory therefore allows trafficking to be examined not simply as the outcome of individual criminal behaviour but as a phenomenon facilitated by broader structural inequalities.

This theoretical perspective is particularly relevant to North-Central Nigeria because recent empirical research has connected child-trafficking networks to poverty, unemployment, educational disadvantage, infrastructural neglect and spatial marginalisation. Omoigberale and Anyanwu (2025), for example, conceptualise Nigerian trafficking networks through structural violence and demonstrate how rural disadvantage, governance fragmentation and mobility corridors can interact to create conditions conducive to exploitation. A 2026 study of trafficking in neighbouring North-Western Nigeria similarly found that economic hardship, weak law enforcement, cultural norms, insecurity and inadequate social protection collectively sustain trafficking dynamics (Adamu, 2026).

The theory is therefore useful for connecting the major components of this study. Socioeconomic deprivation and sociocultural vulnerabilities constitute structural conditions; these conditions increase children's exposure to recruitment and exploitation; trafficking networks take advantage of those vulnerabilities; and institutional weaknesses may allow exploitation to persist. Anti-trafficking interventions can consequently be understood not only in terms of arresting traffickers but also in terms of reducing the structural vulnerabilities that make children susceptible to trafficking in the first place.

However, Structural Violence Theory does not imply that socioeconomic deprivation automatically produces trafficking. Many economically disadvantaged families and communities do not experience trafficking. The theory is instead used here to explain how unequal social and institutional conditions can increase vulnerability and create enabling environments within which trafficking actors operate. This distinction is important because it prevents poverty from being treated as a sufficient or deterministic explanation for child trafficking.

3.0 Methodology

This study adopted a mixed-methods research design to examine the socioeconomic and sociocultural drivers, trafficking dynamics and anti-trafficking interventions associated with child trafficking in North-Central Nigeria between 2015 and 2026. The mixed-methods approach was considered appropriate because the phenomenon involves both measurable socioeconomic conditions and complex social, cultural and institutional processes that require contextual interpretation. Accordingly, the study integrated qualitative evidence generated through key-informant interviews with documentary and secondary empirical evidence obtained from scholarly studies, official reports, policy documents, legal instruments and other relevant sources. The integration of these sources provided a broader basis for examining the relationship between structural vulnerability, sociocultural practices, trafficking mechanisms and institutional responses across the region.

The geographical scope of the study comprised of Benue, Nasarawa, Plateau, Niger, Kogi and Kwara States, together with the Federal Capital Territory (FCT), which collectively constituted Nigeria's North-Central geopolitical zone. The region provided an important setting for examining child trafficking because of its diverse agrarian economies, rural and urban communities, internal migration patterns, socioeconomic inequalities and exposure to different forms of communal and farmer-herder conflict and displacement. The study covered from 2015 to 2026 in order to capture changes in the socioeconomic environment, trafficking patterns, institutional responses and anti-trafficking policies over the period. Particular attention was given to developments that may have affected children's vulnerability, including livelihood disruption, displacement, unemployment, household economic insecurity and changing patterns of internal movement.

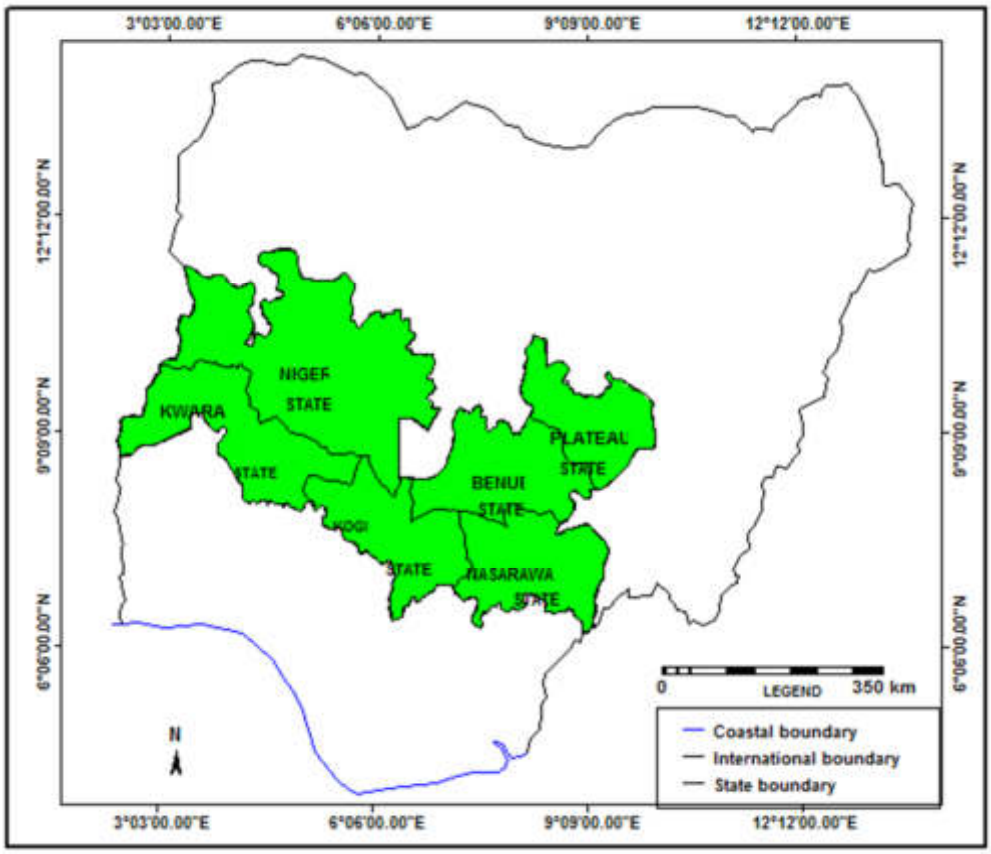


Figure 1: Map of Nigeria depicting the North Central States
Source: *Oladimeji et al. (2015)*

The study integrated the different forms of evidence through triangulation. Findings emerging from interviews were compared with relevant empirical studies, official records, policy documents and institutional reports in order to identify areas of convergence and divergence. This process was particularly important in examining claims concerning trafficking routes, recruitment strategies, forms of exploitation and institutional effectiveness, since trafficking is a clandestine activity and available records may not capture its full extent. Where different sources provided conflicting accounts, the analysis considered the source, geographical coverage, period of observation and methodological basis of the evidence rather than treating any single account as conclusive. The mixed-methods design therefore allows numerical and documentary evidence to establish broader patterns while qualitative evidence provides contextual explanations of how and why those patterns occur.

4.0 Findings and Discussion

The evidence examined in this study indicatedthat child trafficking in North-Central Nigeria is shaped by the interaction of socioeconomic vulnerability, sociocultural conditions, trafficking mechanisms and institutional capacity. Rather than being attributable to a single cause, vulnerability emerges where household economic insecurity, displacement, disrupted livelihoods, weak protection mechanisms and socially embedded child-placement arrangements intersect. The discussion below integrated documentary and empirical evidence with the study's qualitative interview component.

4.1 Socioeconomic vulnerability, conflict and displacement. Poverty, unstable household income, unemployment, livelihood disruption and displacement constitute important structural conditions associated with children's vulnerability. Ezeh and Oli (202) and Michael *et al*., (2024) has identified socioeconomic circumstances as relevant to children's exposure to trafficking and related exploitation. The interview evidence further illustrates how these conditions may operate at community level. A response from an anti-trafficking practitioner captures this relationship:

> *When a family has lost its source of livelihood, the person who comes promising to take the child to the city for work or schooling can easily be trusted. The problem is that the family may not have the means to verify where the child is going or what the child will actually be doing* (KII 4, Male, Anti-trafficking practitioner, 2026).

Similarly, a social-welfare suggested that displacement can weaken ordinary protective arrangements:

> *When families are displaced, children may become separated from parents or relatives, and that makes it more difficult to monitor who is taking responsibility for them.* (KII 3, Male, NGO-Social Welfare, 2026).

Therefore, Conflict can compound these pressures by disrupting livelihoods, separating families and weakening community protection mechanisms. Security evidence for the region illustrates the scale and geographical distribution of insecurity: between October 2017 and September 2018, ACLED recorded 632 total security incidents across the North-Central states and FCT covered in the regional assessment, with particularly high totals in Benue, Plateau and the FCT (EASO, 2018).

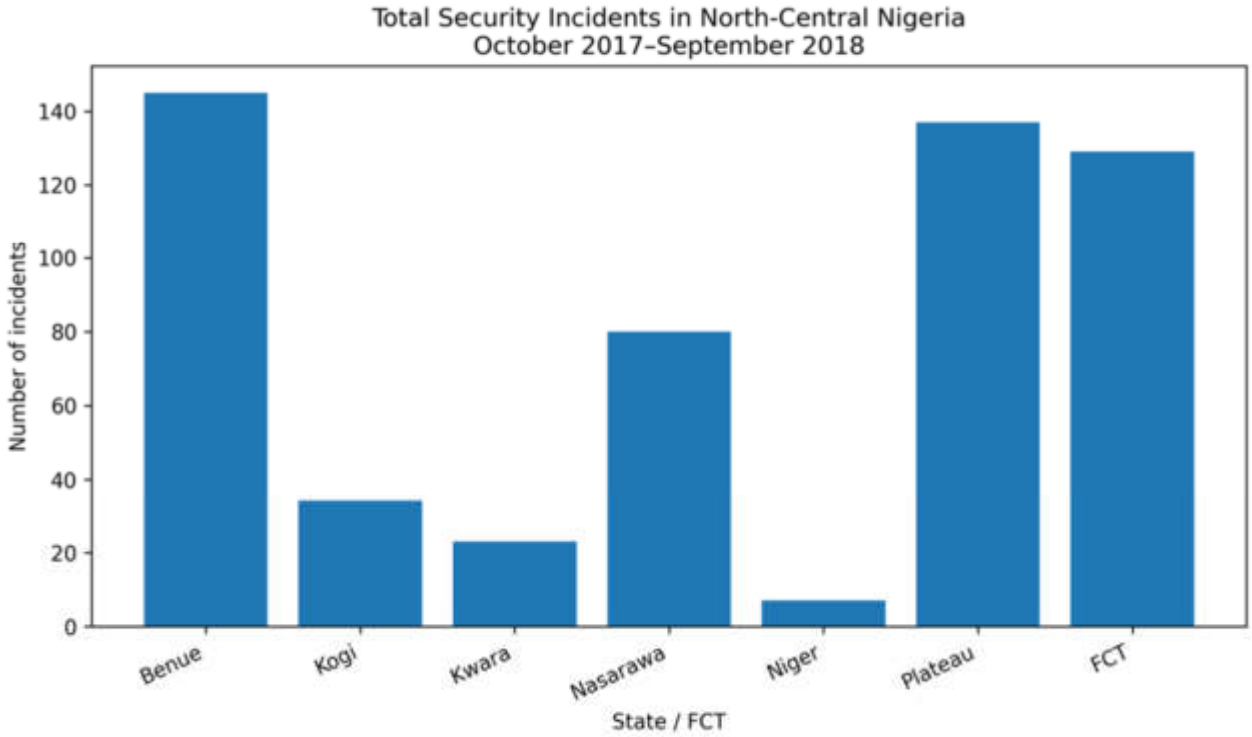


Figure 2. Total security incidents in North-Central Nigeria, October 2017–September 2018.
Source: ACLED, as reproduced in EASO (2018).

This figure is contextual evidence of the security environment, it shows substantial variation in recorded incidents across the study area, with Benue and Plateau recording the highest totals among the states and the FCT also recording a high number. Such insecurity can contribute to displacement, livelihood loss and disruption of family and community support systems, although the figure alone does not establish a causal relationship between conflict and trafficking.

4.2 Sociocultural conditions and child placement. The findings further indicated that socioeconomic pressures interact with social relationships and culturally embedded practices. Informal fostering, extended-family placement and arrangements associated with educational or religious instruction can provide legitimate support to children, but weak oversight may create opportunities for exploitation. The important distinction is that fostering or religious education is not itself trafficking; rather, legitimate relationships and institutions may be manipulated by persons seeking to exploit children.

The interview component provided a useful way of explaining this process. A community-level response stated:

> *In many communities, people are more willing to release a child to someone they know or someone recommended by a trusted person. Because the arrangement is based on trust, families may not ask enough questions about where the child will stay or what the child will be doing.* ((KII 1, Male, NGO-Social Welfare, 2026).

Another response from a child-protection practitioner added:

> *The concern is not fostering itself. The concern is when there is no documentation, no follow-up and nobody checking the welfare of the child after the child leaves the family.* (KII 5, Female, Lawyer, 2026).

These perspectives support the argument that anti-trafficking measures should not criminalise legitimate cultural practices. Instead, preventive mechanisms should concentrate on documentation, monitoring, child welfare and accountability where children are placed outside their immediate households. This interpretation is consistent with the broader literature linking structural vulnerability, social relationships and trafficking networks in Nigeria (Omoigberale & Anyanwu, 2025).

4.3 Trafficking dynamics, movement and exploitation. The evidence suggested that recruitment may occur through relatives, acquaintances, community intermediaries and persons presenting employment, education or welfare opportunities. Movement may then occur from rural communities to urban centres or across state boundaries. The interview evidence provided further contextual understanding of the recruitment process. A proposed Anti-trafficking practitioner response indicated:

> *The difficulty is that the person recruiting the child may not look like a trafficker. Sometimes the person is introduced through a relative or somebody known in the community, and the movement initially appears to be for work, apprenticeship or education*. (KII 4, Male, Anti-trafficking practitioner, 2026).

Earlier empirical research has documented child-trafficking movement from Benue to Oyo, demonstrating that trafficking involving North-Central communities can extend beyond the region (Tade, 2014). Contemporary trafficking networks can involve multiple actors performing recruitment, transportation, accommodation, placement and exploitation functions, making detection and prosecution difficult (Omoigberale & Anyanwu, 2025).

4.4 Anti-trafficking interventions and institutional constraints. Government agencies, law-enforcement institutions and civil-society organizations have developed multiple responses involving prevention, investigation, prosecution, victim identification and support. The 2024 Trafficking in Persons reporting records labour-inspection and referral activities concerning potential trafficking and child-labour cases in Nigeria (U.S. Department of State, 2024).

The interview material also highlighted the institutional difficulties involved in responding to trafficking. One proposed anti-trafficking practitioner stated:

> *Rescue is only the first stage. After a child has been removed, there has to be somewhere safe for the child to stay, someone to handle the case and a system for family tracing and reintegration. When those parts are weak, the intervention becomes difficult to sustain.* (KII 4, Male, Anti-trafficking practitioner, 2026).

However, institutional challenges remain, including resource limitations, victim-witnessing difficulties, delays in criminal-justice processes and challenges in coordinating protection and prosecution. Research on trafficking prosecutions in Nigeria similarly identifies victim-witnessing and community-oriented challenges as important constraints (Okorie & Okeja, 2024).

Summary of evidence. Taken together, the findings indicated that child trafficking is embedded in a wider environment of socioeconomic insecurity, conflict-related disruption, social trust and institutional vulnerability. This evidence supports a structural interpretation in which these conditions may increase exposure to trafficking without implying that poverty, fostering or displacement automatically produces trafficking.

Quantitative indicator of child trafficking detection and protection

This child-specific indicator is the number of children removed from potential trafficking conditions through labour inspection and related enforcement activities. Successive U.S. Trafficking in Persons Reports recorded 2,996 children removed from potential trafficking conditions in the 2020 reporting period, 1,193 in 2021, 475 in 2022, and 46 in 2023 (U.S. Department of State, 2021, 2022, 2023, 2024). These figures provide evidence of children identified through enforcement and protective mechanisms, but they can not be interpreted as estimates of the prevalence of child trafficking. Changes across reporting periods reflect differences in inspection activity, identification and reporting practices, institutional capacity, and the hidden nature of trafficking rather than a simple increase or decrease in trafficking itself. The figures are also national rather than North-Central-specific and are therefore used as contextual evidence for the wider Nigerian anti-trafficking environment.

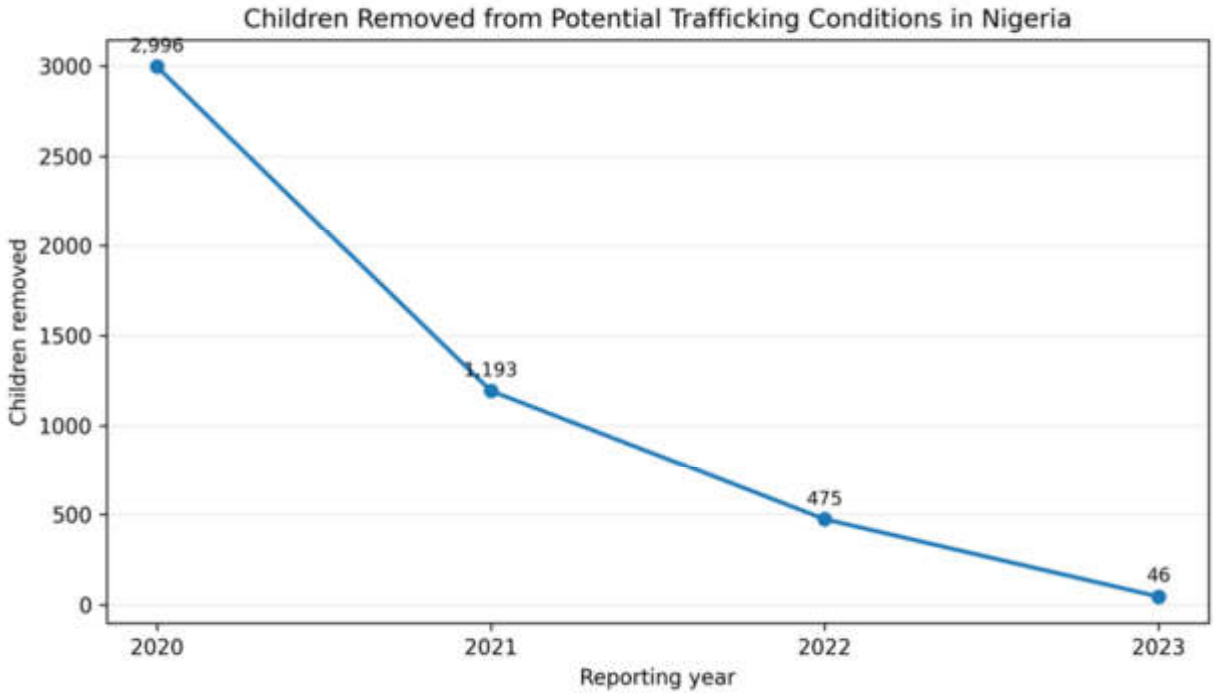


Figure 3. Children removed from potential trafficking conditions in Nigeria, 2020–2023.
Source: U.S. Department of State, Trafficking in Persons Reports (2021–2024).

5.0 Conclusion and Recommendations

5.1Conclusion

Child trafficking in North-Central Nigeria is sustained by the interaction of socioeconomic vulnerability, sociocultural conditions, trafficking networks and institutional weaknesses. Poverty, livelihood insecurity, displacement, conflict and limited access to education can increase children's vulnerability, while trusted social relationships and informal child-placement arrangements may sometimes be exploited by traffickers. The study showed that although government agencies, law-enforcement institutions and civil-society organisations have made efforts to prevent trafficking, rescue victims and prosecute offenders, challenges in coordination, victim protection, prosecution and reintegration continue to limit the effectiveness of these interventions.

The study therefore concluded that child trafficking in the region cannot be addressed through law enforcement alone. Effective prevention requires practical measures that reduce children's vulnerability, strengthen community protection mechanisms, improve institutional coordination and provide sustained support for victims.

5.2 Recommendations

The study recommended the strengthening of community-based child protection mechanisms in trafficking-prone communities across North-Central Nigeria. NAPTIP, state governments and local authorities should establish or strengthen community child-protection committees responsible for monitoring vulnerable children, reporting suspicious recruitment activities and facilitating early referral to relevant authorities. Such community-level mechanisms can improve early identification and prevention by bringing child-protection responses closer to households and communities where vulnerability is most visible.

There is also a need to improve the monitoring of child-placement arrangements. State social-welfare departments should maintain basic records of children placed outside their immediate households and conduct periodic welfare checks to ensure that such children are safe and adequately cared for. This approach should be implemented in a manner that protects children without criminalising legitimate practices such as fostering, apprenticeship and religious education. The emphasis should therefore be on documentation, accountability and the welfare of the child.

Child protection should further be integrated into government and humanitarian responses to conflict and displacement. Programmes serving displaced and conflict-affected communities should incorporate child identification, family tracing, safe accommodation and access to education. These measures are particularly important where family separation and livelihood disruption increase children's vulnerability to recruitment and exploitation. Strengthening child-protection components within displacement responses would therefore help reduce the opportunities available to traffickers.

Interstate enforcement and information sharing should also be strengthened. NAPTIP, the Nigeria Police Force, immigration authorities, transport-sector stakeholders and relevant state agencies should establish faster mechanisms for sharing information and referring suspected trafficking cases, particularly where children are moved across state boundaries. Improved coordination among these institutions would facilitate the identification of trafficking movements, support investigations and enable the timely protection and referral of children at risk.

Finally, victim reintegration should be made more sustainable by providing rescued children with continued education, psychosocial support, family assistance and appropriate vocational opportunities. Reintegration should not end when a child is returned to a family or community; follow-up monitoring should be undertaken to identify emerging risks and reduce the possibility of re-trafficking. Taken together, these measures would strengthen prevention, improve the identification and protection of vulnerable children, and complement existing efforts to investigate and prosecute trafficking offences in North-Central Nigeria.

REFERENCES

Adamu, H. Z. (2026). An examination of the drivers of human trafficking in the North-Western Nigeria: Institutional and civil society of Nigeria. *University of Jos Journal of Political Science, 3*(1), 256-269.

Bentina, A. M. & Eze, I. J. (2023) Socio-Cultural determinants of child trafficking in ohaukwu Local Government Area of Ebonyi State, Nigeria. *Journal of African Migration, 5*, 80-96.

EASO. (2018). Nigeria: Security situation. European Asylum Support Office.

Ezeh, U. C., & Oli, N. P. (2021). Socio-economic determinants of children's vulnerability to trafficking in Awka South Local Government Area, Anambra State, South-East, Nigeria. *Practicum Psychologia, 11*(1).

Galtung, J. (1969). Violence, peace, and peace research. *Journal of Peace Research, 6*(3), 167–191. https://doi.org/10.1177/002234336900600301

Inter-Agency Coordination Group Against Trafficking in Persons. (2024). *Joint statement of the Inter-Agency Coordination Group against Trafficking in Persons (ICAT) on the World Day against Trafficking in Persons 2024*. United Nations.

Michael, T. O., Ojo, T. F., Agbana, R. D., Ijabadeniyi, O. A., Ibikunle, M. A., Oluwasanmi, O. E., & Ilori, B. O. (2024). Factors influencing adolescent pregnancies with intent for child trafficking in selected vulnerable communities in Nigeria: A qualitative exploration. African *Journal of Reproductive Health, 28*(3), 50–62. https://doi.org/10.29063/ajrh2024/v28i3.6

National Agency for the Prohibition of Trafficking in Persons. (2024, November 4). Director-General's year three performance report & three years performance overview.

Okorie, M. M., & Okeja, U. (2024). Prosecuting human traffickers in Nigeria: Victim-witnessing and community-oriented challenges. Trends in Organized Crime. https://doi.org/10.1007/s12117-024-09548-y

Oladimeji, Y. U., Abdulsalam, M. A. Damisa, M. A. & Omokore, D. F. (2015). Estimation of Efficiency Differentials in Artisanal Fishery: Implications for Poverty Reduction in Selected States in North Central, Nigeria. Nigerian Journal of Basic and Applied Science, 23(2), 121-128

Omoigberale, O., & Anyanwu, E. (2025). Cartographies of exploitation: Multi-scalar governance and structural violence in Nigeria's child trafficking networks. Journal of Contemporary International Relations and Diplomacy, 6(1), 139–163. https://doi.org/10.53982/jcird.2025.0601.07-j

Shuaibu, S. I. (2024). Institutional frameworks for combating human trafficking in Nigeria: An assessment of the National Agency for the Prohibition of Trafficking in Persons (NAPTIP), 2015–2023. *South East Journal of Political Science, 10*(1).

Tade, O. (2014). Recruitment and abuse of trafficked children in south-west Nigeria. African Security Review, 23(3), 264–282. https://doi.org/10.1080/10246029.2014.922107

U.S. Department of State. (2024). 2024 trafficking in persons report: Nigeria.

United Nations Office on Drugs and Crime. (2024). Global report on trafficking in persons 2024. United Nations.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ENVIRONMENTALLY SOUND TECHNOLOGIES AND THE TRIPS BIND: RETHINKING IPR FLEXIBILITIES FOR CLIMATE TECHNOLOGY TRANSFER IN THE GLOBAL SOUTH

Assistant Professor Dr. Anuja Misra
Law, Galgotias University, Greater Noida, Uttar Pradesh

Assistant Professor Dr. Akriti Gupta
Law, Kirit P. Mehta School of Law, SVKM's NMIMS (Deemed to be University)

Assistant Professor Dr. Anwesha Ghosh
Law, Kirit P. Mehta School of Law, SVKM's NMIMS (Deemed to be University)

Abstract
Indiscreet usage of natural resources available to man has caused a menace to the society; the consequences of which human beings face today. Climate change is an obvious and the most pertinent consequence of human activity. Overpopulation has caused immense pressure on nature so much so that it feels unequipped to provide for all. Advancements in technology have contributed to global warming. This indiscriminate rise in temperatures has caused glaciers to melt, landslides, soil biodiversity loss, depletion of ozone layer and a massive challenge to the environment to preserve it to the best possible. While the technological advancements were crucial to development, it resulted in potential damage to the environment to an extent that environmentalists started questioning the role of technology in aiding development and growth. However, scientists and researchers soon realised that the solution to the issue of environmental degradation also lies with technology. They believed that the way to a cleaner and a greener environment is commitment to environmentally sound technologies. This shall put less burden on the environment which will help in preserving status-quo if not reverse completely the detrimental changes. Realising this potential, developed countries started investing in green technology. As developing countries or less developed countries could not equally participate in the development of environmentally sound technologies, despite possessing high demand for climate friendly measures, they were dependent on developed nations for the transfer and diffusion of these technologies. However, there are many hurdles that the developing nations face like barriers to trade and stringent IPR policies, which make procurement of technologies difficult due to high costs. Current multilateral discussion including COP30's Technology-transfer discussions, have made bare minimum progress towards helping the developing nations towards fairness and equity. This paper undertakes a doctrinal and policy analysis of the IPR–climate technology tension, examining existing TRIPS flexibilities, emerging collective mechanisms like patent pools, and the role of finance and domestic capacity in converting formal access into real deployment

Keywords: climate change, technology transfer, TRIPS flexibilities, compulsory licensing, patent pools, green technology, sustainable development, Global South

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

THE PROPENSITY OF GOVERNMENT SPENDING COMPOSITION DURING ELECTORAL CYCLES IN ALBANIA

Associate ProfessorArjan Tushaj
Department of Economics, University of Tirana

Esmeraldo Xhakolli
Department of Economics, University of Tirana

Professor Valentina Sinaj
Department of Statistics and Applied Informatics, University of Tirana

Abstract
The paper examines the composition of government spending throughout the electoral cycles in Albania during 1993 – 2025. The implemented fiscal policy focus towards the deteriorated composition of public expenditure to provide the increased opportunities for incumbent government, particularly in developing countries. However, the composition of public expenditure is investigated through the analysis of comparative statics in Albania. The empirical outcomes of differences related to the government expenditure allocations in Albania are mostly significant according to the incumbent governmental responsiveness during the electoral years. The concluding remarks reveals the significance of governmental behavior related to the composition of government spending through the electoral years to confirm the pro-electoral cycles behavior of incumbent politicians through the implicit fiscal measures.
Keywords: Government spending, Electoral years, Expenditure allocation
JEL Codes: H61; H50; E62

1. Introduction

According to the scope of theoretical and empirical investigations into the occurrence of political budget cycles, the examination of the composition of government spending during the election periods has demonstrated the significant empirical evidence of a derivative convergence. Theoretical and empirical research towards the impact of incumbent governments' behavior on the public expenditure allocation during election years has proved the opportunistic behavior, particularly in the developing countries.

Brender and Drazen (2005) highlighted the occurrence of political budget cycles in the countries with new democracy and the developed economies, but these political budget cycles were more noticeable in the countries with fragile democracies. The authors' empirical findings explored two contradictory perspectives relate to the pre-election manipulation: (i) considering it likewise an appropriate tool for voter support, versus (ii) the propensity of voters to punish rather than recompence of fiscal manipulation. Furthermore, Shi and Svensson (2006) confirmed the existence of political budget cycles statistically more robust within the developing countries compared to the developed ones. The authors demonstrated that the magnitude of political budget cycles is affected by the benefits of incumbent politicians and the part of conversant voters within the electorate, highlighting the significance of institutional characteristics in order to distinguish the political budget cycles amongst the developed and developing countries.

Meanwhile Ivanovic et al. (2023) investigated the political budget cycles in Serbia throughout examining the behavior of fiscal deficit. The authors' empirical results demonstrated the occurrence of higher fiscal deficits preceding the scheduled elections, but missing them previously the snap elections. The authors highlighted the transformation of incumbent behavior during the scheduled elections versus the snap elections.

Also, there has been no shortage of pressures stemming from high fiscal deficits—driven both by the opportunistic behavior of incumbent governments and by the various internal and external shocks in the case of Albania. The various empirical findings have documented these patterns throughout the country's economic transition.

The paper follows to investigate the appropriate literature related to the composition of government spending during the electoral periods. Additionally, the succeeding section demonstrates the dynamics of government spending composition. The final section demonstrates the concluding remarks of paper.

2. Literature review

The theoretical background and empirical results have highlighted the significant statistical findings regarding the impact of political elections on the allocation of public expenditure. Furthermore, Brender and Drazen (2013) examined the nexus amongst the political elections and changes related to the structure of government spending across the countries with variable levels of democracy. The authors' results demonstrated that the leadership changes in the mid-term lead to the significant shifts into the spending composition in the developed countries. The authors highlighted that the noticeable changes in the composition of public expenditure were observed in the countries with consolidated democracies, whereas increasing the total spending was manifested in the countries with new democracies throughout the electoral years. Otherwise, Coulombe (2021) demonstrated that changes into the government spending were attributable to the political sector in the majority of OECD countries considered—particularly in the USA and the UK, where they were associated with the higher political separation and the high determination according to the government philosophy.

Lami (2023) investigated the political budget cycle in Albania using monthly data. He highlighted a significant shift in the deficit levels during the quarters preceding and following elections—a pattern not observed in the aggregated annual data. The author's empirical findings demonstrated that the electoral competition, lower management efficiency, incumbent disregard for the budgetary circumstances during rivals' terms, and higher levels of corruption were the crucial determinants driving the political turnover and contributing to a higher budget deficit.

Afonso et al. (2026) examined the impact of elections in the 27 EU member states related to the configuration of fiscal policy strategies according to affecting the political, fiscal, and institutional restraints throughout the subtleties. The authors' empirical results demonstrated that the elections converged steadily towards the increasing of primary expenditure, particularly the compensation of employees, intermediate consumption, gross fixed capital formation, and other primary spending. Their empirical evidence confirmed the dynamics towards the scheduled elections but no confirmation during the early elections. Furthermore, the empirical estimations approved the implementation of more restrictive strategies through the elections in the high-debt countries, alongside the enforcement of additional fiscal discipline during the electoral periods. The authors' empirical outcomes specified the occurrence of political budget cycles in the European Union, while highlighting that their magnitude and composition depended on the fiscal surroundings, institutional outlines, and governance structures.

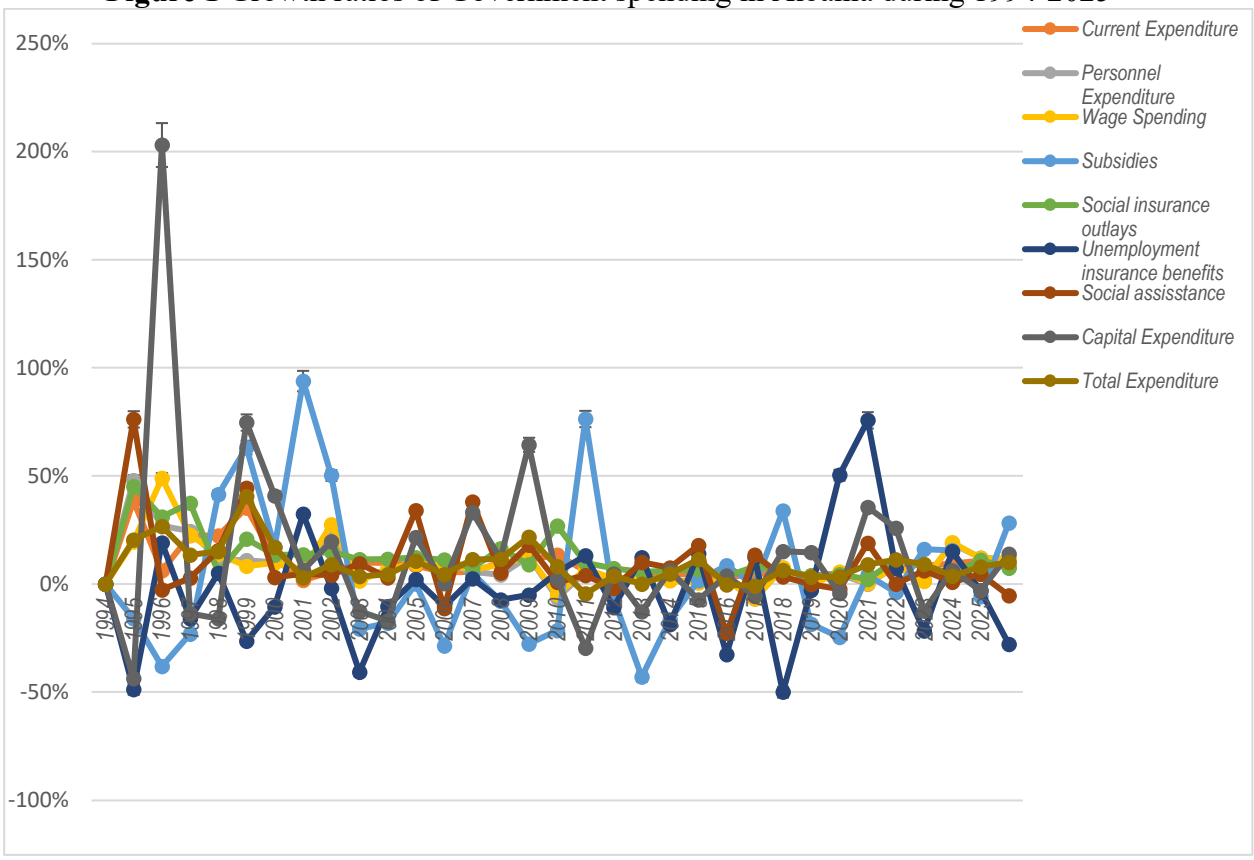
Katsimi and Sarantides (2012) examined the effect of elections relate to the structure of fiscal tools taking into consideration the several high-income OECD countries throughout 1972–1999. The authors' findings demonstrated the modification of public expenses toward the current spending, ensuing into the shrinkage of public investment. Meanwhile the empirical evidence did not confirm an electoral cycle regarding to the government deficit and total spending, but it demonstrated a negative impact of elections on the revenue due to a decline in direct taxes. Authors' empirical results pertained to the scheduled elections; although an increase in the fiscal deficit may be observed during the snap elections, such the elections did not affect the conformation of fiscal policy.

Vergne (2009) absorbed related to the examination of configuration according to the government expenditure during electoral periods, considering the several developing countries. The author's empirical results demonstrated the impact of political elections on the public expenditure allocation, shifting toward the public wage spending and subsidies during election years and shrinking the capital spending. The author's findings highlighted the electoral effects on the public spending priorities continuously, regardless of prior electoral experience.

3. Dynamics of government spending composition in Albania

The figure 1 illustrates the growth ratios of government expenditure in Albania regarding to the current expenditure (including the personnel expenditure, wage spending, subsidies, social insurance outlays, unemployment insurance benefits, and social assistance) and the capital expenditure during 1994–2025. The figure 1 reveals that the rates of change according to the total expenditure and the current expenditure demonstrate the high stability, whereas the capital expenditure provide the high volatility throughout the considered period. Furthermore, the current expenditure categories, subsidies and unemployment benefits display the greater volatility compared to other components of current spending. The above fluctuations are concentrated in the electoral years—though not exclusively—demonstrating that the convergence of these expenditures is not limited solely toward the election years.

Figure 1 Growth ratios of Government spending in Albania during 1994-2025

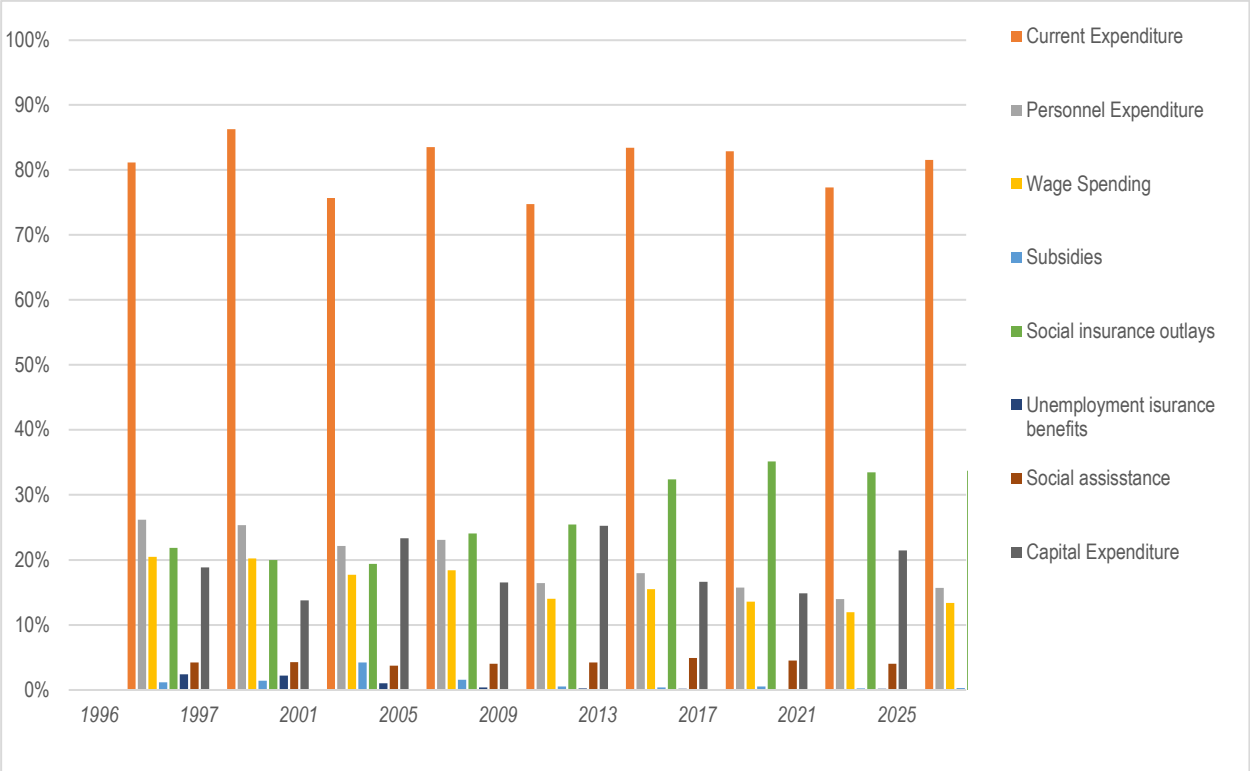


Source: *Authors' calculations (2026)*

The figure 2 demonstrates the composition of government spending in Albania by the specific category during the electoral years. An examination of the expenditure composition during electoral periods reveals obviously the dominance of current expenditure within the total government spending. Although, the share of current expenditure remains relatively steady across the election periods, meanwhile the highest proportions of current expenditure according to the allocation of total government spending are observed throughout the electoral years associated with the change of incumbent government, particularly 1997, 2005, and 2013. This empirical evidence supports the argument that the incumbent governments reveal the opportunistic behavior, regardless of the final election outcomes. Conversely, the figure 2 confirms that the share of capital expenditure within the total government spending was highest during the election years of 2001, 2009, and 2021—years in which the incumbent governments won the national elections. Also, these results provide the supporting evidence of robust signals related to the opportunistic behavior by the incumbent governments in Albania.

Furthermore, the figure 2 demonstrates that the current expenditures related to the unemployment insurance benefits and social assistance provide the smallest share of total expenditure—compared to all other components of current expenditure during the voting years.

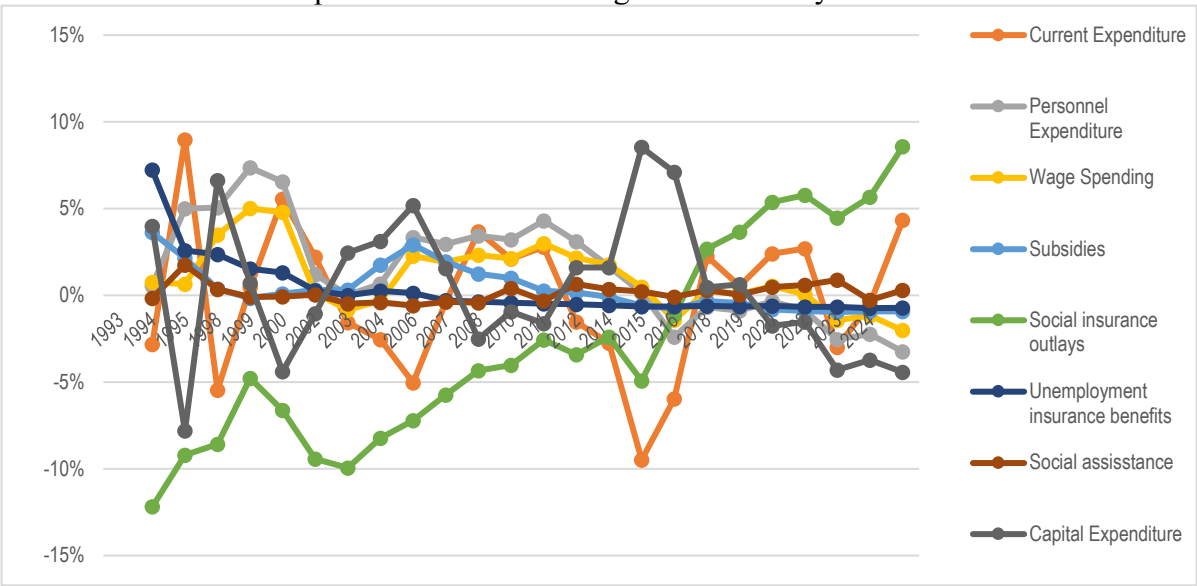
Figure 2 Government spending shares in Albania during electoral years



Source: Authors' calculations (2026)

The figure 3 reveals that the variation according to the share of current and capital government expenditures—relative to the period average—is greater than that of any other component of current expenditure through the non-election years. Similarly, the share of social expenditures relative to total government spending shows an upward trend during the non-election periods, but it does not display the same volatility observed into the current and capital expenditures. Meanwhile, the variation of share of unemployment insurance benefits and social assistance spending is almost linear, differing markedly from the behavior of current and capital expenditures. These patterns within the government spending provide as an indicator suggesting the occurrence of opportunistic behavior during pre-election periods.

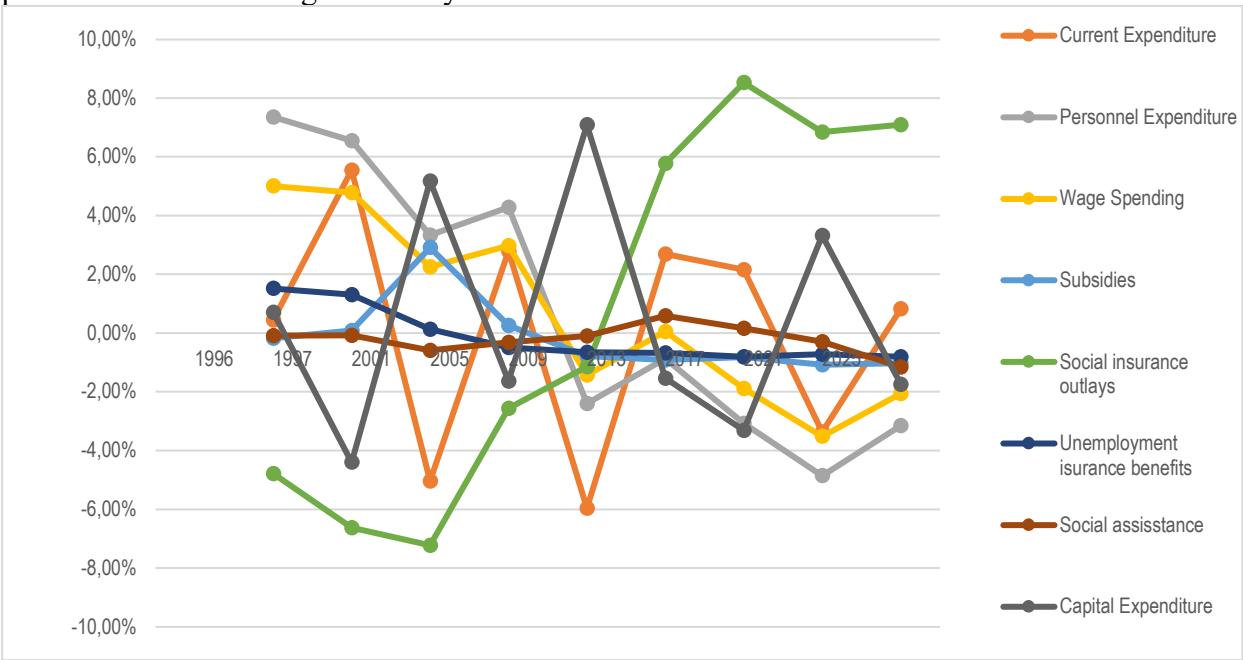
Figure 3 Changes of Government spending shares compare to the average of considered period in Albania during non-electoral years



Source: Authors' calculations (2026)

Furthermore, an analysis of the shifting composition of government spending—specifically the propensity of changes of shares amongst the current and capital expenditures demonstrating in figure 4—during the election periods, when they compared to the average of period taking into consideration, reveals the significant volatility. These variations during the electoral years provides the empirical evidence of preferential allocation related to the public pending by the incumbent governments aiming to provide another opportunity of re-election.

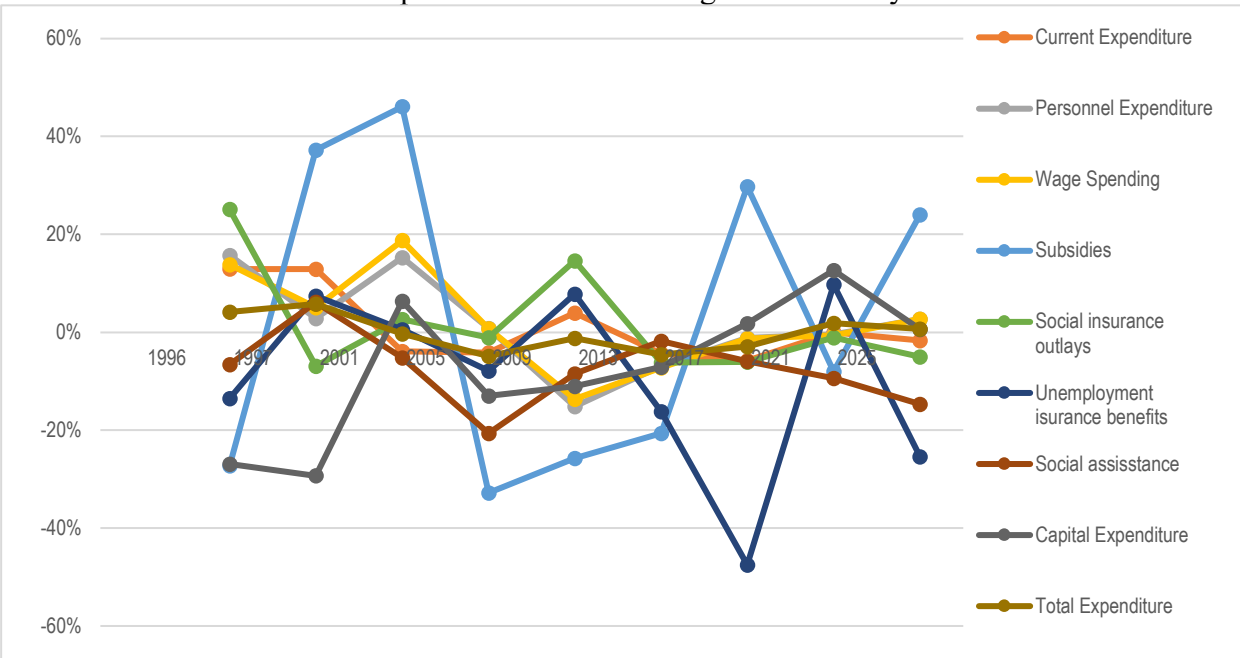
Figure 4 Changes of the government spending shares compare to the average of considered period in Albania during electoral years



Source: Authors' calculations (2026)

The figure 5 illustrates that there is no evident trend of convergence into the growth ratios of government spending—relative to the period average during the election years. Figure 5 demonstrates that the spending on the subsidies and unemployment insurance benefits exhibits the greatest volatility amongst the components of current expenditure. Nevertheless, other current expenditure components and capital expenditures show the significant volatility throughout the electoral periods taking into the consideration.

Figure 5 Changes of the growth ratio of government spending compare to the average of considered period in Albania during the electoral years



Source: Authors' calculations (2026)

4. Concluding remarks

An analysis of government expenditure allocation during the election periods in Albania reveals the opportunistic propensities obviously amongst the incumbent governments, even though a direct causal relationship cannot be statistically proven. The empirical data demonstrate the dominance of current expenditure compare to the capital expenditure in the country across the electoral and non-electoral periods. The shifts related to the composition of government spending across categories during election periods provide the relevant justifications to infer the occurrence of opportunistic tendencies amongst the incumbent governments, notwithstanding the statistical evidence regarding to the political budget cycles in Albania. Furthermore, the variations into the growth ratios of government expenditure during electoral years highlighting the preferential fiscal allocations aligned with the electoral interests of incumbent governments.

References

Afonso, A., Alves, J. & Leal, F. S. (2026). Exploring Political Budget Cycles in the EU-27. CESifo Working Papers. ISSN 2364-1428 (digital). January 2026.

Brender, A., Drazen, A. (2005). Political budget cycles in new versus established democracies. Journal of Monetary Economics 52 (2005) 1271–1295.

Brender, A., Drazen, A. (2013). Elections, leaders, and the composition of government spending. Journal of Public Economics 97 (2013) 18–31. http://dx.doi.org/10.1016/j.jpubeco.2012.08.011

Coulombe, R. G. (2021). The Electoral Origin of Government Spending Shocks, Journal of Economic Dynamics & Control (2021). https://doi.org/10.1016/j.jedc.2021.104167

Ivanovic, V., Lami, E., Imami, D. (2023). Political Budget Cycles in Early Versus Regular Elections: The Case of Serbia. Comparative Economic Studies. https://doi.org/10.1057/s41294-023-00210-0

Katsimi, M., Sarantides, V. (2012). Do elections affect the composition of fiscal policy in developed, established democracies? Public Choice (2012) 151:325–362. https://doi10.1007/s11127-010-9749-8

Lami, E. (2023). Political Budget Cycles in the Context of a Transition Economy: The Case of Albania. Comparative Economic Studies (2023) 65:221–262. https://doi.org/10.1057/s41294-022-00191-6

Shi, M., Svensson, J. (2006). Political budget cycles: Do they differ across countries and why? Journal of Public Economics 90 (2006) 1367– 1389.

Vergne, C. (2009). Democracy, elections and allocation of public expenditures in developing countries. European Journal of Political Economy 25 (2009) 63–77. https://doi:10.1016/j.ejpoleco.2008.09.003

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ENTRY FILTERS OR PRICE DISCOVERY? EVIDENCE FROM INDIA'S SME IPO REFORM

Prof. Amit Kumar Singh
Department of Commerce, Faculty of Commerce and Business, Delhi School of Economics, University of Delhi
ORCID: 0000-0002-8095-7237

Mr. Mukesh Kumar
Department of Commerce, Faculty of Commerce and Business, Delhi School of Economics, University of Delhi
ORCID: 0009-0006-3042-309X

Mr. Utkarsh Kumar Singh
Hindu College, University of Delhi

Abstract
Do quality-based entry filters improve offer-price accuracy on growth markets, or do they merely change which firms list? We exploit SEBI's March 2025 amendments to the ICDR Regulations, which required SME issuers to report operating profit of at least ₹1 crore in two of the three preceding financial years, capped the offer-for-sale component at 20% of issue size, restricted general-corporate-purposes allocation, and imposed phased promoter lock-in, while leaving mainboard issuers unaffected. Focusing on engineering, capital goods, and industrial manufacturing, we construct a sector-matched sample of 214 SME IPOs listed on BSE SME and NSE Emerge and 103 comparable mainboard IPOs between January 2022 and August 2026, and estimate difference-in-differences specifications with issuer and month fixed effects. Relative underpricing falls by 11.4 percentage points after the reform. At the same time, the cross-sectional standard deviation of initial returns contracts from 46.2% to 27.8%, a proportionally larger decline consistent with truncating the lower tail of issue quality rather than repricing the representative issue. Decomposing the treatment effect, 62% is attributable to issuer selection and 38% to improved price discovery, indicating that the reform operated principally through gatekeeping. Retail and non-institutional subscription multiples fall by 41% and 35% respectively, while qualified-institutional subscription is statistically unchanged, and 90-day buy-and-hold abnormal returns improve by 6.8 percentage points. Findings survive entropy balancing on issue size and vintage, placebo cutoffs, and pre-trend tests. The evidence informs a contemporaneous divergence in growth-market regulation, as India raised admission standards while the EU Listing Act and reformed AIM Rules lowered them.
Keywords: SME IPOs; Underpricing; Entry Regulation; Growth Markets
JEL: G14, G18, G24

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ADAPTING ECONOMIC THEORY TO THE NEW REALITIES OF THE DIGITAL ECONOMY

Assoc. Prof. Irina BALINA
Academy of Economic Studies of Moldova (ASEM), Faculty of economics and law, Department of Economic Theory and Policy
ORCID: 0009-0004-9327-797X

Abstract
The paper addresses the relevance of adapting new directions in the digitalization of the economy within the process of training contemporary specialists with competencies relevant to the IT sector and the modern business environment. The main aspects of the impact of the digital economy on platform-based business models, the use of artificial intelligence, automation and robotization, the effective application of cloud technologies and Big Data technologies, as well as the Internet of Things (IoT), are identified. The expansion of competencies required to perform professional tasks and the integration of modern competencies and skills into the Curriculum of the course "Economic Theory" are analyzed. Recommendations are formulated regarding their implementation in the educational process of higher education.
Keywords: economic theory, digital economy, artificial intelligence, educational technologies, teaching competencies in economic disciplines.

INTRODUCTION

The relevance of adapting economic theory to the new realities of the digital economy is determined by the profound structural changes taking place in the modern economy under the influence of digitalization, the development of artificial intelligence, platform-based business models, Big Data, and automation. Traditional economic categories and approaches require reconsideration in light of new forms of production and employment organization, market transformation, the changing role of information and knowledge, and the emergence of digital platforms and network effects.

Today, the digital economy makes it possible to transform the mechanisms of demand and supply formation, pricing, competition, and resource allocation, while also creating new economic relations and forms of interaction between the state, businesses, and consumers. Under these conditions, updating the content of economic theory becomes a necessary prerequisite for adequately explaining contemporary economic processes and developing students' competencies that meet the requirements of the digital economy.

1. THE IMPACT OF THE DIGITAL ECONOMY ON THE BUSINESS MODELS OF IT COMPANIES

The digital economy has a significant impact on the business models of IT companies, transforming their activities and creating new opportunities for growth and development. The following key aspects of this impact can be identified:

1. **Platform-based business models.**
2. **Automation and robotization.**
3. **Big Data.**
4. **Cloud technologies.**
5. **Internet of Things (IoT).**
6. **Flexibility and scalability.**
7. **Digital ecosystem.**

8. **Lower barriers to market entry.**

The digital economy promotes the development of platform-based business models, in which companies create and maintain digital platforms for interaction among market participants. For example, companies such as Uber and Airbnb use platforms to connect service providers with customers, fundamentally changing their business models compared with traditional companies.

The implementation of artificial intelligence, machine learning, and business process automation technologies enables IT companies to significantly reduce costs and increase efficiency. This results in changes in cost structures and the emergence of new sources of revenue [1].

Big Data analysis enables companies to better understand their customers, optimize pricing, and personalize their offerings. This can lead to the creation of new products and services, as well as changes in existing business models.

The transition to cloud services provides flexibility and scalability of IT services. This enables companies to rapidly adapt to market changes and offer new services without significant capital expenditures on infrastructure.

The implementation of IoT technologies enables the creation of new business models based on the monitoring and management of physical assets. For example, smart devices can provide data for optimizing production processes or improving customer experience [2].

The digital economy enables IT companies to rapidly scale their services and products while adapting to changing market conditions. This contributes to the emergence of new business models, such as freemium, subscription-based, and pay-per-use models [3].

The creation of ecosystems involving partners, suppliers, and customers enables IT companies to offer integrated solutions and services. This strengthens their market position and creates additional sources of revenue through cross-selling and partnership programs.

The digital economy lowers barriers to market entry, leading to increased competition. As a result, companies are compelled to seek new ways of differentiation and value creation for customers [4].

Thus, the digital economy provides IT companies with numerous opportunities for innovation and transformation of their business models, requiring flexibility, adaptability, and a continuous search for new solutions.

2. EXPANDING PROFESSIONAL COMPETENCIES AT THE INTERSECTION OF IT AND BUSINESS

In higher education, students in virtually all fields, particularly those specializing in Information Technologies, Applied Informatics, Cybersecurity, and other related areas, can and should expand their knowledge of economic theory and acquire practical skills so that, during their studies and upon graduation, they are able to effectively address professional tasks at the intersection of IT and business [5].

Approximately seven new key areas and skills can be identified and briefly characterized, which are clearly relevant for inclusion in the competencies of both economics and IT-related specializations within Analytical Programs (Curricula).

The following modern skills and competencies can be incorporated into the Curriculum of the course “Economic Theory”:

1. Application of economic methods for analyzing information flows and assessing the efficiency of IT projects. Students should be able to use microeconomic and macroeconomic analysis tools (e.g., marginal cost and benefit assessment and market structure analysis) to justify investments in information systems, assess payback periods, and compare alternative solutions.

2. Understanding the mechanisms of economic digitalization and the impact of IT on market structures. It is important to study how information technologies transform the competitive environment, contribute to the emergence of new markets (e.g., the Big Data market and the Internet of Things market), or transform traditional industries. This helps adapt IT strategies to current trends.

3. Analysis of the economic aspects of implementing and using information systems. Within this competency, students learn to assess not only the technical feasibility but also the economic viability of implementing IT solutions: calculating the total cost of ownership (TCO), analyzing risks related to data protection, and assessing the impact of automation on labor productivity and business processes [6].

4. Study of econometrics and methods of data analysis in economics. Skills in working with real-world data, constructing regression models, and forecasting economic indicators (GDP, inflation, demand) using statistical methods are becoming increasingly important. This enables informed management decisions based on data.

5. Understanding the role of the state in the economy and the mechanisms of economic policy. Knowledge of the objectives, instruments, and consequences of government economic policies (fiscal, monetary, and regulatory policies) helps IT specialists better understand the context in which their systems operate and adapt solutions to regulatory requirements.

6. Assessment of the impact of external factors (e.g., sanctions and digitalization) on the economy of enterprises and industries. Students should be able to analyze how changes in the technological environment, the emergence of new platforms, or global supply chains affect the competitiveness of companies and the structure of industries.

7. Development of skills in the technical and economic justification of project solutions. This includes the ability to collect and analyze initial data for calculating economic indicators, compare alternative solutions (e.g., purchasing off-the-shelf software versus developing proprietary software), and take risks and uncertainties into account.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

For the identified competencies to be effectively developed, the following recommendations should be taken into account in practice:

- Include elective courses in the curriculum (e.g., “Digital Economy,” “Big Data Analytics in Business,” and “Economic Aspects of Blockchain Technologies”).
- Organize project-based learning in which students analyze real-world cases (implementation of ERP systems, analysis of the fintech market, and assessment of the efficiency of digital platforms).
- Conduct master classes with representatives of IT companies and economic analytical agencies.
- Organize internships in organizations where students can apply the acquired knowledge in practice and observe the connection between theory and real-world business tasks.

Such an approach will help graduates not only to program but also to understand the economic objectives and risks underlying technical tasks, thereby enhancing their relevance as specialists in the labor market.

REFERENCES

1. *Entrepreneurship and Artificial Intelligence.* Kondrukh A.V. 7(141), **UNIVERSUM: Economics and Law**, July 2026. **Artificial Intelligence in Economics and Management**, 01.07.2026. UDC 334.72:004.8.

2. *An Overview of Enterprise Pricing Models.* Blog: **Billing & Monetization**. [Electronic resource]. Available at: https://billingplatform.com/blog/enterprise-pricing-models (14.09.2026).

3. *IoT: What the Internet of Things Is and How It Transforms Business. A Complete Guide to IoT Technology for Business* [2026]. [Electronic document]. Available at: https://surf.ru/iot-internet-veshchej/?ysclid=mu45ddzxl2740117917 (10.09.2026).

4. *Types of App Subscription Models (Freemium, Premium, etc.).* [Electronic resource]. Available at: https://www.geeksforgeeks.org/techtips/types-of-app-subscription-models/?ysclid=mu44yeduut149728788 (10.09.2026).

5. *Economic Theory. TUSUR File Archive. StudFiles.* Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. [Electronic document]. Available at: https://studfile.net/tusur/ekt/; https://chspu.ru/sveden/files/vii/OP_VO_09.03.03_Prikladnaya_informatika_v_ekonomike%281%29.pdf; https://fdo.tusur.ru/directions/prikladnaia-informatika-prikladnaia-informatika-v-ekonomike (16.09.2026).

6. Balikoev, V. Z. *General Economic Theory: Textbook.* INFRA-M, 17th ed. Higher Education, 2026, 532 p. ISBN 9785160212807.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

A BIBLIOMETRIC MAPPING OF STOCK MARKET RESEARCH ON INDIA AND SOUTH AFRICA

Lovleen Gupta
Hindu college, Department of commerce, University of Delhi

Sweta Kumari
Department of African Studies, University of Delhi

Abstract
The objective of this study is to explore the knowledge structure and research patterns in stock market literature related to India and South Africa. Using bibliometric techniques, the study analyzes publications retrieved from the Scopus database to identify key research topics, collaboration patterns, and the intellectual structure of the field. Bibliometric network visualization tools such as VOSviewer are employed to examine keyword relationships,. country-Identify the major research topics and frequently occurring keywords in stock market literature related to India and South Africa through keyword co-occurrence analysis. Examine international research collaboration patterns through country co-authorship network analysis. Explore the intellectual structure of the literature by identifying influential authors and documents using co-citation analysis. Identify emerging research streams and relationships among recent studies through bibliographic coupling analysis. This study uses the Scopus database serving as the primary source of bibliographic information. A systematic keyword search approach was employed using the Boolean search string ("stock market" OR "capital market" OR "financial market") AND ("India or South Africa"). The search was limited to the publication period from 2010 to 31st December 2025.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

TRENDS AND FUTURE DIRECTIONS IN KNOWLEDGE MANAGEMENT: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Assistant Professor Aditya Vikram
Department of Commerce, Rajdhani College, University of Delhi

Mr. Utkarsh Kumar Singh
Department of Economics, Hindu College, University of Delhi

Abstract
Knowledge management (KM) has emerged as a critical discipline for organizations seeking to leverage their intellectual assets to sustain competitive advantage in increasingly dynamic and knowledge-intensive environments. Despite the field's rapid growth, a comprehensive understanding of its intellectual structure, thematic evolution, and future trajectory remains fragmented across disparate studies. This research addresses this gap through a systematic bibliometric analysis of the knowledge management literature, drawing on publications indexed in [database, e.g., Scopus/Web of Science] over the period [insert years]. Using techniques such as citation analysis, co-citation mapping, keyword co-occurrence analysis, and bibliographic coupling, the study identifies the most influential authors, journals, institutions, and countries contributing to KM scholarship, alongside the dominant and emerging research themes shaping the field. The analysis traces the discipline's conceptual evolution from its early roots in organizational learning and intellectual capital toward contemporary intersections with digital transformation, artificial intelligence, big data analytics, and sustainability. Findings reveal the increasingly interdisciplinary character of KM research, spanning management, information science, computer science, and organizational behavior, while also highlighting underexplored areas warranting further investigation. The study further maps clusters of thematic focus, revealing shifts from process-oriented KM frameworks toward technology-enabled and knowledge-sharing ecosystems. By synthesizing these patterns, this paper offers a structured overview of the field's development and proposes future research directions that address emerging challenges in knowledge creation, transfer, and application. The findings provide actionable insights for researchers seeking to position their work within the evolving KM landscape, and for practitioners and policymakers aiming to design more effective knowledge strategies.
Keywords: Knowledge Management; Bibliometric Analysis; Citation Mapping; Research Trends; Intellectual Capital

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON AUDIT QUALITY: AN APPLIED STUDY ON THE GENERAL COURT OF AUDIT IN KSA

Associate Professor Dr. Wahiba Henniche
KKU- KSA

Chahd Algahtane
KKU-KSA

ABSTRACT

Objectives: The digital transformation of government audit institutions has increased the need to modernise audit practices. However, empirical evidence on the use of artificial intelligence (AI) in public-sector auditing remains limited, particularly in the Saudi context. This study investigates the relationship between AI adoption, auditor training and qualification, and audit quality at the General Court of Audit in Saudi Arabia.

Methods: Drawing primarily on Agency Theory, with additional support from the Technology Acceptance Model, Institutional Theory, and Diffusion of Innovation Theory, the study adopted a descriptive-analytical design. Data were collected through a questionnaire administered to employees of the General Court of Audit, resulting in 179 valid responses. The data were analysed using SPSS. Exploratory and confirmatory factor analyses were conducted to assess the measurement instrument, followed by simple linear regression to test the two hypotheses.

Results: The findings show a statistically significant positive relationship between AI adoption and audit quality ($\beta = 0.752$, $p < .001$), with AI adoption explaining 56.2% of the variance in audit quality (adjusted $R^2 = 0.562$). Auditor training and qualification also demonstrated a statistically significant positive relationship with audit quality ($\beta = 0.776$, $p < .001$), explaining 60.1% of its variance (adjusted $R^2 = 0.601$).

Conclusions: The study adds empirical evidence from a Saudi government audit institution to the emerging literature on AI in public-sector auditing. The findings also underscore the role of auditor training and qualification, alongside appropriate technical infrastructure and governance arrangements, in facilitating the responsible use of AI in government audit practice.

Keywords: Artificial Intelligence; Audit Quality; Government Auditing; General Court of Audit; Training and Qualification; Agency Theory

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF FINANCIAL LITERACY AMONG YOUNG ADULTS AND MILLENNIALS

Prof. Sandeep Kumar Goel
Department of Commerce, Acharya Narendra Dev College, University of Delhi

Assistant Professor Mr. Amit Kumar Paswan
Department of Commerce, Hindu College, University of Delhi

Abstract

Notwithstanding the increasing body of work on financial literacy, evidence concerning young adults and millennials remains fragmented, and the contribution of Indian scholarship has received limited bibliometric attention. This study synthesises 442 Scopus-indexed publications published between 1998 and 2026 employing an integrated methodology synthesising bibliometric analysis, systematic literature review, and qualitative content analysis. The findings reveal publication trends, influential contributors, collaboration patterns, and the intellectual structure of the field. Four major thematic clusters are identified: (i) financial literacy, financial education, and financial capability; (ii) financial behaviour, financial knowledge, and financial attitude; (iii) financial socialisation, financial well-being, and gender; and (iv) young adults, financial behaviours, and well-being. Trend-topic analysis indicates an increasing emphasis on behavioural and well-being perspectives. By providing the first comprehensive bibliometric synthesis focused on young adults and millennials while critically positioning India's contribution within global scholarship, this study offers valuable directions for future research, policy, and financial education.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EARNINGS MANAGEMENT, FIRM FINANCIAL PERFORMANCE AND CORPORATE GOVERNANCE: A REVIEW OF EVIDENCE FROM INDIAN LISTED COMPANIES

Assistant Professor Anil Kumar
Shri Ram College of Commerce

Abstract
This review examines the empirical literature on the relationship between earnings management and firm financial performance among Indian listed companies, with a focus on the moderating effect of corporate governance. The studies published between 2015 and 2026 are analysed within three thematic areas: how earnings management is measured in the Indian context; the relationship between earnings management and performance; and the role of corporate governance as a moderator of that relationship. Three main patterns come to light. Firstly, earnings management is widespread among Indian listed companies, and both accrual-based and real earnings management have been identified, with recent evidence indicating a shift from accruals to real activities after the introduction of Ind-AS. Secondly, the relationship between earnings management and performance depends on the performance measure used: when accounting-based measures are employed, there is a positive association which is at least in part mechanical since both the reported performance and the manipulation proxy are derived from the same earnings figure, whereas market-based measures show weaker, more complicated and often negative effects. Thirdly, corporate governance acts to restrict earnings management, with board independence, the effectiveness of the audit committee and auditor quality appearing to be the most consistent restraints, although its role as a moderator in the relationship between earnings management and performance is much less well established and seems to differ according to the governance mechanism, the institutional context and the performance measure. The review points out four areas that need further investigation: the inadequate attention given to real earnings management in comparison with accruals; the mechanical bias present in accounting-based performance measures; the failure to distinguish between the adoption of governance and substantive monitoring; and the lack of quasi-experimental studies that make use of India's sequence of governance reforms. It also suggests directions for future research, such as using a dual-measurement approach to earnings management, employing both accounting and market performance measures simultaneously, breaking down governance into its substantive and structural components, and using reform-induced variation for identification.
Keywords: earnings management; discretionary accruals; real earnings management; firm financial performance; corporate governance; moderation; India; review

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ASSESSING THE QUALITY OF MATERIALITY ASSESSMENT DISCLOSURES IN SUSTAINABILITY REPORTS OF SEAPORT TERMINAL OPERATORS

Abdul Latif Hungoro
University of Siena

Abstract
Environmental, social and governance (ESG) are important pillars to address societal grand challenges globally and locally. There is notable shortcoming on the materiality assessment in the existing literature. To settle this debate, this research conducted a comprehensive content analysis on sustainability reports published by 10 Seaport terminal operators located in the Abu Dhabi, Australia, China, Hong Kong, India, Jordan, Philippines Switzerland, Taiwan and United Arab Emirates. The secondary data was used from 2018 to 2020 through data analysis on MAXQDA qualitative software. I considered 25 global reporting initiative (GRI) indicators and their impact of disclosure published by the seaports. Significantly, the results revealed 20% of seaports are disclosing extensive disclosure on materiality assessment process aligned with GRI requirements. While, 70% of seaports limited with 10% with non-disclosure. Importantly, this review indicates that social disclosure has highest coverage in the sustainability reports of ports. Theoretically, this review extends the understanding on materiality assessment as this debate is important to reduce the environmental, social and governance problems. Practically, the findings suggest to seaports that they publish more balanced and transparent sustainability reports as to meet the demands of sustainable development goals by United Nations. These findings will assist GRI to issue sector supplements for Seaports to increase standardization. Significantly, this review is more relevant with conference theme as to considering ESG and its reporting as central to Sustainable future.
Keywords: Materiality assessment, Sustainability reporting, Global Reporting Initiative, Seaports

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ENHANCING URBAN PHOTOVOLTAIC ENERGY RESILIENCE THROUGH AN AUTONOMOUS DUAL-AXIS SOLAR TRACKING SYSTEM: DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION UNDER CLIMATE CHANGE-INDUCED POWER OUTAGES

Ahlem CHEBEL
Mechanical Engineering and Materials Laboratory-Skikda University

Abstract
The increasing occurrence of climate change-induced extreme weather events has led to more frequent power outages, highlighting the need for resilient urban photovoltaic (PV) systems. This study presents the development and experimental evaluation of an autonomous dual-axis solar tracking system designed to maximize PV energy production while maintaining operation during grid failures. The proposed tracker is powered directly by the photovoltaic system and continuously adjusts the panel orientation in both azimuth and elevation, ensuring optimal solar energy capture without relying on the electrical grid.
Experimental tests under real operating conditions compared the proposed system with a conventional fixed-tilt PV installation. Performance was evaluated in terms of energy yield, tracking accuracy, operational reliability, and energy availability during power outages. Results show that the autonomous dual-axis tracker significantly improves daily photovoltaic energy production while enhancing the resilience of urban PV systems by ensuring continuous operation during climate-related grid disruptions. The proposed solution offers an effective approach to improving urban energy security and supporting sustainable, climate-resilient cities.
Keyword: Autonomous dual-axis solar tracker; Photovoltaic systems; Urban energy resilience; Climate change; Power outages; Solar energy optimization

EFFECT OF WELLBORE VOLUME ON THE DEVELOPMENT PERFORMANCE OF A DEEP-LYING GASCONDENSATE RESERVOIR

Sonakhanim SALİMOVA
Institute of Geology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
ORCID: 0009-0002-0092-0408

Bunyad KAZYMOV
Institute of Geology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
ORCID: 0000-0001-6242-2725

ABSTRACT
The development of deep-lying hydrocarbon fields requires a more detailed study of the relevant hydrodynamic problems in order to determine the impact of various geological and physico-technological factors and characteristics on theirs development indicators. One of these factors can be considered as necessary factors affecting of the wellbore volume and the consideration of nonlinear elastic deformation of the formation rocks. In this context, the study investigates a hydrodynamic problem aimed at analyzing the effect of wellbore volume on the development indicators of a deep-lying gas-condensate field characterized by non-linear elastic rock deformation. Based on the solution to this problem for the adopted field model, an analysis was conducted regarding the temporal and spatial variations of key natural and operational parameters associated with the development of a deep- lying gas-condensate field, specifically under conditions of unsteady-state axisymmetric radial inflow of the gas-condensate mixture to the well. By employing integro-interpolation approximation for the governing differential equations describing the inflow of the gas-condensate mixture and standard approximation for the equations of state of the porous medium (accounting for non-linear elastic reservoir deformation), as well as by discretizing the corresponding initial and boundary conditions for determining reservoir pressure, condensate saturation, porosity, and permeability, a system of linear algebraic equations with a tridiagonal matrix was derived; the sweep method was used to solve this system. The use of the developed numerical scheme in analyzing the development of deep-lying gas-condensate field will enable the selection of the most suitable technological parameters for their efficient exploitation.
Keywords: Deep-lying gas condensate field, wellbore volume effect, binary model, technological indicators.

INTRODUCTION
One of the primary challenges in developing deep-lying hydrocarbon reservoirs is the comprehensive analysis of hydrocarbon flow processes from the formation to the well and within the wellbore itself while accounting for various geological, physical, and technological factors [1–5]. Indeed, the efficiency of developing these reservoirs is determined primarily by the completeness of the information obtained regarding the state of the “well-reservoir” system. It is known that the structural and hydraulic characteristics of the wellbore have a significant influence on well flow rates.
Consequently, significant discrepancies can arise between the calculated flow rate determined based on surface conditions and the actual flow rate at the bottom of the well. Failure to account for this factor creates major challenges in ensuring and managing the integrated operation of the “well-reservoir” system. The fluids filling the wellbore exhibit specific compressibility characteristics for each phase; this is recognized as a primary reason for the divergence between calculated and actual flow rates.

In technical literature, this phenomenon is referred to as the wellbore volume effect, and its numerical value is designated as the wellbore volume effect coefficient. Incorporating this factor into hydro-gas-dynamic calculations is crucial for the effective management of well operations, particularly in the case of deep- lying gas-condensate reservoirs. Given the considerable depth of such wells, accurately estimating bottom-hole pressure while accounting for the effect of the wellbore volume when determining wellhead flow rates is a matter of significant technological importance for ensuring efficient operation [5-8]. In this context, the present study addresses the determination of natural and technological indicators for gas-condensate field development during the operation of deep gas-condensate wells, specifically taking into account the effect of wellbore volume.

PROBLEM STATEMENT AND SOLUTION

It is assumed that the gas-condensate reservoir is produced by a single well with a volumetric condensate flow rate q. The reservoir is considered bounded, isotropic, and heterogeneous in terms of its filtration and storage properties; the inflow of the gas-condensate mixture to the well is assumed to be isothermal, unsteady, and axisymmetrically radial. The objective is to determine the natural and technological parameters of the gas-condensate reservoir development within the spatiotemporal domain $\{(r,t): r \in [r_w, r_k],\ 0 \le t < \infty\}$ (where r_w is the well radius and r_k is the reservoir radius), accounting for the effect of the wellbore volume.

The hydrodynamic model of the gas-condensate mixture flow in the reservoir is described by the following system of differential equations governing the inflow of the mixture to the well formulated for each phase (gas and condensate) along with equations of state for the porous medium accounting for non-linear elastic reservoir deformation [2,3,5], and the corresponding initial and boundary conditions [4,9,10]:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\left(\frac{k(p)F_g(\rho_k)p\beta c(p)}{\mu_g(p)z(p)p_{atm}}+\frac{k(p)F_k(\rho_k)}{\mu_k(p)a_k(p)}\right)r\frac{\partial p}{\partial r}\right)=\frac{\partial}{\partial t}\left(m\left(\frac{(1-\rho_k)p\beta c(p)}{z(p)p_{atm}}+\frac{\rho_k}{a_k(p)}\right)\right)$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\left(\frac{k(p)F_g(\rho_k)p\beta(1-c(p)\bar{\gamma}(p))}{\mu_g(p)z(p)p_{atm}}+\frac{k(p)F_k(\rho_k)S_k(p)}{\mu_k(p)a_k(p)}\right)r\frac{\partial p}{\partial r}\right)= \quad (1)$$

$$=\frac{\partial}{\partial t}\left(m\left(\frac{(1-\rho_k)p\beta(1-c(p)\bar{\gamma}(p))}{z(p)p_{atm}}+\rho_k\frac{S_k(p)}{a_k(p)}\right)\right)$$

$$m=m_0e^{\beta_r(p-p_0)},\ k=k_0e^{\alpha_k(p-p_0)},\ r_w<r<r_k,\ t>0 \quad (2)$$

$$p(r,0)=p_0,\rho_k(r,0)=0,r_w<r<r_k \quad (3)$$

$$\left\{\left[2\pi rh\left(\frac{k(p)F_g(\rho_k)p\beta c(p)}{\mu_g(p)z(p)p_{atm}}+\frac{k(p)F_k(\rho_k)}{\mu_k(p)a_k(p)}\right)\right]\frac{\partial p}{\partial r}-C\frac{\partial p}{\partial t}\right\}\Bigg|_{r=r_w}=q(t) \quad (4)$$

$$\left.\frac{\partial p}{\partial r}\right|_{r=r_k}=0,\quad t>0. \quad (5)$$

Here, $p=p(r,t)$ denotes the current reservoir pressure; ρ_k, k and m denote the current condensate saturation, reservoir permeability, and porosity, respectively; p_0, k_0 and m_0 denote the initial values of reservoir pressure, permeability, and porosity, respectively; $F_k(\rho_k)$ and $F_g(\rho_k)$ denote the relative phase permeabilities of the reservoir to condensate and gas, respectively; $\mu_k(p)$ and $\mu_g(p)$ denote the viscosities of condensate and gas, respectively;

$a_k(p)$ denotes the condensate volume factor; $S_k(p)$ denotes the amount of gas dissolved in the liquid phase; $c(p)$ denotes the amount of condensate in the gas phase; $\bar{\gamma}(p)$ denotes the ratio of the densities of condensate in the liquid and gas phases under standard conditions; β_r denotes the rock compressibility coefficient of the reservoir; α_k denotes a constant coefficient expressing the rate of permeability reduction as a function of pressure change; h denotes the reservoir thickness; β is the temperature correction factor for gas; C is the wellbore volume effect coefficient; p_{atm} denotes atmospheric pressure.

Here, the parameter C representing the wellbore effect coefficientis estimated based on hydrodynamic principles that account for the two-phase flow of the gas-condensate mixture within the wellbore. In determining the numerical value of this parameter, the compressibility factor of either the gas phase or the condensate phase or the compressibility factors of both are taken into account. The choice of which approach to use is typically determined by the quantitative phase composition of the gas-condensate mixture under reservoir conditions. Generally, for the purpose of these estimations, the parameter C is treated as a fixed numerical value that incorporates the aforementioned factors. In practical calculations, the value of this parameter is typically selected within the range of $(0,1-1)\cdot 10^{-5}$ m³/Pa. Notably, for deep gas-condensate wells with a closed wellhead, the value of this parameter can even exceed $1\cdot 10^{-5}$ m³/Pa. Since the optimal approach during the operation of deep gas-condensate wells involves selecting the lowest possible wellhead pressure values depending on the bottom-hole pressure it is reasonable to select the value of C for these wells based on the specified intervals.

In the general case, the wellbore volume factor is determined as follows when the compressibility factors of both the gas and condensate phases are taken into account simultaneously:

$$C = V_{gl}c^* = V_{gl}(\rho_{kw}c_l + (1-\rho_{kw})c_g)\,.$$

Here, V_{gl} is the total volume of the gas and liquid phases in the wellbore (in the general case of a depletion regime, it can be assumed equal to the total volume of the wellbore V_{wb}, i.e. can be assumed $V_{gl} = V_{wb}$, where $V_{wb} = \pi r_w^2 L$, where L is the well depth); c^* is the effective compressibility coefficient of the gas-condensate mixture along the wellbore: $c^* = (\rho_{kw}c_l + (1-\rho_{kw})c_g)$; ρ_{kw} is the value of condensate saturation at the bottom-hole; c_l and c_g are the compressibility factors of the liquid and gas phases, respectively:

$$c_l = \frac{1}{a_k(p_w)}\left(\frac{da_k(p)}{dp}\right)_{r=r_w};\ c_g = \frac{1}{p_w} - \left(\frac{1}{z}\frac{dz}{dp}\right)_{r=r_w}.$$

Here, p_w is bottom-hole pressure.

The problem defined by equations (1)–(6) was solved using a numerical method - the method of finite-difference equations [5,11]. First, to restrict the integration domain of the original differential equations and to derive finite-difference analogues of the initial and spatial boundary conditions with respect to the spatial variable r the substitution $\xi = ln\frac{r}{r_w}$ was introduced. This substitution transformed the original integration domain into the domain $\{0 \le \xi \le \xi_k,\ t \ge 0\}$ (where $\xi_k = ln\frac{r_k}{r_w}$). Within this domain, the following grid domain was defined:

$$\{(\xi_i, t_j): \xi_i = i\Delta\xi;\quad t_j = j\tau;\quad i = 0,1,2,\dots,N;\ j = 0,1,2,\dots\},$$

where $\Delta\xi$ and τ are the discretization steps of the computational domain with respect to the variables ξ and t, respectively; N is the number of grid intervals with respect to the variable ξ [5,10,11].

$$p_{i-1}^{j+1,\nu} = A_{i-1}^{j+1,\nu} p_i^{j+1,\nu} + C_{i-1}^{j+1,\nu}, \quad i = N-1,...,1, \quad j = 0,1,2,..., \quad \nu = 1,2,... \tag{6}$$

$$A_i^{j+1,\nu} = \frac{K_{1i}^{j+1,\nu}}{K_{1i}^{j+1,\nu} + K_{2i}^{j+1,\nu}(1 - A_{i-1}^{j+1,\nu}) + \Phi_{1i}^j - \Phi_{0i}^j \Phi_{2i}^j};$$

$$C_i^{j+1,\nu} = \frac{K_{2i}^{j+1,\nu} C_{i-1}^{j+1,\nu} + p_i^j (\Phi_{1i}^j - \Phi_{0i}^j \Phi_{2i}^j) - (m_i^{j+1} - m_i^j) \cdot (\Phi_{3i}^j - \Phi_0^j \Phi_{4i}^j)}{K_{1i}^{j+1,\nu} + K_{2i}^{j+1,\nu}(1 - A_{i-1}^{j+1,\nu}) + \Phi_{1i}^j - \Phi_0^j \Phi_{2i}^j};$$

$$i = 1,2,..,N-1 \tag{7}$$

$$m_i^{j+1} = m_0 e^{\beta_r (p_i^{j+1,\nu-1} - p_0)} \tag{8}$$

$$\rho_{ki}^{j+1} = \rho_{ki}^j - \frac{\Psi_{2i}^j}{\Phi_{5i}^j} - \frac{\Phi_{2i}^j \Psi_{3i}^j}{\Phi_{5i}^j (\Phi_{1i}^j - \Phi_{0i}^j \Phi_{2i}^j)} - \frac{\Phi_{4i}^j}{\Phi_{5i}^j}(m_i^{j+1} - m_i^j) \tag{9}$$

where

$$A_0^{j+1,\nu} = \frac{1}{1 + \frac{C_0^{*j+1,\nu-1}\Delta\xi}{\tau\left(F_{2g0}^{j+1,\nu-1} + F_{2k0}^{j+1,\nu-1}\right)}};$$

$$C_0^{j+1,\nu} = \frac{C_0^{*j+1,\nu-1}\,\Delta\xi p_0^j}{\tau\left(F_{2g0}^{j+1,\nu-1} + F_{2k0}^{j+1,\nu-1}\right)\left(1 + \frac{C_0^{*j+1,\nu-1}\Delta\xi}{\tau\left(F_{2g0}^{j+1,\nu-1} + F_{2k0}^{j+1,\nu-1}\right)}\right)} -$$

$$- \frac{q^{*j+1}\Delta\xi}{\left(1 + \frac{C_0^{*j+1,\nu-1}\Delta\xi}{\tau\left(F_{2g0}^{j+1,\nu-1} + F_{2k0}^{j+1,\nu-1}\right)}\right)\left(F_{2g0}^{j+1,\nu-1} + F_{2k0}^{j+1,\nu-1}\right)};$$

$$p_N^{j+1,\nu-1} = p_{N-1}^{j+1,\nu-1}; \quad p_{N-1}^{j+1,\nu-1} = \frac{C_{N-1}^{j+1,\nu}}{1 - A_{N-1}^{j+1,\nu}};$$

$$p_i^{j+1,0} = p_i^j; \quad \rho_{ki}^{j+1,0} = \rho_{ki}^j; \quad p_i^0 = p_0; \quad m_i^0 = m_0; \quad \rho_{ki}^0 = 0;$$

$$K_{1i}^{j+1,\nu} = \frac{e^{-2\xi_i}\tau}{(\Delta\xi)^2 r_w^2}\left(F_{1gi+1/2}^{j+1,\nu-1} + F_{1ki+1/2}^{j+1,\nu-1}\right) + \frac{e^{-2\xi_i}\tau}{(\Delta\xi)^2 r_w^2}\Phi_0^j\left(F_{2gi+1/2}^{j+1,\nu-1} + F_{2ki+1/2}^{j+1,\nu-1}\right);$$

$$K_{2i}^{j+1,\nu} = \frac{e^{-2\xi_i}\tau}{(\Delta\xi)^2 r_w^2}\left(F_{1gi-1/2}^{j+1,\nu-1} + F_{1ki-1/2}^{j+1,\nu-1}\right) + \frac{e^{-2\xi_i}\tau}{(\Delta\xi)^2 r_w^2}\Phi_0^j\left(F_{2gi-1/2}^{j+1,\nu-1} + F_{2ki-1/2}^{j+1,\nu-1}\right);$$

$$\Phi_{0i}^j = \frac{\frac{S_k(p_i^j)}{a_k(p_i^j)} - \frac{p_i^j \beta(1 - c(p_i^j)\bar{\gamma}(p_i^j))}{z(p_i^j)\cdot p_{atm}}}{\frac{1}{a_k(p_i^j)} - \frac{p_i^j \beta c(p_i^j)}{z(p_i^j)\cdot p_{atm}}};$$

$$\Phi_{1i}^j = \frac{m_i^j(1-\rho_{ki}^j)}{z^2(p_i^j)p_{atm}}\left[\beta z(p_i^j)(1 - c(p_i^j)\bar{\gamma}(p_i^j)) - p_i^j(c'(p_i^j)\bar{\gamma}(p_i^j) + c(p_i^j)\left[\bar{\gamma}(p_i^j)\right]')\right] +$$

$$+ \frac{S_k'(p_i^j)a_k(p_i^j) - S_k(p_i^j)a_k'(p_i^j)}{a_k^2(p_i^j)} m_i^j \rho_{ki}^j;$$

$$\Phi_{2i}^{j}=\frac{m_i^j(1-\rho_{ki}^j)}{z^2(p_i^j)p_{atm}}\Big[\beta z(p_i^j)(c(p_i^j)+p_i^j c'(p_i^j))-\beta p_i^j z_k'(p_i^j)\Big]-\frac{a_k'(p_i^j)}{a_k^2(p_i^j)}m_i^j\rho_{ki}^j;$$

$$\Phi_{3i}^{j}=\frac{\beta p_i^j(1-c(p_i^j)\bar{\gamma}(p_i^j))(1-\rho_{ki}^j)}{z(p_i^j)p_{atm}}+\frac{S_k(p_i^j)\rho_{ki}^j}{a_k(p_i^j)};$$

$$\Phi_{4i}^{j}=\frac{\beta p_i^j c(p_i^j)(1-\rho_{ki}^j)}{z(p_i^j)p_{atm}}+\frac{\rho_{ki}^j}{a_k(p_i^j)};\ \Phi_{5i}^{j}=\frac{m_i^j}{a_k(p_i^j)}-\frac{m_i^j p_i^j\beta c(p_i^j)}{z(p_i^j)p_{atm}};$$

$$\Psi_{1i}^{j}=\frac{e^{-2\xi_i}\tau}{(\Delta\xi)^2 r_w^2}\Big(F_{1gi+1/2}^{j}+F_{1ki+1/2}^{j}\Big)(p_{i+1}^j-p_i^j)-\frac{e^{-2\xi_i}\tau}{(\Delta\xi)^2 r_w^2}\Big(F_{1gi-1/2}^{j}+F_{1ki-1/2}^{j}\Big)(p_i^j-p_{i-1}^j);$$

$$\Psi_{2i}^{j}=\frac{e^{-2\xi_i}\tau}{(\Delta\xi)^2 r_w^2}\Big(F_{2gi+1/2}^{j}+F_{2ki+1/2}^{j}\Big)(p_{i+1}^j-p_i^j)-\frac{e^{-2\xi_i}\tau}{\tau(\Delta\xi)^2 r_w^2}\Big(F_{2gi-1/2}^{j}+F_{2ki-1/2}^{j}\Big)(p_i^j-p_{i-1}^j);$$

$$\Psi_{3i}^{j}=\Psi_{1i}^{j}-\Phi_{0i}^{j}\Psi_{2i}^{j}-(m_i^{j+1}-m_i^j)\cdot(\Phi_{3i}^{j}-\Phi_{0i}^{j}\Phi_{4i}^{j});$$

$$F_{1gi\pm1/2}^{j+1,\nu-1}=\frac{2F_{1gi}^{j+1,\nu-1}F_{1gi\pm1}^{j+1,\nu-1}}{F_{1gi}^{j+1,\nu-1}+F_{1gi\pm1}^{j+1,\nu-1}};\ F_{1ki\pm1/2}^{j+1,\nu-1}=\frac{2F_{1ki}^{j+1,\nu-1}F_{1ki\pm1}^{j+1,\nu-1}}{F_{1ki}^{j+1,\nu-1}+F_{1ki\pm1}^{j+1,\nu-1}};$$

$$F_{2gi\pm1/2}^{j+1,\nu-1}=\frac{2F_{2gi}^{j+1,\nu-1}F_{2gi\pm1}^{j+1,\nu-1}}{F_{2gi}^{j+1,\nu-1}+F_{2gi\pm1}^{j+1,\nu-1}};\ F_{2ki\pm1/2}^{j+1,\nu-1}=\frac{2F_{2ki}^{j+1,\nu-1}F_{2ki\pm1}^{j+1,\nu-1}}{F_{2ki}^{j+1,\nu-1}+F_{2ki\pm1}^{j+1,\nu-1}};$$

$$F_{1gi}^{j+1,\nu-1}=\frac{k(p_i^{j+1,\nu-1})F_g(\rho_{ki}^{j+1,\nu-1})p_i^{j+1,\nu-1}\beta(1-c(p_i^{j+1,\nu-1})\bar{\gamma}(p_i^{j+1,\nu-1}))}{\mu_g(p_i^{j+1,\nu-1})z(p_i^{j+1,\nu-1})p_{atm}};$$

$$F_{1ki}^{j+1,\nu-1}=\frac{k(p_i^{j+1,\nu-1})F_k(\rho_{ki}^{j+1,\nu-1})S_k(p_i^{j+1,\nu-1})}{\mu_k(p_i^{j+1,\nu-1})a_k(p_i^{j+1,\nu-1})};$$

$$F_{1gi\pm1}^{j+1,\nu-1}=\frac{k(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})F_g(\rho_{ki\pm1}^{j+1,\nu-1})p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1}\beta(1-c(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})\bar{\gamma}(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1}))}{\mu_g(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})z(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})p_{atm}};$$

$$F_{1ki\pm1}^{j+1,\nu-1}=\frac{k(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})F_k(\rho_{ki\pm1}^{j+1,\nu-1})S_k(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})}{\mu_k(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})a_k(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})};$$

$$F_{2gi}^{j+1,\nu-1}=\frac{k(p_i^{j+1,\nu-1})F_g(\rho_{ki}^{j+1,\nu-1})p_i^{j+1,\nu-1}\beta c(p_i^{j+1,\nu-1})}{\mu_g(p_i^{j+1,\nu-1})z(p_i^{j+1,\nu-1})p_{atm}};\ F_{2ki}^{j+1,\nu-1}=\frac{k(p_i^{j+1,\nu-1})F_k(\rho_{ki}^{j+1,\nu-1})}{\mu_k(p_i^{j+1,\nu-1})a_k(p_i^{j+1,\nu-1})};$$

$$F_{2gi\pm1}^{j+1,\nu-1}=\frac{k(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})F_g(\rho_{ki\pm1}^{j+1,\nu-1})p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1}\beta c(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})}{\mu_g(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})z(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})p_{atm}};\ F_{2ki\pm1}^{j+1,\nu-1}=\frac{k(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})F_k(\rho_{ki\pm1}^{j+1,\nu-1})}{\mu_k(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})a_k(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})};$$

$$k(p_i^{j+1,\nu-1})=k_0e^{\alpha_k(p_i^{j+1,\nu-1}-p_0)};\ k(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1})=k_0e^{\alpha_k(p_{i\pm1}^{j+1,\nu-1}-p_0)};$$

$$C_0^{*j+1,\nu-1}=\frac{V_{gl}(\rho_{k0}^{j+1,\nu-1}c_{l0}^{j+1,\nu-1}+(1-\rho_{k0}^{j+1,\nu-1})c_{g0}^{j+1,\nu-1})}{2\pi h};\ c_{l0}^{j+1,\nu-1}=\left(\frac{1}{a_k(p)}\frac{da_k(p)}{dp}\right)_0^{j+1,\nu-1};$$

$$c_{g0}^{j+1,\nu-1}=\left(\frac{1}{p}-\frac{1}{z}\frac{dz}{dp}\right)_0^{j+1,\nu-1};\ q^{*j+1}=\frac{q^{j+1}}{2\pi h}.$$

First, in accordance with the forward sweep of the tridiagonal matrix algorithm, for the index ν ($\nu = 1,2,\ldots$), the coefficients $A_i^{j+1,\nu}$ and $C_i^{j+1,\nu}$ are recursively calculated according to formulas (7) for each index j and i ($j = 0,1,2,\ldots$; $i = 0,1,2,\ldots,N-1$). Then, during the backward sweep of the tridiagonal matrix algorithm, the reservoir pressure values (i.e., the values of p_i^{j+1}), as well as the condensate saturation, porosity, and reservoir permeability coefficients, are calculated for each index j and i ($j = 0,1,2,\ldots$; $i = 0,1,2,\ldots,N-1$), and the iterative process continues in this manner.

The calculations at each $j+1$-th time layer at all grid nodes ξ_i continue until inequality is satisfied [11]:

$$\max_i \left| \frac{p_i^{j+1,\nu} - p_i^{j+1,\nu-1}}{p_i^{j+1,\nu}} \right| \le \varepsilon \quad \nu = 1,2,\ldots$$

(where ε is the required computational accuracy).

NUMERICAL CALCULATION AND ANALYSIS OF THE RESULTS

Based on the specified algorithmic sequence, numerical calculations were performed under the following initial data [10]:

$p_0 = 40 \cdot 10^6$ Pa; $q = 100$ m^3/day; $m_0 = 0{,}2$; $r_w = 0{,}1$ м; $r_k = 750$ m; $L = 5000$ m;

$\beta = 0{,}81$; $p_{atm} = 10^5$ Pa; $\beta_r = 2{,}5 \cdot 10^{-9}$ Pa^{-1}; $\alpha_k = 0$; $k_0 = 0{,}05 \cdot 10^{-12}$ м^2; $h = 10$ m;

$F_g = 2{,}0833 \cdot \rho_k^4 + 4{,}9167 \cdot \rho_k^3 - 5{,}5708 \cdot \rho_k^2 - 0{,}277 \cdot \rho_k + 0{,}882$;

$F_k = 1{,}8864 \cdot \rho_k^2 + 0{,}1889 \cdot \rho_k + 0{,}0005$;

$z(p) = 1 - 0{,}1162 \cdot 10^{-2} \cdot p + 0{,}3744 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 - 0{,}2965 \cdot 10^{-9} \cdot p^3 - 0{,}1975 \cdot 10^{-11} \cdot p^4$;

$S_k(p) = 0{,}8143 \cdot p$; $a_k(p) = 1{,}116 + 0{,}1157 \cdot 10^{-2} p + 0{,}23674 \cdot 10^{-6} p^2$;

$c(p) = 0{,}637 \cdot 10^{-4} - 0{,}5057 \cdot 10^{-6} p + 0{,}6265 \cdot 10^{-8} p^2 - 0{,}1595 \cdot 10^{-10} p^3 + 0{,}13 \cdot 10^{-13} p^4$;

$\overline{\gamma}(p) = 194{,}89 - 0{,}42974 \cdot 10^{-1} p + 0{,}1335 \cdot 10^{-4} p^2 - 0{,}6053 \cdot 10^{-6} p^3 + 0{,}622 \cdot 10^{-9} p^4$;

$\mu_g(p) = 0{,}0126 + 0{,}257 \cdot 10^{-4} p + 0{,}1633 \cdot 10^{-7} p^2$, 10^{-3} Pa·sec;

$\mu_k(p) = 0{,}6 + 0{,}3295 \cdot 10^{-2} \cdot p + 0{,}1044 \cdot 10^{-4} p^2 - 0{,}1558 \cdot 10^{-7} p^3 + 0{,}85 \cdot 10^{-11} p^4$, 10^{-3} Pa·sec.

The calculation results are presented in Figures 1-3 and Tables 1 and 2. Figures 1 and 2 show the curves representing changes in reservoir pressure and condensate saturation across the reservoir at development times of 50, 100, 200, 250, and 270 days, respectively.

Figure 3 displays the curves showing the difference in reservoir pressure values calculated with and without accounting for wellbore volume across the reservoir at development times of 200, 250, and 270 days.

Figures 1 and 3 show that the impact of wellbore volume on reservoir pressure is more pronounced at higher values. This effect is greatest at the bottom-hole and at later stages of reservoir development (reaching up to 7 atm at t = 270 days in this case). This is further confirmed by the data in Table 1, which presents changes in bottom-hole pressure over the course of development (t = 50, 100, 200, 250, and 270 days), comparing scenarios that account for wellbore volume with those that do not.

Table 2 presents changes in bottom-hole condensate saturation over time (at t = 50, 100, 200, 250 and 270 days), comparing cases where wellbore volume is accounted for versus cases where it is not; these results were obtained based on calculations using the specified reservoir parameters. The calculation results demonstrate that wellbore volume has a distinct effect on the variation of bottom-hole condensate saturation during the course of reservoir development.

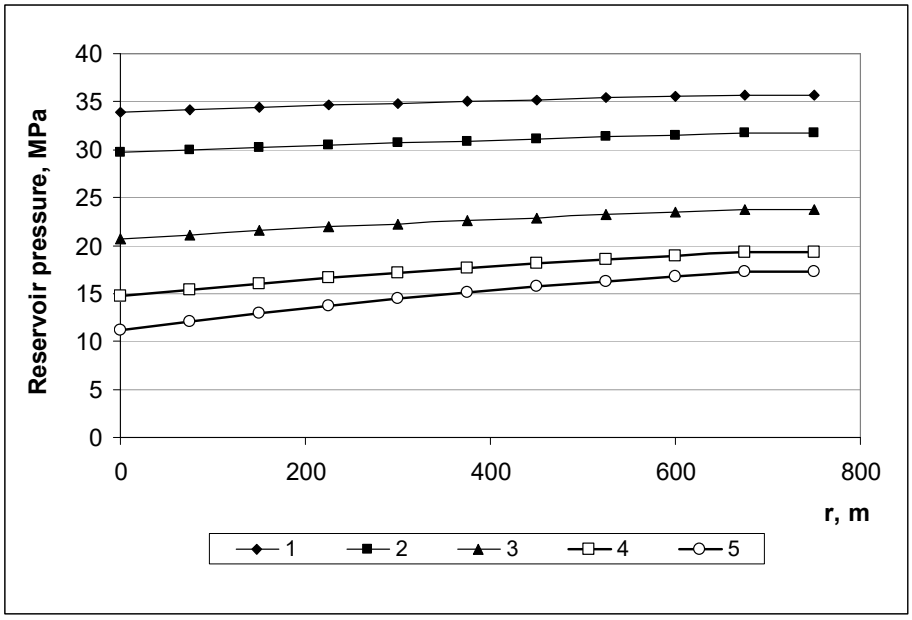


Figure 1. Variation of reservoir pressure across the reservoir at different development times:
1 – $t = 50$ day; 2 – $t = 100$ day; 3 – $t = 200$ day;
4 – $t = 250$ day; 5 – $t = 270$ day

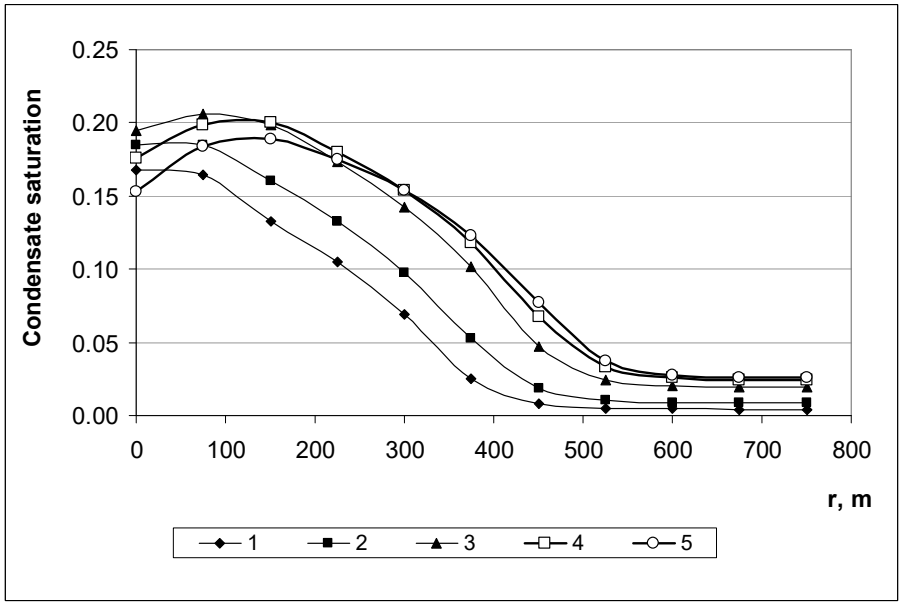


Figure 2. Variation of condensate saturation across the reservoir at different development times:
1 – $t = 50$ day; 2 – $t = 100$ day; 3 – $t = 200$ day;
4 – $t = 250$ day; 5 – $t = 270$ day

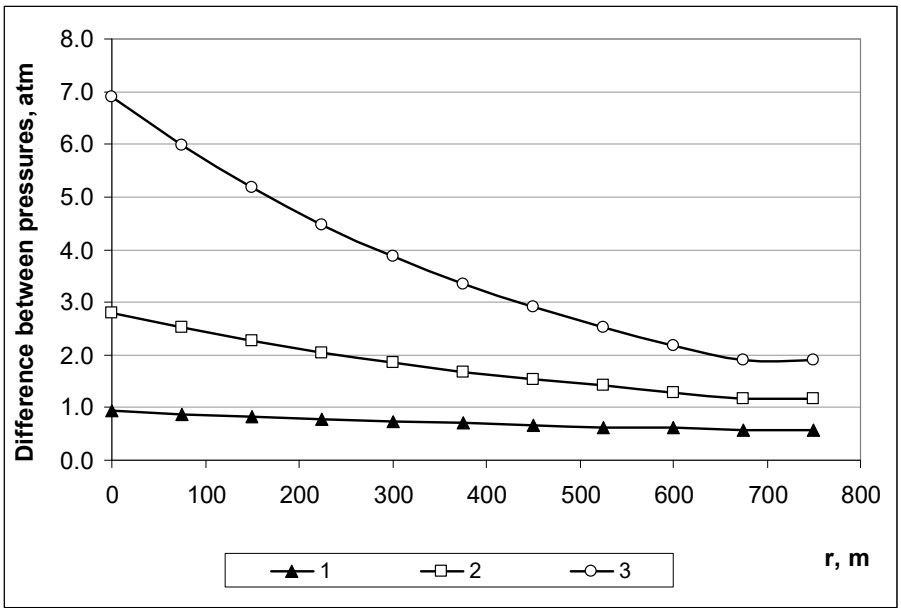


Figure 3. Variation in the difference between reservoir pressure values obtained with and without accounting for the
effect of the wellbore volume:
$1 - t = 200$ day; $2 - t = 250$ day; $3 - t = 270$ day

Table 1. Changes in bottom-hole pressure over time at the with and without into account values of the wellbore volume effect (WVE) coefficient

Time, days	Bottom-hole pressure, 10^5 Pa	
	Without WVE	With WVE
50	339.20	339.38
100	296.40	296.71
200	205.94	206.88
250	144.16	146.95
270	104.79	111.69

Table 2. Changes in the bottom-hole condensate saturation of the reservoir over time at the with and without into account values of the wellbore volume effect (WVE) coefficient

Time, days	Bottom-hole condensate saturation values	
	Without WVEC	With WVEC
50	0.16778	0.16767
100	0.18536	0.18519
200	0.19477	0.19460
250	0.17510	0.17572
270	0.15036	0.15330

Calculation results and their analysis demonstrate the need to account for the effect of wellbore volume when calculating operational parameters for deep gas-condensate wells.

CONCLUSION

A numerical scheme has been developed to solve the problem of operating a gas-condensate well in a deep-seated reservoir characterized by non-linear elastic deformation properties, based on a binary model of the gas-condensate system. This scheme accounts for the effect of wellbore volume and the differing compressibilities of the gas-condensate mixture phases within the well. Practical application of this numerical scheme will enhance the efficiency of developing deep reservoirs by enabling the necessary preliminary assessments to select optimal operational parameters based on actual field data from the "well-reservoir" system.

REFERENCES

[1] Dzhalalov, G.I. Hydrodynamic modeling as the main tool for the management of a complex hydrocarbon reservoir. A review. SOCAR Proceedings, 2025, SI, 1–11.

[2] Dzhalalov, G.I., Ibragimov, T.M., Aliyev, A.A., Gorshkova, E.V. Modeling and research of filtration processes in deep-lying oil and gas fields. Baku: Science and Education. 2018, 382 p.

[3] Kuliev, A.M., Kazymov, B.Z. Deformation of rocks and its influence on their filtration-and-capacitive properties and on the processes of filtration and development of places of oil and gas. Baku: Elm, 2009, 86 p.

[4] Feyzullaev, Kh.A. Improving the modeling of hydrogasdynamic foundations for the development of deep-seated gas condensate fields. Beau Bassin: Palmarium Academic Publishing, 2018, 236 p.

[5] Zakirov, S.N. Theory and design of development of gas and gas condensate fields. Moscow: Nedra, 1989, 337 p.

[6] Zhuang, H. Gas Reservoir Dynamic Model and Well Test (Chapter 5). Dynamic Well Testing in Petroleum Exploration and Development. Elsevier, 2013, 225-410.

[7] Abbasov, E.M., Feyzullayev Kh.A. Mathematical simulation of gas-liquid mixture flow in a reservoir and a wellbore with allowance for the dynamical interactions in the reservoir-well system. Computational Mathematics and Mathematical Physics, 2016, 56 (1), 148–160.

[8] Fataliyev, V.M., Hamidov, N.N., Aliyev, K.F. Advances in understanding and controlling liquid loading in gas-condensate production well. SOCAR Proceedings, 2025, No. 2, pp. 95–103

[9] Abbasov, M.T., Dzhalalov, G.I., Feyzullaev, Kh.A. Identification of the Parameters of a Hydrodynamic Model of a Gas-Condensate Reservoir. Proceedings of the National Academy of Sciences of Azerbaijan. Earth Sciences Series, 2008, 2, 78–90.

[10] Khalilov, M.S. Numerical Solution of the Problem of Radial Flow of a Gas-Condensate Mixture toward a Well in a Nonlinear Deformable Reservoir. Baku University News, Series of Physical and Mathematical Sciences, 2015, 1, 100–108.

[11] Aziz, H., Settari, E. Mathematical modeling of reservoir systems. Moscow: Nedra, 1982, 407 p.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

COMPATIBILIZATION WITH RAPID EVALUATION OF DENSITY VARIATION FOR VIBRATING HONEYCOMB SANDWICH STRUCTURES: HIGH STRENGTH AND EXCELLENT PERFORMANCE OF CNTS

Muzamal Hussain
Department of Physical & Numerical Sciences, University of Rasul

Abstract. The present work based on orthotropic model to investigate the vibration of armchair single-walled carbon nanotubes. The partial differential equations that make up the governing equation are often solved approximately. To obtain accurate outcomes, methods that are reliable and effective are preferred. The tube frequency equation is created by using the wave propagation process. It is possible to observe the effect of natural frequencies as tube diameter varies. Four distinct boundary conditions are used to examine the effects of the two different wave numbers. The frequency initially climbs and reaches its maximum value as the tube diameter grows. It is noted that frequency increases as wave numbers rise. Plotting of the frequencies versus two tube diameter values has also been done. The results of frequencies using the current model match previous calculations quite well. Also the density behavior is seen with different boundary conditions versus wave mode. The natural frequencies (THz) of armchair (5, 5) and (8, 8) SNTs are sketched with the variation of values of density. The frequencies decreases as the values of the wave mode increases. These kinds of frequencies are crucial to the stability of carbon nanotubes. Compared to simply supported and simply supported frequency boundary conditions, the clamped-clamped curves are larger. The CNTs are more stable the more the tube foundation can withstand a load from physical circumstances

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

SELF-FOCUSING OF INTENSE LASER BEAMS IN PLASMAS

Nafıs AHMAD
Department of Physics, College of Science, King Khalid University

Abstract
A paraxial ray formalism is developed to study the evolution of an on axis intensity spike on a Gaussian laser beam in a plasma dominated by relativistic and ponderomotive nonlinearities. Ion motion is taken to be frozen. A single beam width parameter characterizes the evolution of the spike. The spike introduces two competing influences: diffraction divergence and self convergence. The former grows with the reduction in spot size of the spike while the latter depends on the gradient in nonlinear permittivity. Parameter $\delta = (\omega_p r_{00} / c) a_{00} / (3.5\, r_{00} / r_{01})$ characterizes the relative importance of the two, where r_{01}, r_{00} are the spike and main beam radii, ω_p is the plasma frequency and a_{00} is the normalized laser amplitude. For $\delta > 1$, the intensity ripple causes faster self focusing of the beam; higher the ripple amplitude stronger the focusing. In the opposite limit, diffraction divergence increases more rapidly, slowing down the self focusing of the beam.
Keywords: Gaussian laser beam; Self focusing; Nonlinear plasma physics; paraxial theory; harmonic generation

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

MICROWAVE-ASSISTED SYNTHESIS OF PURE AND NI-DOPED PBI_2 NANOSTRUCTURES AND THEIR CHARACTERIZATION

Mohd. Shkir
Department of Physics, College of Science, King Khalid University

Abstract
Lead iodide (PbI_2) is a layered, wide–bandgap semiconductor that has attracted extensive interest in diverse optoelectronic and photovoltaic applications. The opto-dielectric-electrical properties of lead iodide (PbI_2) are critical for its use in optoelectronic and energy devices. Hence, we have synthesized pure and Nickel (Ni)-doped PbI_2 (Ni:PbI_2) nanostructures using microwave irradiation techniques. The monophasic phase of the prepared nanostructures at all Ni-doping concentrations was confirmed by X-ray diffraction and FT-Raman spectroscopy. Additionally, the elemental composition was analyzed using EDX. The morphology of the prepared nanostructures was studied by SEM, which showed single-crystal nanosheets (NSs) and nanorods (NRs) with average diameters of ~351, 213, 196, 144, and 106 nm for 0.0, 1.0, 3.0, 5.0, and 7.0 wt.% Ni-doped PbI_2, respectively. The absorption spectra show a blue shift of the absorption edge; hence, the band gap increased from 2.35 to 2.53 eV with Ni-doping. Photoluminescence emission spectra show three emission peaks at 366±2 nm (UV-C/near-violet emission), 470±2 nm (blue emission), and 532±3 nm (green emission). The dielectric constant, loss, and AC electrical conductivity were studied, and noticed that the values of the dielectric constant and AC electrical conductivity of PbI_2 improved with Ni-doping concentrations. Owing to facile synthesis and superior dielectro-electric properties along with fascinating PL characteristics, Ni:PbI_2 NRs possess the potential to be used for developing better-performing opto-dielectric devices.
Keywords: Ni-doped PbI_2 NRs; vibrational spectroscopy; optical properties; dielectric properties; electrical properties

SANDY SHORE

Shumaila Naz
Centre of Excellence in Marine Biology, University of Karachi

Abstract
Sandy shore appear as beaches in enclosed bays between rocky headlands or as long stretches of sand adjacent to coastal dunes system or sandy spits. Sandy shore are highly dynamic environments have a characteristic biodiversity and represent a unique gradient habitats. The environment attractive for housing, accommodate key marine infrastructure and provide excellent opportunities for fisheries, recreation and drinking water resources, thus represents high economic value. Natural development of sandy shore depends on the accumulation of sand that is transported to the coast from inland sources by rivers, and/or from marine source by waves, current and winds. The morphology of sandy shore supports the habitat and ecological processes in this environment.
Keywords: Sandy shore, biodiversity, marine infrastructure, economic value

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EFFECT OF BIAXIAL STRAIN ON THE ELECTRONIC AND OPTICAL PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL MATERIAL T-GEC: A DFT STUDY

M. Oudahman
Laboratory of Solid Physics, Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University

M. Houmad
Laboratory of Condensed Matter and Interdisciplinary Sciences, Physics Department, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat

R. Masrour
Laboratory of Solid Physics, Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University

A. Rezzouk
Laboratory of Solid Physics, Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University

Abstract
In this work, we investigate the influence of biaxial strain (−6% to +6%) on the electronic, optical, and dynamical stability properties of tetragonal germanium carbide (t-GeC) using density functional theory within the FP-LAPW method as implemented in WIEN2k. Electronic and optical analyses reveal that compressive strain enlarges the band gap and induces a blue shift in the dielectric response, absorption coefficient, and reflectivity, whereas tensile strain reduces the band gap and causes a redshift. However, phonon dispersion calculations indicate that under compressive strain (−2% to −6%), t-GeC exhibits soft phonon modes with imaginary frequencies near the center of the Brillouin zone (Γ-point), signaling intrinsic structural instability and lattice breakdown. In contrast, under tensile strain (+2% to +6%), all phonon frequencies remain strictly positive across the entire Brillouin zone, confirming dynamical stability. Overall, these findings demonstrate that tensile strain engineering unlike compressive deformation provides an effective and reliable strategy for tuning the optoelectronic properties of t-GeC for flexible device applications while maintaining its structural integrity.
Keywords: t-GeC; biaxial strain; DFT, band gap engineering; WIEN2k; flexible optoelectronics

PFAS IN WASTEWATER TREATMENT: OCCURRENCE, FATE AND REMOVAL

Mohamed EL MORSY
Ibnou Zohr University, Faculty of Sciences, Department of chemistry, Laboratory of Materials and Environment (LME)
ORCID: 0009-0005-3979-1940

Laila AFIA
Prof. Dr., Ibnou Zohr University, Faculty of Sciences, Department of chemistry, Laboratory of Materials and Environment (LME)
ORCID: 0009-0003-6324-8396

ABSTRACT
Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a large group of synthetic chemicals widely used in industrial and consumer applications due to their exceptional chemical stability, thermal resistance, and water- and oil-repellent properties. However, their high persistence and resistance to environmental degradation have raised increasing concerns regarding their occurrence and long-term impacts on ecosystems and human health. PFAS have been detected in various environmental compartments, including wastewater, surface water, groundwater, and sewage sludge. Wastewater treatment plants (WWTPs) therefore represent an important pathway for the transport and redistribution of these persistent contaminants into the environment.
This study investigates the occurrence, fate, and removal of PFAS in wastewater treatment systems, with particular emphasis on their behavior from influent wastewater to treated effluent and sewage sludge. Conventional wastewater treatment processes are primarily designed to remove organic matter, nutrients, suspended solids, and pathogens, and may therefore have limited effectiveness against persistent fluorinated compounds. As a result, PFAS can remain in treated effluents or be transferred to sewage sludge during treatment. Understanding their distribution throughout the treatment process is essential for assessing their environmental dissemination and associated risks.
Different treatment strategies for PFAS removal are considered, including adsorption, ion exchange, membrane filtration, advanced oxidation, and electrochemical processes. Their performance is discussed in terms of removal efficiency, operational requirements, energy consumption, and treatment limitations. Particular attention is also given to the potential transfer of PFAS to secondary waste streams and the challenges associated with sludge management.
The study highlights the importance of improved monitoring and effective treatment strategies to minimize PFAS release through treated effluents and sludge.
Keywords: PFAS, wastewater treatment, emerging contaminants, influent wastewater, treated effluent, sewage sludge, removal technologies, environmental pollution.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BINDER-FREE HYDROTHERMALLY SYNTHESIZED $ZnMn_2O_4$ ON NICKEL FOAM FOR SUPERCAPACITOR APPLICATION

Mr. Chetan
G.D. Goenka University

Prof. Sunil Kumar
Department of Physics, Indira Gandhi University

Prof. Vijay kumar
Chaudhary Devi Lal University

Dr. Manik Basu
G.D. Goenka University

Abstract
In this study, binder free spinel structure of zinc manganite ($ZnMn_2O_4$) nanosheets was directly grown on nickel foam via an eco-friendly hydrothermal route. A calcination treatment was provided after hydrothermal synthesis to enhance its electrochemical performance and its crystallinity. The investigation of electrochemical performance of the spinel $ZnMn_2O_4$/NF structure, by cyclic voltammetry (at different scan rates) and galvanostatic charge–discharge (at different current densities) techniques using a 3 M KOH electrolyte. A specific capacitance value of 436.84 F g^{-1} and 415 F g^{-1} with a scan rate of 5 mV/sec CV and a current density of 1 A g^{-1} GCD, respectively, was exhibited by the prepared $ZnMn_2O_4$/NF nanostructure, which is in line with the two evaluated methods. Spinel structure of $ZnMn_2O_4$/NF electrode facilitates excellent charge storage capability, which can be attributed to the synergistic effect of the porous nickel foam substrate and the redox-active $ZnMn_2O_4$ nanostructures, which facilitate multiple oxidation states and efficient electron transport. These results demonstrate that the hydrothermally synthesized $ZnMn_2O_4$/NF is a promising electrode material for electrochemical energy storage and supercapacitor applications.
Keywords: Supercapacitor, zinc manganite, specific capacitance.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

BETWEEN ABANDONMENT AND CARE: GERIATRIC REHABILITATION EXPERIENCES OF INSTITUTIONALIZED OLDER ADULTS IN ROMANIA

Sorina Corman
Faculty of Social Sciences and Humanities, Lucian Blaga University of Sibiu

Abstract
Population ageing and increasing long-term care needs raise important questions regarding the quality of institutional care and the role of rehabilitation in supporting older adults' autonomy, dignity, and social participation. This study explores the lived experiences of institutionalized older adults in Romania, focusing on the circumstances leading to institutionalization, family relationships, perceptions of residential services, and the potential of institutional care to function as a form of social rehabilitation.
An exploratory qualitative design was employed. Semi-structured interviews were conducted with 20 residents aged 67–88 years from an anonymized Romanian residential care centre. Data were analysed using reflexive thematic analysis.
Four major themes emerged: medical and social factors leading to institutionalization; changes in family relationships, particularly in the context of migration; perceptions of available services and activities; and the tension between safety, autonomy, and dignity. Participants valued reliable care, staff support, and the sense of security provided by residential care, while reporting unmet needs related to physical exercise, occupational activities, cognitive stimulation, psychosocial support, and opportunities for meaningful participation. Digital communication partially compensated for the physical absence of family members living abroad but did not replace direct contact.
The findings suggest that institutionalization should not be understood solely as a response to dependency. When person-centred and participation-oriented services are available, residential care may also become a setting for social rehabilitation, supporting dignity, interpersonal connection, and quality of life among older adults.
Keywords: ageing; geriatric rehabilitation; institutionalization; long-term care; older adults; qualitative research; Romania; social rehabilitation

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EVOLVING KINSHIP AND COMMUNITY DYNAMICS IN INDO-ASIAN SOCIETIES: AN ANALYTICAL STUDY OF FAMILY RELATIONSHIPS AND CARE PRACTICES

Prof. Dr. Ananda Majumdar
Harvard University
ORCID: 0000-0003-3045-0056

Abstract
This study examines Indo-Asian family relationships, communities, care, and future hopes through an analysis of documents. The goal is to understand how family ties and community networks shape daily life and social support in Indo-Asian settings. It aims to provide a clear view of how care and community are changing, using both traditional and recent research. The literature reviewed includes important works on kinship theory and new studies on migration, generational change, and caregiving practices. The research uses document analysis, reviewing academic papers, cultural documents, and community stories to find patterns and key themes. The findings show that multi-generational households, shared caregiving, and strong community ties are common in Indo-Asian kinship. The study uses social capital and relational theory to explain how community support and flexibility strengthen resilience. The results show that changing economic factors, like urbanization and migration, are altering traditional roles and expectations. This study is important for understanding how Indo-Asian communities adapt to care and belonging in changing times. The conclusion highlights the need to maintain intergenerational connections and promote inclusive community practices. Recommendations include creating culturally sensitive policies and encouraging more research on new types of kinship and care. This abstract provides valuable information for academics, researchers, and students interested in Indo-Asian social structures and their impact on community development.
Keywords: Indo-Asian kinship, Community support, Caregiving practices**.**

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

CROSSING BORDERS, SHIFTING NORMS: RURAL-URBAN MIGRATION AND THE TRANSFORMATION OF GENDER ORDER IN THE CONTEXT OF GLOBAL URBANIZATION, 1940–1970

Prof. Dr. Ananda Majumdar
Harvard University
ORCID: 0000-0003-3045-0056

Abstract
This study investigates rural-urban migration and its substantial impact on gender relations during the era of rapid global urbanization from 1940 to 1970. The aim is to illustrate how gender roles and relationships were redefined as populations transitioned from rural settings to culturally diverse urban environments. Utilizing a microhistorical and biographical methodology, the research incorporates oral histories, archival sources, and local community records from multiple global contexts. Special attention is given to the lived experiences of ordinary individuals, examining the intersections of gender with education, employment, social mobility, family structures, and discrimination.
The findings reveal that migration to urban centers simultaneously challenged and reinforced traditional gender norms. Urban environments provided new opportunities, especially for women in employment and education, but also presented obstacles such as gendered divisions of labour, persistent discrimination, and shifting family structures. These developments were closely linked to broader political and economic transformations, including decolonization and labour market restructuring. The study concludes that rural-to-urban migration during this period led to a continual reconfiguration of the gender order, producing both opportunities for empowerment and new forms of inequality.
The originality of this study is grounded in its grassroots and comparative approach, which emphasizes migrant agency and demonstrates the interaction between global processes and everyday practices. This research provides nuanced insights into the ways macro-level changes in gender relations shaped micro-level experiences.
Keywords: Rural-Urban Migration, Gender Transformation, Global Urbanization.

ON FREEDOM OF MOVEMENT

Professor Valentina MARINESCU
University of Bucharest, Faculty of Sociology and Social Work, Department of Sociology

Lecturer Ramona MARINACHE
University of Bucharest, Faculty of Letters, Department of Cultural Studies

Abstract
Today we see the world at a new crossroad. We see the fast-approaching peak of the Fourth Industrial Revolution. The current world realities are accelerating exponentially the coming of the post carbon world, which for mobility would bring a dramatic drop in the physical mobility and an increase in the virtual movement in the cyber physical space. The actual physical mobility of humans it is set to take place in two ways 1) for essential travels on longer distances thought the use of autonomous vehicle; 2) for the rest of the acts of physical mobility by travelling on foot or using bicycles or by returning to traditional, sustainable means of travelling that use the power of natural elements and the animal power (traction animals). In this future reality, our presentation will provide possible answers to the questions: how will the two ways of physical mobility coexist? What is the place of horses in the future of human mobility? We will present our findings as scenarios of the future non-human-robotic and AI interaction.
Keywords: physical mobility, future, history

SOCIAL ACCELERATION & THE END OF AUTOMOBILITY

Lecturer Ramona MARINACHE
University of Bucharest, Faculty of Letters, Department of Cultural Studies

Professor Valentina MARINESCU
University of Bucharest, Faculty of Sociology and Social Work, Department of Sociology

Abstract
In this study we seek to reflect upon a possible future reality – the end of automobility as we experienced it in the 20th century. We based our thought exercises on the concept of 'social acceleration' as it was coined in sociology by Hartmut Rosa (2003, 2009, 2013), and that of 'automobility' in John Urry's perspective (2004, 2008, 2010, 2013). Our reflection brought us in front of a peculiar tendency – in the age of high-speed machines humans become immobile. For a world based on a steel-petroleum car system stimulating the social acceleration, the limitation and subsequently the ban on using petroleum would mean the end of the automobility system and a return to the pre-industrial times in terms of means of moving oneself on long distances.
Keywords: Social acceleration; automobility; Hartmut Rosa; John Urry

THE ASSOCIATION BETWEEN THE CUTANEOUS MICROBIOME AND HIDRADENITIS SUPPURATIVA

Major Gheorghe GIURGIU
Deniplant-Aide Sante Medical Center, Biomedicine
ORCID: 0000-0002-5449-2712

Prof. dr. Manole COJOCARU
Titu Maiorescu University, Faculty of Medicine
ORCID: 0000-0002-6871-577X

ABSTRACT

Background Hidradenitis suppurativa is a chronic disease of the pilosebaceous unit. Patients experience multiple nodules, abscesses, and draining fistulae in intertriginous skin, which cause a significant impact on their quality of life. The skin microbiome thus plays a critical role in the induction and education of host immunity, enabling sustained tolerance to innocuous antigens, a process termed “homeostatic immunity”.

Objective To arrive at these observations, the authors examined how Polenoplasmin and Imuniplant solve hidrosadenitis suppurativa.

Materials and methods The cutaneous microbiota is a necessary component of the immune barrier, with commensal skin microorganisms preventing the colonisation and growth of pathogenic bacteria, a process known as colonisation resistance. In this review we assimilate the existing literature regarding the role played by the cutaneous microbiome in hidradenitis suppurativa to identify novel and much needed treatment strategies.

Results The pathophysiology of hidradenitis suppurativa is multifaceted and is the product of interactions between inflammation, a genetic tendency, the cutaneous microbiome, and environmental factors. Whilst it is now recognised as an autoinflammatory condition rather than an infective disease, bacteria are implicated in disease pathogenesis. Hidradenitis suppurativa skin appears to have a microbiome distinct from that of healthy skin and which is overwhelmingly populated by anaerobic Gram-negative bacteria. Further research should be undertaken examining the cutaneous and gut microbiome in hidradenitis suppurativa.

Conclusion Our research investigating the role of microbiota in the development of inflammatory skin diseases has largely focused on hidradenitis suppurativa, this may help identify potential future therapeutic targets.

Keywords: hidradenitis suppurativa, cutaneous microbiome, Polenoplasmin, Imuniplant

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

FIBROADENOMA OF THE BREAST: MOLECULAR MECHANISMS, BIOMARKERS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AND EMERGING PRECISION MEDICINE

Mrs. Sheetal Vinay Jadhav
Department of Pharmacology, Yashoda College of Pharmacy

Abstract
Fibroadenoma is the most common benign breast tumor, predominantly affecting adolescents and young women, and is characterized by a biphasic proliferation of epithelial and stromal components. Although traditionally considered a benign lesion with a low risk of malignant transformation, increasing evidence suggests that its pathogenesis involves complex interactions among hormonal signaling, genetic alterations, extracellular matrix remodeling, and growth factor-mediated pathways. This review provides a comprehensive overview of the current understanding of fibroadenoma, encompassing epidemiology, breast anatomy and histopathology, molecular mechanisms, diagnostic biomarkers, and recent advances in clinical management. Particular emphasis is placed on key molecular regulators, including MED12, HMGA2, estrogen and progesterone receptors, Wnt/β-catenin, PI3K/Akt, MAPK, transforming growth factor-β (TGF-β), and extracellular matrix signaling pathways, which collectively contribute to tumor initiation and progression. Emerging diagnostic approaches based on circulating biomarkers, radiomics, and liquid biopsy are discussed alongside conventional imaging and histopathological evaluation. Furthermore, recent developments in artificial intelligence (AI), particularly machine learning and deep learning algorithms for breast ultrasound and multimodal image analysis, have demonstrated considerable potential to improve lesion classification, enhance diagnostic accuracy, reduce unnecessary biopsies, and support personalized clinical decision-making. Advances in minimally invasive procedures, including vacuum-assisted excision, cryoablation, and high-intensity focused ultrasound, together with precision medicine approaches integrating molecular profiling and AI, are expected to transform future fibroadenoma management. Continued multidisciplinary research combining molecular biology, imaging sciences, and computational intelligence will be essential for developing evidence-based diagnostic and therapeutic strategies that improve patient outcomes while minimizing unnecessary interventions.
Keywords: Fibroadenoma; Artificial intelligence; Molecular mechanisms; Diagnostic biomarkers; Precision medicine.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

NEUROPROTECTIVE TENDENCY OF ALLIUM CEPA IN HEAVY METAL-INDUCED TOXICITY IN WISTAR RATS

Ilochi N. Ogadinma
Department of Human Physiology, Faculty of Basic Medical Sciences, Federal University

ABSTRACT
This research studied the neuroprotective potential of Allium cepa hydromethanolic extract on neurotoxicity due to lead acetate treatment. 30 male wistar rats were used. The animals were grouped simple randomly into 6 separate compartments. The experimental period lasted for 42 days during which the animals were subjected to various treatments. From A the control administered normal saline, B administered Allium cepa extract 100mg/kg, C administered lead acetate 500mg/kg. D, E and F co-administered 100,150 and 200 mg/kg of Allium cepa extract and lead acetate 500mg/kg. The biomarkers assayed for include protein carbonyl (PC), malondialdehyde (MDA),isoprostanes (F2IsoP) and reduced glutathione (GSH). With data significantly different at a confidence interval of 95%, there was a significant increase in GSH, but a decrease in PC, MDA and F2IsoP in the groups treated with Allium cepa extract 100mgkg and Allium cepa 150 and 200mg/kg co-administered lead 500mg/kg.lead acetate treatment alone significantly increased PC, MDA and F2IsoP but decreased GSH compared to control. Allium cepa, at the studied dose, can effectively be applied in neurotoxicity.
Keywords: Allium cepa hydromethanolic, protein carbonyl (PC)

UNDERSTANDING THE AFRICA 'VIRO-ALLERGY' PHENOMENON IN IMMUNOLOGY: ANALYSING INCIDENCE AND MORTALITY CASES OF COVID -19 PANDEMIC ACROSS THE GLOBE

Oyepata Simeon Joseph
Departmennt of Pharmacology and Toxicology, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Federal University

Abstract
Objectives: COVID-19 has put the world on a unpredictable path. Though the pandemic's repercussions were global, the distribution was inappropriately slanted. The goal of this study is to better understand the 'viro-allergy' phenomena of the COVID -19 pandemic, using the incidence and mortality reports from the 19th to the 25th of January 2022 as a case study. **Design:** Data from 149 countries around the world were used. Data were gathered from the United Nations Geoscheme and WHO from the 19th to the 25th of January, 2022. **Participants:**one hundred and forty nine (149) nations from various continents and regions of the world were chosen for this study. **Results:** When comparing available data to that of the United States, the American continent had a significantly greater mortality comparismindex than infection cases, whereas European continents had a higher infectious comparismindex than mortality value. The African continents appear unconcerned about mortality and infectivity. **Conclusion:** like the hygiene hypothesis in asthma disease, Africa has been spared from the viral craze. This favourable exemption could be a result of early environmental background and exposure.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

NAVIGATING THE TRI-FRAMEWORK LANDSCAPE: A LONGITUDINAL ANALYSIS OF GRI, TCFD, AND ESRS IN THE TOP FIVE EUROPEAN FIRMS

Akhtar Ali
The Warsaw University of Technology

Abstract
Purpose: This study examines whether sustainability reporting by five leading European MNEs, SAP, Novo Nordisk, L'Oréal, ASML, and LVMH, reflects substantive organisational change or symbolic compliance across GRI, TCFD, and ESRS frameworks during the CSRD transition period (2019–2023).
Design/methodology/approach: Qualitative content analysis was conducted in MAXQDA using a deductive–inductive coding scheme across five dimensions: governance, environmental, economic, social, and climate integration. The analytical strategy combined thematic frequency coding with qualitative depth assessment to differentiate symbolic from substantive disclosures. Inter-coder reliability: Cohen's Kappa = 0.74–0.78.
Findings: Environmental reporting is the most institutionalised dimension, supported by multi-year quantitative targets. Social and governance disclosures show growing ESRS alignment under CSRD pressure. Climate-related financial disclosure is the weakest dimension: scenario analysis is predominantly qualitative, and few climate disclosures connect to financial modelling, indicating persistent symbolic compliance.
Practical implications: Firms should embed climate risk into financial governance rather than layering ESRS terminology onto GRI systems. Policymakers should strengthen CSRD enforcement. Investors can apply the symbolic–substantive rubric to distinguish reputational from decision-relevant disclosure.
Social implications: The study provides a benchmark of leading-practice sustainability disclosure, enabling civil society and citizens to hold corporations accountable beyond formal compliance.
Originality/value: This is the first longitudinal qualitative study examining GRI, TCFD, and ESRS alignment simultaneously across European MNEs during the CSRD transition. It contributes a reusable four-criterion symbolic–substantive coding rubric and an empirical benchmark for post-2024 CSRD evaluation.
Keywords: Sustainability reporting; GRI; ESRS; TCFD; CSRD; legitimacy theory

MODERN ORGANIZATIONAL WISDOM: A MODEL OF KNOWLEDGE TRANSFORMATION INTO SUCCESSFUL ACTION

Assoc.Prof Agata Pierscieniak
Warsaw University of Technology; Faculty of Mechanical and Industrial Engineering; Department of Management and Quality Congress Congress
ORCID 0000-0002-1724-6766

ABSTRACT

This presentation introduces the Modern Organizational Wisdom (MOW) model, which explains how organizations transform existing and newly acquired knowledge into effective solutions to organizational problems while considering organizational values. MOW conceptualizes organizational wisdom as a continuous organizational characteristic. It is reflected not only in possessing knowledge, but mainly in the ability to transform knowledge into appropriate action. The model integrates overlapping mechanisms of organizational learning and absorptive capacity and provides a basis for the further operationalization and measurement of organizational wisdom.

The model was developed through qualitative research using an abductive approach. The study analyzed nine cases of organizational problem solving based on semi-structured interviews with leaders and managers. Thematic analysis identified three main dimensions of MOW**:** ingenuity (intuition, creativity, knowledge acquisition, and interpretation); knowledge synergy (knowledge integration, transformation, and assimilation); and knowledge utilization (institutionalization and the practical use of knowledge). Five organizational competencies support these processes: analysis, data collection, evaluation, cooperation, and knowledge sharing. They are also embedded in strategic, ethical, and operational values.

The Modern Organizational Wisdom concept proposes a new theoretical model that may support further research on wisdom in management sciences. It addresses a theoretical gap in the DIKW hierarchy: wisdom is presented as the highest stage of knowledge development, but a coherent explanation of how organizational knowledge is transformed into wise action remains limited.

Source:Pierścieniak, A. (2025). Modern Organizational Wisdom: Theory and Practice. Taylor & Francis.

Keywords: theory, organizational wisdom; knowledge management; organizational learning; absorptive capacity, success, strategic management

DEVELOPING THE INTERNATIONAL FINANCIAL CENTER IN HO CHI MINH CITY UNDER THE ORIENTATIONS OF THE 2026 URBAN DEVELOPMENT LAW

Dr. Nguyen Thi Hong Phuoc
Head of the Department of Civil, Commercial and International Law, Faculty of Law at Sai Gon University

Abstract

In the contemporary globalized economic architecture, an International Financial Center (IFC) serves as a pivotal focal point, aggregating a high density of financial institutions, capital markets, specialized professional ancillary services, and cross - border transaction infrastructure. For Vietnam, realizing the strategic aspiration of becoming a high - income developed nation by 2045, as set forth in the Resolution of the 13th National Party Congress, necessitates institutional and structural breakthroughs to transition the economy toward high - value - added services capable of mobilizing, allocating, and optimizing global financial resources.

Ho Chi Minh City has long served as the nation's economic locomotive, contributing nearly 20% to the national GDP and 25% to total state budget revenue, while concentrating a dense network of financial institutions[1]. Over the years, the municipal administration has operated under tailored institutional mechanisms pursuant to Resolution No. 54/2017/QH14 and subsequently Resolution No. 98/2023/QH15 on piloting specific mechanisms and policies for the development of Ho Chi Minh City (as amended by Resolution No. 260/2025/QH15 dated December 11, 2025). However, these pilot frameworks are inherently constrained by statutory time limits and systemic fragmentation; concurrently, the existing growth paradigm is confronting severe factor endowment limits regarding labor capacity and land availability. Consequently, establishing an International Financial Center in Ho Chi Minh City (HCMC-IFC) provides a strategic resolution to this structural impasse.

This commitment has been consistently reaffirmed by the Party and State through key strategic resolutions: Resolution No. 31-NQ/TW dated December 30, 2022, of the Politburo on development orientations and tasks for Ho Chi Minh City through 2030, with a vision toward 2045; Resolution No. 09-NQ/TW dated May 19, 2026, of the Politburo on constructing and developing Ho Chi Minh City in the new era; and Resolution No. 27-NQ/TW dated August 28, 2026, of the Politburo on regional development and national spatial development organization in the new phase, which explicitly characterizes Ho Chi Minh City as a: *"civilized and modern special - class municipality, an international financial center, a regional growth pole that fulfills locomotive, leading, and spillover roles, pioneering national industrialization and modernization, occupying a prominent standing in Southeast Asia, and attaining parity with major Asian metropolises."*

Crucially, the 2026 Urban Development Law (effective as of October 1, 2026), which prescribes policies and mechanisms to foster the city's status as a special - class municipality, is poised to trigger institutional transformations by establishing a pioneering structure and a superior regulatory sandbox to dismantle existing statutory bottlenecks.

[1] Tran Du Lich. (2026). *Developing a Superior Institutional Framework for Ho Chi Minh City Through the Special-Class Municipality Mechanism*. Journal of Vietnamese Economic Studies.

Therefore, examining solutions to advance the HCMC-IFC in alignment with this legislative direction constitutes an urgent research imperative - holding profound institutional, resource - allocative, and infrastructural significance to capitalize on global integration opportunities and embed Vietnam into global financial value chains.

Keywords: *Urban Development Law, Ho Chi Minh City, International Financial Center*

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

CLIMATE CHANGE, BANDITRY AND FOOD SECURITY IN NIGERIA: ASSESSING THE INTERCONNECTED DRIVERS OF AGRICULTURAL VULNERABILITY AND RURAL INSECURITY

Ikwuoma Sunday Udochukwu
Department of Political Science, Federal University Oye Ekiti
ORCID: 0009-0005-0634-5987

Saheed Ayinla OGUNDARE
National Institute for Legislative and Democratic Studies (NILDS)

Abstract
Climate change and rural insecurity have become major threats to agricultural production and food security in Nigeria. While climate variability has historically affected farming and pastoral livelihoods, the increasing frequency of droughts, floods, irregular rainfall, rising temperatures and land degradation has intensified pressure on land, water and other productive resources. At the same time, the expansion of armed banditry, particularly across parts of North-Western and North-Central Nigeria, has disrupted farming activities, displaced rural populations, restricted access to agricultural land and weakened local food systems. This paper examines the interconnected relationship between climate change, banditry and food security in Nigeria, focusing on how environmental stress and rural insecurity reinforce agricultural vulnerability. The study adopted a qualitative research design and relied exclusively on secondary data obtained from peer-reviewed journal articles, books, government publications, reports of international organisations, policy documents and credible institutional sources. The data were analysed thematically through documentary analysis. The paper argues that climate change should not be treated as a direct or automatic cause of banditry. Rather, climate-related stress interacts with poverty, competition over land and water, weak governance, insecure land tenure, unemployment, population pressure and the proliferation of small arms to create conditions that may facilitate rural violence and criminality. Banditry subsequently compounds the effects of climate change by forcing farmers away from their fields, destroying agricultural assets, disrupting markets, increasing production and transportation costs and reducing household purchasing power. The resulting decline in agricultural production contributes to food shortages, rising food prices and increased household food insecurity. The paper recommends an integrated policy framework combining climate adaptation, rural security, sustainable land and water management, agricultural investment, early-warning mechanisms, livelihood diversification and stronger local governance. Such an approach is necessary to break the reinforcing cycle between environmental vulnerability, rural insecurity and food insecurity in Nigeria.
Keywords: Climate change, banditry, food security, agricultural vulnerability, rural insecurity, Nigeria, climate adaptation.

1. Introduction

Food security has become an increasingly important development and security concern in Nigeria. Agriculture remains central to rural livelihoods, employment and national food supply, yet the country's agricultural system is exposed to multiple environmental, economic and security pressures. Recent evidence indicates that agriculture contributed approximately 28 percent of Nigeria's gross domestic product between 2021 and 2024 and employed about 40 percent of the labour force, demonstrating its importance to livelihoods and the wider economy (Food and Agriculture Organization [FAO], 2025).

At the same time, the sector continues to face climate change, land degradation, inadequate irrigation, high production costs, limited access to finance, weak infrastructure and conflict.

The challenge has become more complicated because climate-related pressures increasingly interact with violent insecurity. Climate variability has contributed to changing patterns of rainfall, prolonged dry seasons, drought, desertification, flooding and declining water availability. These changes are particularly important in rural communities where livelihoods depend heavily on rain-fed agriculture and pastoralism. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2022) observes that climate change has already reduced food security in Africa through declining crop yields, deteriorating rangelands, livestock losses, disruptions to fisheries, reduced access to food and increasing food-price pressures.

Nigeria's vulnerability is particularly significant because agricultural production remains strongly dependent on environmental conditions. Farmers and pastoralists require access to land and water for their livelihoods, meaning that environmental degradation can increase competition over productive resources. However, it would be analytically problematic to assume that climate change automatically produces violent conflict or banditry. The relationship is mediated by political, economic and institutional conditions. The IPCC (2022) similarly cautions that climate is only one among several interacting factors affecting conflict and that climate-related conflict risks are intensified by poverty, weak institutions, insecure land tenure, inequality and dependence on weather-sensitive livelihoods.

The emergence and expansion of banditry in Nigeria adds another dimension to the country's agricultural and food-security crisis. Rural banditry, particularly in parts of Zamfara, Kaduna, Katsina, Sokoto, Kebbi, Niger and neighbouring areas, has involved kidnapping, cattle rustling, attacks on communities, extortion, destruction of property and the occupation or restriction of access to farmland. These activities directly affect the capacity of rural households to cultivate crops and maintain livestock. FAO (2024) identified armed banditry and kidnapping in north-western and north-central states as among the factors exacerbating Nigeria's food insecurity.

The interaction between climate change and banditry therefore creates what may be described as a double vulnerability. Climate change can reduce the productive capacity of rural households, while insecurity simultaneously reduces their ability to adapt to environmental changes. A farmer who loses crops to drought or floods may ordinarily respond by cultivating additional land, changing crops or seeking alternative income. However, when rural insecurity prevents access to farmland or markets, these adaptation options become severely constrained.

The seriousness of Nigeria's food-security situation is reflected in recent estimates. FAO (2024) reported that approximately 25.1 million Nigerians were experiencing food insecurity during October-December 2024, with the number projected to rise to 33.1 million during the June-August 2025 lean season. The organisation linked this deterioration to economic hardship, inflation, climate impacts and persistent violence.

Against this background, this paper examines the interconnected relationship between climate change, banditry and food security in Nigeria. It argues that these challenges should not be analysed as separate problems. Instead, they form part of an interconnected system in which environmental stress can deepen livelihood vulnerability, insecurity can reduce agricultural capacity, and declining food production can reinforce poverty and social instability.

Nigeria possesses substantial agricultural potential, yet the country continues to experience serious food-security challenges. This contradiction reflects the presence of structural constraints that extend beyond agricultural productivity itself. Climate change, insecurity, displacement, poor infrastructure, high input costs, weak rural institutions and inadequate investment have combined to reduce the resilience of agricultural communities.

Climate change represents one of the most important long-term pressures. Changes in temperature and precipitation affect planting seasons, crop yields, livestock productivity and water availability. Flooding can destroy crops and agricultural infrastructure, while drought and desertification reduce pasture and water resources. The IPCC (2022) identifies Africa as particularly vulnerable because many rural communities depend directly on climate-sensitive livelihoods and possess limited adaptive capacity.

Nigeria has also experienced increasing levels of rural insecurity. Armed banditry has developed beyond conventional criminal activity in some areas and has increasingly affected rural economic life. Farmers may be kidnapped for ransom, required to pay levies before accessing their farms, forced to abandon agricultural land or prevented from transporting produce to markets. In areas affected by persistent attacks, insecurity can therefore become a direct constraint on agricultural production.

Recent empirical evidence supports this relationship. A study of rural Nigeria found that both the incidence and severity of farmer-herder conflicts significantly increased household food insecurity, with conflict severity having a particularly strong effect (Ma, Abban, & Abdullahi, 2022). Similarly, research on conflict-induced shocks in Nigeria found that forced migration, fatalities, abduction and injury significantly worsened food insecurity and dietary diversity and affected agricultural investment decisions (Adeniyi et al., 2023).

The problem, therefore, is not simply that Nigeria faces climate change or banditry independently. The more important issue is how these pressures interact. Environmental stress may weaken rural livelihoods and intensify competition over scarce resources, while banditry can exploit existing socioeconomic vulnerabilities and further weaken agricultural production. The resulting reduction in food availability, access and stability can deepen household poverty and vulnerability.

This paper addresses this gap by examining climate change, banditry and food security as an interconnected problem rather than as isolated policy issues.

The broad objective of the paper is to examine the interconnected relationship between climate change, banditry and food security in Nigeria.

2. Conceptual Clarification

2.1 Climate Change

Climate change refers to long-term changes in climatic conditions, including changes in temperature, rainfall patterns, frequency of extreme weather events and other climatic characteristics. The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 1992) distinguishes climate change from natural climatic variability by emphasising changes attributable directly or indirectly to human activities that alter the composition of the global atmosphere.

In Nigeria, climate change manifests through rising temperatures, changing rainfall patterns, drought, desertification, flooding, heat stress and other environmental pressures. These processes have important implications for agriculture because most smallholder agricultural activities remain dependent on rainfall.

Climate change therefore affects agricultural production not only through direct damage to crops but also through its effects on soil fertility, water availability, livestock, pests, diseases and agricultural calendars.

2.2 Banditry

Banditry refers broadly to organised or semi-organised violent criminal activity involving armed groups that engage in activities such as kidnapping, cattle rustling, robbery, extortion, attacks on communities and destruction of property.

In Nigeria, contemporary rural banditry has become particularly pronounced in parts of the North-West and North-Central regions. Although banditry has several causes, including poverty, unemployment, weak state presence, illicit arms proliferation, cattle rustling and criminal entrepreneurship, environmental and livelihood pressures can contribute to the vulnerability of rural communities.

It is important, however, not to reduce banditry to climate change. Doing so may obscure the roles of governance failures, criminal networks, political interests, poverty and insecurity.

2.3 Food Security

Food security exists when people have physical and economic access at all times to sufficient, safe and nutritious food that meets their dietary needs and food preferences for an active and healthy life (FAO, 2006).

Food security is commonly understood through four interconnected dimensions:

- **availability:** whether sufficient quantities of food are produced or supplied;
- **access:** whether households possess the economic and physical resources required to obtain food;
- **utilisation:** whether food is properly consumed and utilised nutritionally; and
- **stability:** whether households can maintain access to food over time despite shocks.

Climate change and banditry can affect all four dimensions. Climate shocks can reduce availability, while insecurity can restrict access to farmland, markets and income. Displacement can affect food utilisation through deteriorating living conditions, while repeated climate and security shocks undermine stability.

This study is anchored primarily in Environmental Security Theory. The theory emerged from efforts to expand traditional conceptions of security beyond military threats to include environmental degradation, resource scarcity, livelihood vulnerability and human wellbeing.

The central argument is that environmental changes can create or intensify pressures on societies when communities depend heavily on natural resources for their livelihoods. Homer-Dixon (1999) argues that environmental scarcity can emerge from declining resource supply, increasing demand or unequal access to resources. Such scarcity can contribute to social tensions and conflict, particularly where institutions are unable to manage competing claims effectively.

Applied to Nigeria, the theory provides a useful framework for understanding how climate-related pressures may affect relations between farmers, pastoralists and rural communities. Declining pasture, water scarcity and land degradation can increase competition over natural resources. However, environmental scarcity alone does not necessarily produce violence. Political, economic and institutional conditions determine whether resource pressures are translated into conflict.

This qualification is particularly important in understanding banditry. Banditry should not be regarded as an automatic consequence of climate change. Rather, climate-related livelihood stress may interact with weak governance, poverty, insecurity, unemployment, land disputes and criminal networks to increase rural vulnerability.

The IPCC (2022) supports this more nuanced interpretation, noting that climate variability is associated with conflict through pathways involving food insecurity, livelihood losses and resource pressures, but that institutional weakness and socioeconomic conditions strongly mediate the relationship.

3. Methodology

The study adopted a qualitative research design based on documentary analysis. The design was considered appropriate because the purpose was to synthesise existing evidence and develop an analytical explanation of the relationship between climate change, banditry and food security in Nigeria.

Rather than generating primary survey data, the study relied on existing evidence from academic and institutional sources.

The study relied exclusively on secondary data. Sources included:

- peer-reviewed journal articles;
- books and book chapters;
- reports of the FAO;
- IPCC reports;
- World Bank publications;
- Nigerian government reports;
- National Bureau of Statistics publications;
- agricultural and food-security reports;
- policy documents;
- reports from international development organisations; and
- credible research institutions.

The literature was selected based on its relevance to climate change, agricultural vulnerability, banditry, rural insecurity, conflict, food security and livelihood resilience in Nigeria.

The collected materials were subjected to thematic analysis. Major themes were identified around:

1. climate change and agricultural vulnerability;
2. resource scarcity and rural insecurity;
3. banditry and agricultural disruption;
4. displacement and loss of livelihoods;
5. food availability and access;
6. food-price pressures;
7. institutional vulnerability; and
8. climate adaptation and security responses.

The analysis involved comparing evidence from different sources and identifying recurring relationships and contradictions within the literature.

4. Climate Change and Agricultural Vulnerability in Nigeria

Nigeria's agricultural sector is highly exposed to climatic variability. A significant proportion of agricultural production depends on rainfall, making farmers vulnerable to changes in the timing, duration and intensity of precipitation. Rising temperatures can increase evapotranspiration and reduce soil moisture, while droughts can reduce crop and livestock productivity.

Flooding presents another major challenge. Although floods are natural phenomena, changes in rainfall intensity and poor drainage can increase their destructive effects. Floods can destroy crops, livestock, roads, storage facilities and agricultural settlements.

Recent evidence demonstrates the scale of the problem. FAO reported that floods between 1 and 15 October 2024 affected more than 9.2 million people and submerged approximately 4.5 million hectares of land, including around 1.6 million hectares of farmland. Potential losses of maize, sorghum and rice production in the affected areas were estimated at approximately 1.1 million tonnes.

Climate change also affects livestock production. Increasing temperatures and changing rainfall can reduce pasture availability and water resources. In northern Nigeria, desertification and environmental degradation have contributed to the reduction of available grazing resources. Pastoralists may therefore move to areas where water and pasture remain available.

This movement can increase contact between pastoralists and sedentary farming communities. However, climate migration does not automatically produce violent conflict. Existing land-use arrangements, property rights, governance structures, local political relations and conflict-resolution institutions influence whether resource competition results in cooperation or violence.

Recent research on Nigeria similarly finds that precipitation variability, temperature change and water availability can influence the geography of farmer-herder conflict, while also demonstrating that sociopolitical factors remain important determinants in some locations.

5. Climate Change, Resource Competition and Rural Insecurity

The relationship between climate change and insecurity can be conceptualised through a chain of interconnected pressures:

Climate stress → resource scarcity → livelihood pressure → competition → weak conflict management → rural insecurity → displacement → agricultural disruption → food insecurity.

This does not mean that climate change causes every form of insecurity. Instead, environmental pressures may act as threat multipliers**.**

When rainfall declines and pasture becomes scarce, pastoralists may travel longer distances in search of water and grazing areas. When agricultural land becomes scarce, farmers may expand cultivation into areas traditionally used for grazing. Where institutions for managing these competing claims are weak, disagreements can escalate.

Climate change can also reduce the economic resilience of households. A farming household that loses crops to drought or floods may become more indebted and economically vulnerable. If employment opportunities outside agriculture are limited, household members may be exposed to further economic and security risks.

The IPCC (2022) explains that climate variability can influence conflict through food-price increases, livelihood losses and food and water insecurity. However, it also stresses that climate is one of several interacting drivers and that weak institutions, poverty and inequality can intensify climate-related conflict risks.

This perspective is useful for Nigeria because it avoids environmental determinism. Climate change creates pressures, but political and socioeconomic institutions determine how those pressures are managed.

6. The Rise of Banditry and Rural Vulnerability

Banditry has become a major dimension of Nigeria's contemporary security crisis. Its effects are particularly severe in rural areas because agricultural communities are geographically dispersed and often have limited access to state security institutions.

Bandit attacks can take several forms, including:

- kidnapping of farmers;
- attacks on rural settlements;
- cattle rustling;
- destruction of crops;
- extortion;
- illegal taxation;
- forced displacement;

- occupation of agricultural land; and
- restrictions on movement.

These activities affect agriculture directly and indirectly.

Directly, attacks may destroy crops, livestock, farm equipment and storage facilities. Indirectly, insecurity discourages farmers from cultivating distant farms, reduces labour availability and raises the costs of agricultural production.

A farmer who fears kidnapping may decide not to cultivate during the full agricultural season. Another may reduce the size of cultivated land or harvest crops prematurely. Farmers may also avoid using productive areas that are perceived to be insecure.

Recent evidence from Kebbi South illustrates the economic effects of banditry. A 2025 study found that exposure to banditry had a strong negative association with agricultural productivity and household food security, while farm size and access to credit had positive effects.

This suggests that security is not merely a social issue but an agricultural production factor.

Banditry and Agricultural Production: Agricultural production requires land, labour, capital, inputs and access to markets. Banditry can disrupt all of these factors.

Access to Land: Farmers may abandon farms located in insecure areas. In some communities, land may remain physically available but become practically inaccessible because farmers fear attack.

Labour: Violence can result in displacement and death, reducing the supply of agricultural labour. Families may also redirect labour from farming to household security, migration or other survival activities.

Agricultural Investment: Farmers are less likely to invest in irrigation, improved seeds, fertiliser, mechanisation or storage when they are uncertain about whether they will be able to harvest their crops. Evidence from conflict-affected Nigerian households indicates that conflict-induced shocks negatively affect agricultural investment and future productivity (Adeniyi et al., 2023).

Markets: Banditry disrupts roads and rural trading networks. Transporters may charge higher prices because of security risks. Farmers may also sell produce at lower prices to intermediaries because they cannot safely reach larger markets.

Livestock: Cattle rustling directly undermines pastoral livelihoods. The loss of livestock removes both food and financial assets and may push households deeper into poverty. Thus, banditry can generate a cycle in which insecurity reduces production, reduced production reduces income and poverty increases vulnerability to future insecurity.

7. Climate Change and Banditry as Interconnected Drivers

The central argument of this paper is that climate change and banditry should be understood as interacting rather than independent pressures.

Climate change can increase environmental and livelihood stress. Banditry can then exploit communities already weakened by that stress. Conversely, banditry can make climate adaptation more difficult.

For example, farmers affected by drought may need to relocate temporarily, diversify crops or seek alternative livelihoods. If the surrounding area is affected by banditry, these options become more limited.

Similarly, pastoralists experiencing declining pasture may move towards areas with better resources. If institutions for negotiating access are weak, tensions can increase.

However, the evidence does not support the simplistic claim that "climate change causes banditry."

Banditry is shaped by several factors, including criminal entrepreneurship, poverty, unemployment, governance failures, arms proliferation, weak policing, political instability and local disputes.

A more appropriate analytical model is therefore:

Climate stress + socioeconomic vulnerability + weak institutions + resource competition + criminal opportunity = heightened rural insecurity.

The resulting insecurity then feeds back into the agricultural system:

Banditry → displacement → reduced cultivation → lower agricultural output → food shortages → higher food prices → increased poverty → greater vulnerability.

This represents a **climate-security-food nexus**.

8. Implications for Food Security

Food Availability: Food availability depends heavily on domestic agricultural production. When farmers abandon farms because of insecurity or when climate shocks destroy crops, food supply declines. The effects can extend beyond affected communities because agricultural markets are interconnected. Production losses in major food-producing regions can influence food prices in urban markets.

Food Access: Even when food is available in markets, households may be unable to afford it. Banditry reduces household income while increasing the costs of transporting agricultural products. Climate-related production losses can also increase market prices. Thus, climate change and insecurity can affect both sides of food security: they reduce supply while simultaneously weakening household purchasing power.

Food Utilisation: Food insecurity is not simply about calories. Nutritional quality also matters. Conflict-affected households may reduce dietary diversity and rely increasingly on cheaper, less nutritious food. Evidence from Nigeria indicates that conflict-induced displacement, abduction, fatalities and other shocks are associated with worsening dietary diversity and food insecurity (Adeniyi et al., 2023).

Stability: Perhaps the most important impact is on the stability of food access. Households exposed to repeated droughts, floods, displacement and insecurity cannot easily recover between shocks. Consequently, even households that are temporarily food secure may become food insecure when another climate or security shock occurs.

9. The Regional Dimension

The effects of climate change and banditry are not evenly distributed across Nigeria.

North-West: States such as Zamfara, Katsina, Kaduna, Sokoto and Kebbi have experienced significant levels of banditry and kidnapping. These areas are also exposed to drought, desertification and pressure on land and water resources.

North-Central: The North-Central region is important for food production and has experienced farmer-herder conflicts, communal violence and displacement. Benue, Niger, Nasarawa and Plateau are particularly important in discussions about agricultural production and rural insecurity.

North-East: The North-East has experienced the effects of Boko Haram insurgency in addition to climate pressures. Although insurgency differs from banditry, both can produce similar effects on agriculture through displacement, restricted mobility and destruction of livelihoods.

Other Regions

Climate-related floods and other environmental hazards affect southern Nigeria as well. Rural insecurity is therefore not exclusively a northern problem, although the specific form and intensity of insecurity vary across regions.

The spatial differences demonstrate the importance of regionally specific policy interventions rather than a single national security response.

10. Food Price Inflation and the Climate-Security Nexus

The relationship between insecurity and food security extends beyond production. It also affects food prices.

When farmers produce less food, supply declines. When transport becomes more expensive because of insecurity, distribution costs increase. When climate-related disasters damage roads and markets, the cost of moving food increases further.

Nigeria's recent food-price situation illustrates this interaction. FAO reported that between October 2023 and October 2024, the price of beans increased by approximately 282 percent, while local rice prices increased by about 153 percent.

Food inflation therefore represents an important transmission mechanism through which climate and security shocks affect urban and rural households.

The problem is particularly severe for poor households because food constitutes a large proportion of household expenditure. When food prices increase, families may reduce the quantity or quality of food purchased, withdraw children from school, sell productive assets or increase indebtedness.

11. Displacement and the Loss of Agricultural Livelihoods

Displacement represents one of the strongest connections between insecurity and food insecurity.

Farmers who leave their communities lose access to farmland, livestock, storage facilities and local markets. Internally displaced persons may become dependent on humanitarian assistance and informal employment.

Displacement can also place pressure on host communities. Where displaced populations compete with host communities for food, land, water and employment, new tensions may emerge.

Conflict therefore produces both immediate and long-term agricultural consequences. Even after violence declines, farmers may be unwilling to return to areas where security remains uncertain.

This is why restoring food security requires more than distributing food aid. It requires restoring safe access to land, markets, agricultural inputs, credit and livelihoods.

12. Governance and Institutional Vulnerability

The effects of climate change and banditry are strongly influenced by the capacity of institutions.

Where governments possess effective early-warning systems, conflict-resolution mechanisms, agricultural extension services, security institutions and climate information systems, communities may be better able to manage shocks.

Conversely, weak institutions can allow small disputes over land and water to escalate.

Nigeria's challenge therefore involves not only environmental change and insecurity but also institutional capacity. Poor land governance, unclear property rights, inadequate rural policing and weak coordination between environmental, agricultural and security agencies can worsen the situation.

Environmental governance is particularly important because land and water are shared resources. Sustainable management requires mechanisms through which farmers, pastoralists, traditional institutions, local governments and security agencies can negotiate competing interests.

13. Policy Implications

Strengthening Climate-Smart Agriculture: Nigeria needs to expand climate-smart agricultural practices that improve productivity while reducing vulnerability to environmental shocks. These include drought-resistant crops, irrigation, water harvesting, improved soil management, agroforestry and better access to climate information.

Strengthening Rural Security: Security strategies should protect agricultural communities without undermining livelihoods. Rural policing, community-based early-warning mechanisms and improved intelligence gathering can help prevent attacks.

Security interventions should also address the economic networks that finance banditry rather than focusing only on the armed actors.

Improving Land and Water Governance: The management of land and water resources should become a central component of Nigeria's climate-security strategy. Transparent mechanisms for managing farmer-pastoralist relations are needed.

Strengthening Early-Warning Systems: Climate and conflict early-warning systems should be integrated. Information about drought, flooding, migration patterns, resource pressure and emerging local disputes can help governments intervene before crises escalate.

Supporting Displaced Farmers: Displaced agricultural households require more than humanitarian assistance. Government and development partners should provide seeds, tools, livestock support, credit and safe access to farmland where conditions permit.

Expanding Rural Infrastructure: Investment in rural roads, storage, irrigation, electricity and agricultural processing can improve resilience. Better infrastructure can also reduce post-harvest losses and improve market access.

Livelihood Diversification: Rural households should have access to non-farm income opportunities. Skills development, rural enterprises and small-business financing can reduce excessive dependence on climate-sensitive agriculture.

Strengthening Local Governance: Local governments and traditional institutions should be incorporated into climate-security planning. Local actors often possess detailed knowledge of resource-use patterns, migration routes and community-level disputes.

Integrated Government Response: Climate policy, agricultural policy and security policy should not operate in isolation. A farmer who receives improved seeds but cannot safely access farmland remains vulnerable. Similarly, deploying security personnel without addressing environmental and livelihood pressures may provide only temporary relief.

Conclusion

This paper examined the interconnected relationship between climate change, banditry and food security in Nigeria. The analysis demonstrates that climate change and rural insecurity constitute mutually reinforcing sources of agricultural vulnerability.

Climate change affects agricultural production through changing rainfall patterns, rising temperatures, drought, desertification and flooding. These pressures can weaken rural livelihoods and increase competition over land and water. However, environmental stress alone does not explain the emergence of banditry. Rather, climate-related pressures interact with poverty, unemployment, weak institutions, insecure land tenure, resource competition, arms proliferation and criminal networks.

Banditry subsequently intensifies agricultural vulnerability by restricting access to farmland, displacing farming households, destroying agricultural assets, disrupting markets and discouraging investment. These effects reduce food availability and household incomes while increasing the cost of food. Climate shocks and insecurity therefore combine to undermine the availability, accessibility and stability dimensions of food security.

The central implication is that Nigeria's food-security challenge cannot be addressed exclusively through agricultural production programmes or military responses to insecurity. The problem requires a broader climate-security-development approach. Climate adaptation must be connected to rural security, land and water governance, agricultural investment, livelihood diversification and local conflict-resolution mechanisms.

Ultimately, building food security in Nigeria requires strengthening the resilience of rural communities against both environmental and security shocks. The policy objective should not simply be to respond to bandit attacks or climate disasters after they occur but to reduce the underlying vulnerabilities that allow environmental stress and rural insecurity to reinforce each other.

References

Abbah, E. U., Doki, N. O., & Andohol, J. T. (2024). Climate change and herders-farmers conflict as drivers of food security in Nigeria: Toda-Yamamoto-Dolado-Lutkepohl approach. *Journal of Economic and Social Research, 10*(1), 25-38.

Adeniyi, O., Ajayi, M. A., & others. (2023). Conflict-induced shocks and household food security in Nigeria. *Sustainability, 15*(6), 5057. https://doi.org/10.3390/su15065057

Ameh, E. U. (2023). Effect of bandits' attacks on food security in Nigeria: A review. *[Journal publication details]*.

Food and Agriculture Organization. (2006). *Food security*. Rome, Italy: Author.

Food and Agriculture Organization. (2024). *26.5 million Nigerians projected to be food insecure in 2024*. Abuja, Nigeria: FAO.

Food and Agriculture Organization. (2024). *33.1 million Nigerians projected to be food insecure in 2025*. Abuja, Nigeria: FAO.

Food and Agriculture Organization. (2025). *Nigeria at a glance*. Rome, Italy: FAO.

Homer-Dixon, T. F. (1999). *Environment, scarcity, and violence*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability: Summary for policymakers*. Geneva, Switzerland: IPCC.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability: Chapter 9, Africa*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Ismail, A., & Nwogbo, A. N. (2024). An assessment of the effect of banditry on food security in Zamfara State, Nigeria. *AUN International Conference, 2*(1), 196–206.

Ma, W., Abban, O. J., & Abdullahi, M. (2022). Farmer-herder conflicts and food insecurity: Evidence from rural Nigeria. *Agricultural and Resource Economics Review*.

United Nations Framework Convention on Climate Change. (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. New York, NY: United Nations.

Additional recent literature

Edewor, S., & Ogbe, A. (2026). Climate change, natural resource conflicts and insecurity in Nigeria: Implication for food security. *Frontiers in Nutrition*.

Efobi, U., Adejumo, O., & Kim, J. (2025). Climate change and the farmer-pastoralist's violent conflict: Experimental evidence from Nigeria. *Ecological Economics, 228*, 108449. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108449

Gberevbie, D. E., & Aforijiku, O. E. (2025). Climate change-induced herder-farmer conflicts: Implications for food security in Ondo State, Nigeria. *Nnamdi Azikiwe Journal of Political Science, 10*(4), 32–45.

Omokaro, G. O. (2025). Multi-impacts of climate change and mitigation strategies in Nigeria: Agricultural production and food security. *Science in One Health, 4*, 100113. https://doi.org/10.1016/j.soh.2025.100113

Njoku, C. S., Ikwuoma, S. U., & Njoku, E. C. (2026). Climate change, herder-farmer conflicts, and food security crisis in Nigeria. *International Journal of Research and Innovation in Social Science, 10*(4), 7462–7475. https://doi.org/10.47772/IJRISS.2026.100400529

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

THE EFFECT OF DIGITAL ECONOMY ON HIGH-QUALITY DEVELOPMENT OF ECONOMIC GROWTH AND INDUSTRIAL RESTRUCTURING: POST-COVID-19 STRATEGIES

Assistant Professor K.R.Padma
Department of Biotechnology, Sri Padmavati Mahila Visvavidyalayam (Women's University)
ORCID: 0000-0002-6783-3248

K.R.Don
Department of Oral Pathology and Microbiology, Sree Balaji Dental College and Hospital, Bharath Institute of Higher Education and Research (BIHER) Bharath University
ORCID: 0000-0003-3110-8076

Abstract
In this study, it is explored how digital technology affects the economic development of European and Central Asian nations. Understanding the economic effects of digital technologies is essential given their increasing global connectivity, especially in varied regions like Europe and Central Asia. Industry 4.0 digital technologies including cloud computing, big data, analytics, and the Internet of Things have garnered significant interest from scholars and industry professionals. This study aims to investigate how digital technologies affect economic and environmental performance in the new Industry 4.0 age, based on information processing theory. The article frameworks how the advancement of digital technologies will affect economic growth, allowing for the identification of areas where faster digitalization will guarantee a rise in GDP and methods to enhance the standard of living in various domains. Groups of economic activities that have a direct impact on the growth of the digital economy were used in the research. The GDP elasticity coefficients from the development of the examined sectors were computed using regression model data, and these coefficients were then utilized to anticipate GDP under the developmental influence of the studied sectors while preserving the current trends. Our findings demonstrate that, despite a clear geographical disparity in the growth of the digital economy in the "Belt and Road" countries, the digital economy has a major positive impact on those nations' economic expansion. The primary means of influence is through encouraging the modernization of industrial structures, overall employment, and employment restructuring. Additionally, the demand for the digital industries has usually increased as a result of COVID-19, and this impact has been felt more on the demand side than the supply side. Particularly, during the pandemic, the digital sectors in Armenia, Israel, Latvia, and Estonia have demonstrated significant growth potential. Conversely, COVID-19 has harmed the digital sectors in the Philippines, Egypt, Turkey, and Ukraine. In the post-COVID-19 period, the development policies aim to boost the driving force of the digital economy on industrial upgrading, employment, and trade while bridging the "digital divide" between countries along the "Belt and Road."
Keywords: Digital technology, Economic effects, COVID-19, Digital economy, Bigdata, Global connectivity.

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) AND SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT IN NIGERIA

Dr. Philemon Paul Wambani
Department of Hospitality Management Technology, Ramat Polytechnic Maiduguri

Hamidu Umar
Department of Hospitality Management Technology, Ramat Polytechnic Maiduguri

Amos Samuel Sule
Department of Hospitality Management Technology, Ramat Polytechnic Maiduguri

Hussaini Abubakar
Department of Hospitality Management Technology, Ramat Polytechnic Maiduguri

Abstract
Artificial Intelligence (AI) and sustainable tourism development in Nigeria are the subjects of this study. Since artificial intelligence mimics human cognitive functions like learning, decision-making, and problem-solving through sophisticated algorithms and data processing, it is one of the most important areas of contemporary computing. The use of AI in the tourism industry helps to increase the effectiveness of resource management, lessen the effects on the environment, and improve visitor experiences. Additionally, the study highlights the distinctions between traditional and sustainable tourism while discussing the idea of sustainable tourism development and its economic, social, and environmental aspects. Additionally, it highlights how crucial AI and digital transformation are to predicting travel demand, tracking environmental effects, and enhancing destination marketing and planning. The paper highlights a few global examples that show how AI may be used to achieve sustainable tourism. The study comes to the conclusion that artificial intelligence is a strategic tool for attaining sustainable tourism development, as long as it is backed by sufficient digital infrastructure, qualified human resources, and suitable legal and ethical frameworks to guaranty long-term resource preservation and balanced development.
Keywords: Artificial Intelligence, Tourism, Sustainable Tourism Development

Introduction

Today, tourism is increasingly recognized as one of the forces behind sustainable development, especially in nations that aim to grow economically without compromising their cultures (Ogbonna et al., 2026). In contrast to traditional or conventional mass tourism, sustainable tourism prioritizes environmental conservation, cultural heritage protection, and equitable benefit sharing with host communities (Sihombing, et al., 2024). SDGs 8 (Decent Work & Economic Growth), SDG 11 (Sustainable Cities & Communities), and SDG 12 (Sustainable Consumption & Production Patterns) all support the sustainable growth that tourism currently provides (Gunawan, et al., 2020).

Sustainable tourism promotes cultural exchange on a global scale, which in turn fosters social cohesiveness. According to Chauhan (2025), Sweden is a "Sustainable Destination," which focuses on supporting national assets with the value of sustainability, while Costa Rica engages in community-based ecotourism, which aids in the preservation of biodiversity.

The implementation of sustainable tourism techniques offers both optimism and risk in developing nations. In addition to creating jobs, there is a chance that cultures will become commodities if this is not carefully considered. According to Beal (2025), "Bhutanese national tourism policy" emphasizes "high value, low impact" travel.

According to Chivandi et al. (2020), other nations, such as South Africa and Kenya, are engaging in community tourism with their heritages or "authentic experiences," which are practices that benefit the community because, when applied, "tourism can be designed to be the powerful force that drives inclusive, sustainable growth." Even though the study's focus is currently receiving a lot of attention, there is still a dearth of empirical data regarding the degree to which sustainable tourism promotes inclusive development and cultural exchange in Nigeria, particularly in the culturally diverse city of Calabar, which is also well-known for its lively festivals, music, and arts. The majority of the material currently available on the subject seems to ignore the socio-cultural aspect of the phenomenon in favor of concentrating on the economic or environmental aspects of tourism. By providing an evaluation of the degree to which artificial intelligence promotes sustainable tourism development in Nigeria, the current study will close this gap.

One of the most significant technological advancements of the twenty-first century is artificial intelligence. AI systems are becoming more and more capable of carrying out difficult cognitive tasks, analyzing massive datasets, producing content, and assisting with decision-making processes in a variety of industries, especially with regard to recent advancements in generative artificial intelligence (GenAI) and large language models (Ogbonna, et al., 2026). By facilitating data-driven policy making, increasing resource efficiency, and boosting the provision of crucial services like healthcare, education, and environmental management, academics contend that AI has the potential to greatly accelerate progress toward the SDGs (Greif et al., 2024). AI can help governments and companies find patterns in massive datasets and create more efficient solutions to challenging development issues through advanced analytics and predictive modeling.

The revolutionary potential of AI in solving sustainability issues has been emphasized more and more in recent years by scholars and international organizations. In order to promote a number of SDGs, such as climate action, food security, and excellent health and well-being, AI technologies have been used, for example, in climate monitoring, agricultural optimization, disaster prediction, and healthcare diagnostics (Ziemba et al., 2024). In a similar vein, sustainable education systems have employed AI-driven solutions to enhance learning results and increase access to educational resources, especially in underprivileged areas (Iqbal et al., 2025).These advancements demonstrate how AI may improve data collecting, analysis, and application across several industries, increasing the efficacy and efficiency of development activities. Additionally, generative AI technologies are becoming more widely acknowledged as effective instruments for promoting innovation.

Nigeria has the potential to completely benefit from sustainable tourism techniques due to its various cultures and landscapes. However, despite its clear advantages in fostering inclusive growth and cross-cultural interactions, sustainable tourism is still not fully implemented in Nigeria due to obstacles that limit its efficacy. These obstacles include a lack of human resources with the necessary skill set, inadequate support systems, or improper prioritization of the necessary formulation or management of sustainable tourism interventions, in addition to other issues like political instability, inadequate policies, or a lack of community involvement in tourism development processes, among others, as stated in (Egbo et al., 2025). However, the nation's rich cultural diversity and stunning landscapes are still mostly unexplored.

Good sustainable tourism practices exist in a few isolated locations, but they cannot be expanded or scaled up for national development. Significantly, the study closes the gaps in the literature about artificial intelligence's contribution to the growth of sustainable tourism.

Literature review

Sustainable Development

In international policy and scholarly debate, sustainable development has emerged as a key idea, especially when it comes to tackling today's environmental, economic, and social issues. The World Commission on Environment and Development's (WCED) 1987 report Our Common Future, which defined sustainable development as development that satisfies current needs without jeopardizing the capacity of future generations to satisfy their own needs, gave the term widespread recognition (Mensah, 2020; Purvis et al., 2021). This definition highlights how crucial it is to strike a balance between the demands of current development and long-term societal and environmental sustainability. Fundamentally, sustainable development incorporates social justice, economic expansion, and environmental preservation. To achieve long-term sustainability, these three pillars must be pursued concurrently because they are interrelated.

Reducing environmental degradation, protecting ecosystems, and managing natural resources responsibly are the main goals of environmental sustainability. Promoting steady, equitable economic growth that creates job opportunities while upholding ethical resource use is a key component of economic sustainability. Conversely, social sustainability seeks to enhance quality of life via fair access to social justice, healthcare, and education (Purvis et al., 2021, Leal Filho et al., 2022).

The twentieth century's rapid industrialization and economic growth had detrimental effects on the environment, which led to the emergence of the idea of sustainable development. Growing worries about resource depletion, social inequality, climate change, and biodiversity loss brought attention to the need for development models that strike a balance between environmental preservation and economic advancement. Therefore, sustainable development encourages a comprehensive strategy that takes into account the interdependence of social well-being, economic activity, and natural systems (Mensah, 2020).

Sustainable tourism

Additionally, sustainable tourism has evolved into a sophisticated instrument that promotes social change, cultural interchange, and economic inclusion. The usefulness of community-focused tourism in attaining equitable inclusion, community empowerment, or sustained development is confirmed by the current empirical context in Africa and other areas of the world (Adeniyi, Kumeka, Orekoya, & Adekunle, 2023; Uduji, Okolo-Obasi, & Asongu, 2022). According to the study, over 77% of respondents in the Calabar context acknowledge that tourism promotes economic inclusion, and over 74.5% concur that it facilitates cross-cultural interactions. These findings corroborate tourism's beneficial effects on social development.

Similar to the majority of other early studies on the effects of tourism in Nigeria, but with a different focus, the study introduces the following variables to assess the current scope of cultural exchange facilitated by tourism in the current study context, which have not yet been explored in the current discourses on tourism in Nigeria: the number of interactions between various cultures involved in the festivals, the preservation of native languages, the native theater, and the involvement of women and young people in tourism businesses, among others, which now give meaning to the concept of cultural exchange, which is acknowledged but not yet quantified in the country's tourism.

Additionally, the study supports García-Ramón et al. (2025)'s arguments regarding the effects of sustainable tourism on either facilitated or sustained development, connecting the effects on sustained consumption on the one hand, facilitated on the other, necessitating the immediate attention of sustained development within the host communities on the other, but requiring the validation facilitated on sustained development on the other. However, it also found that the respondents' levels of academic qualifications enhance the degree of impacts on facilitated cultural aspects of tourism (χ^2 = 11.54, p. In contrast to other studies by Serio, Dickson, de Graaff, and Pels (2024) and Zandi (2023), which stress the significance of institutional and technological facilitators in developed countries, the Calabar case study emphasizes the importance of community involvement and cultural relevance in the sustainability of tourism, especially in developing countries. In line with the claims made by Osinubi, Adedoyin, Osinubi, and Ajide (2023); Bashiru and Fagbolu (2023), the participation of women and young people in craft production, entertainment, and local buying and selling activities during the Calabar Carnival provides practical illustrations of the benefits of inclusivity. Instead, the application and relevance of the concept of sustainable tourism to the culturally diverse city of Calabar is what makes the study unique on a global scale. It demonstrates that, in addition to stimulating the economy, the event also provides sustainability in terms of maintaining the city's and the people's cultural identity and practices.
.

Artificial Intelligence

One of the most revolutionary technologies of the twenty-first century, artificial intelligence (AI) is changing societal structures, economies, and industries (Ogbonna et al., 2026). In general, artificial intelligence (AI) is the branch of computer science that focuses on creating machines and systems that can carry out tasks like reasoning, learning, perception, and decision-making that normally need human intellect (Russell & Norvig, 2021). AI systems can analyze intricate patterns and produce solutions that boost productivity and creativity in a variety of fields by combining sophisticated algorithms, sizable databases, and potent computer infrastructures.

When scientists started investigating whether robots could mimic some characteristics of human cognition in the middle of the 20th century, the idea of artificial intelligence was born. Rule-based systems, in which machines carried out tasks by following predetermined instructions, were a major component of early AI research. However, more advanced AI approaches, especially machine learning and deep learning, have emerged as a result of improvements in algorithmic design, the availability of big datasets, and advances in processing power (LeCun et al., 2021). Without explicit programming, these methods allow computers to learn from data and gradually improve their performance. As a result, sophisticated tasks like image recognition, speech processing, language translation, and predictive analytics can be completed with great accuracy by contemporary AI systems. The capabilities of artificial intelligence are derived from a number of subfields. One of the most well-known subfields is machine learning (ML), which focuses on creating algorithms that let computers learn from patterns in data.

Methodology

The study uses a critical literature review methodology to find and evaluate the body of knowledge regarding the application of AI in tourism to advance the Sustainable Development Goals. A critical literature review is more than just a summary of earlier studies; it includes a methodical examination and analysis, comparison of findings, identification of gaps and inconsistencies, and a nuanced explanation of how AI applications might support sustainable tourism performance.

As will be detailed below, the evaluation was developed and conducted in a methodical manner. Search Strategy: To find relevant literature, a thorough search of academic databases and sources was carried out. The main sources of information were the peer-reviewed databases Scopus and Web of Science; transdisciplinary and policy-focused literature was expanded using Google Scholar. Due to AI's quick adaptation, papers released after 2019 and up to 2024 were first used to focus the search on the most recent advancements (earlier seminal publications were added carefully and based on their relevance). To enable comprehensive and methodical coverage, the search technique made use of regulated key word variations. The publications that specifically mentioned the connection between AI (or certain AI technologies) and the results of sustainable tourism were among them.

Conclusion

When it comes to addressing the opportunities and problems of sustainable development, artificial intelligence is poised to revolutionize the tourism sector. According to this survey, AI-based systems will be able to accelerate the SDGs' attainment through improved economic, environmental, and inclusive growth patterns. However, these benefits are not given out equitably or automatically. AI has the potential to deepen digital disparities between technologically advanced and technologically trailing destinations, as well as between giant corporations and small tourist participants, in the absence of informalized governance systems, moral protection, and organized stakeholder interactions. In the end, artificial intelligence is a structural component of sustainable governance rather than its replacement. The degree of technology complexity alone does not determine its transformability; rather, it depends on how algorithmic systems are integrated into institutional accountability systems, regulatory frameworks, and inclusive decision-making processes.

Future research on AI and sustainable tourism should move beyond conceptual enthusiasm to knowledge based on empirical data. Although the concept of AI as an eco-friendly tourist tool is widely accepted, there aren't many thorough empirical investigations. In order to evaluate the true sustainability effects of AI interventions, such as energy consumption, waste, congestion, or community benefits, longitudinal designs and case comparisons should compare these aspects across the context of destinations in developing nations where changes in digital transitions vary more widely. This also entails assessing how tourists view AI-based sustainability nudges and the degree to which these systems can really alter tourists' behavior. In the meanwhile, instead of depending on top-down technological solutions, the emphasis should shift to inclusive innovation and how community-based tourism businesses may co-design AI technologies that would be appropriate to the local requirements.

References

Beal, B. (2025). Ecotourism in a Sustainable World: A Case Study of Bhutan and its Tourism Industry's Global Applicability (Doctoral dissertation)

Chauhan, N. (2025). Empowering communities and preserving heritage: Case studies on socially responsible travel through fair trade tourism. In Meaningful Tourism: Strategies and Future Development (pp. 163-182).

Chivandi, A., Samuel, O., & Muchie, M. (2020). African cultures as tourism innovative capability in South African tourism sector: a Gauteng Province perspective. *Geo Journal of Tourism and Geosites*, 30, 917-925.

Egbo, J. C., Anih, K., Jonas, O. M., Peter, O. E., & Obiokoye, U. C. (2025). Challenges of Sustainable Tourism Practice in Nigeria. *Rekayasa Sipil*, 19(2), 203-209.

Gunawan, J., Permatasari, P., & Tilt, C. (2020). Sustainable development goal disclosures: do they support responsible consumption and production?. *Journal of Cleaner Production*, 246, 11898.

Ogbonna H. O., Ogunbor I. J., Kuteyi.R. K., Ajayi.B. I. (2026). Artificial Intelligence (AI) and Sustainable Development (SD): A Systematic Review of Opportunities and Risks across SDGS 8, 10, and 12. *Direct Research Journal of Social Science and Educational Studies*, 14(1): 107-123.

Sihombing, I. H. H., Suastini, N. M., & Puja, I. B. P. (2024). Sustainable cultural tourism in the era of sustainable development. *International Journal of Sustainable Competitiveness on Tourism,* 3(02), 100-115

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE TRANSFORMATION OF HUMAN RESOURCE MANAGEMENT WITH REFERENCE TO THE IT COMPANIES IN UTTAR PRADESH

Bhavana Bhardwaj
Institute of Business Management and Commerce, Mangalayatan University

Anurag Shakya
Institute of Business Management and Commerce, Mangalayatan University

Abstract
Artificial Intelligence (AI) technology has developed rapidly, and has altered several fields including Human Resource Management (HRM). The present study deals with the influence of AI on HRM practices in the selected IT organizations in Uttar Pradesh, India. The emphasis is on understanding how AI is transforming recruiting, employe engagement, performance management and decision-making processes. AI-powered tools and technology are redefining the traditional responsibilities of HR to make HR operations more effective, data-driven and customized. This paper analyzes these changes and presents insights into the benefits and issues of AI adoption in HRM. The primary objective of the study is to assess the amount of integration of AI technologies in the HR functions of IT organizations in Uttar Pradesh. The study is based on a combined method of qualitative and quantitative analysis. The primary data is collected from survey and interviews of HR experts and managers in selected IT organizations. Secondary data such as literature review, case studies, and study on AI in HRM. The findings reflect a radical change in the way HR departments in these companies work, with AI taking over mundane tasks such as screening job applicants, onboarding new hires, employe engagement surveys and even performance reviews. AI-based solutions are being used more and more for predictive analytics in order to estimate the need for staff, which may help improve employe retention strategies. Another important aspect of AI is its role in recruiting. AI-powered algorithms allow HR managers to quickly sift thru thousands of resumes and applications, reducing biases and selecting the top applicants based on data-driven insights. There are worries, however, about the potential for algorithmic bias, data privacy and the need to upskill the HR profession to successfully employ artificial intelligence (AI) technology. The paper emphasizes the significance of combining AI-driven efficiency with the human touch in HRM, with HR professionals needing to ensure AI complements, rather than replaces, human judgment. The advent of AI has also brought major changes in employe performance evaluation and workforce management. Now managers can make data-backed decisions on promotions, training needs and other HR interventions. Also, managers can give fast feedback since performance indicators are now logged in real-time. This is creating a feedback loop thru AI that is increasing employe engagement and building a more agile workforce in the IT space." The paper also tackles ethical concerns in the application of AI in HRM, including openness in AI decision-making processes and ethical use of employe data. Finally, this research provides detailed knowledge of the revolutionary impact of AI on HRM practices in the selected IT organizations in Uttar Pradesh. AI is aiding HR workers in accelerating processes, enhancing decision-making, and crafting more personalized employe experiences.

However, organizations must carefully navigate the challenges of AI deployment, especially in the areas of ethics and workforce adaptation. Future research may explore the long-term effects of AI on HR practices and the evolving role of HR professionals in an AI-driven workplace.

Keywords: Artificial Intelligence, Human Resource Management, IT Companies, Uttar Pradesh, Recruitment, Performance Management, Employee Engagement, Predictive Analytics, Data Privacy, Algorithmic Bias

ANKARA INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH-XIV
October 02-04, 2026 / Ankara, Türkiye
WEB: www.ankarakongresi.org
E-MAIL: bilgi@ankarakongresi.org

EMPIRICAL ANALYSIS OF MARKETED NATURAL GAS PRODUCTION OF AFRICAN COUNTRIES, 2020-2025

Bailey Saleh
Department of Political Science, University of Maiduguri
ORCID: 0000-0002-5401-4382

Albert Bailey Saleh
Department of Political Science, University of Maiduguri

Abstract
The aim of the study is to empirically analyze Marketed Natural Gas Production of African countries between 2020 and 2025. The study adopted qualitative method in obtaining date. The document studies method was adopted in generating data from mainly secondary sources. Documents scrutinized include verifiable sources such as OPEC Statistical Bulletins, NNPC Bulletins and NPP Reports. Other documents scrutinized include academic journals, bulletins, textbooks, scholarly papers, and internet materials. Generated narrative data was analyzed through critical discourse method. While, empirical data were computed by the researcher and presented in tabular and graphical forms; and analyzed through descriptive and explanatory methods drawing inference where appropriate. Findings revealed that Africa being the least performing region of the world with 4,347,122.0b/cyr representing 6% of the world total marketed natural gas production (71,774,426.0b/ctr), has seriously underperformed in the global marketed natural gas industry. Further findings revealed that North America as the global regional leader with 18,169,800.8b/cyr representing 25% of the world total, has outperformed the African region by 418%. The study concludes that African political leaders have not fully enhanced institutional performances at macro-economic levels for improved marketed natural gas production, its effective utilization as additional energy source for powering the manufacturing industries and even as a vital domestic power source in homes. The study recommends that political leaderships of African countries should step-up the production and processing of marketed natural gas to meet rising domestic consumption needs and the surplus for export.
Keywords: Marketed Natural Gas, Industrialization, Manufacturing, Natural Gas Exports, Natural Gas Production, Natural Gas Imports.
JEL Classification: F5, F51, G13, R1.

1. Introduction

The discovery of natural gas on the African continent, took place simultaneously with that of petroleum oil in the past seventy years. The export of natural gas has in addition to petroleum oil, increased Africa's economic fortunes. This gives the continent a little ear at international fora regarding global issues and challenges such as climate change, green technology, pandemic diseases, disaster issues, migration and international political economy. The number of countries producing exporting and importing gas has been on the increase - to include Algeria, Angola, Egypt, Equatorial Guinea, Cote d'Ivoire, Gabon, Libya, Mozambique, Nigeria, South Africa, Tunisia, Morocco and Others. Africa stand to benefit from natural gas as they do in petroleum oil if they can reduce gas flaring and store this excess gas into a data bank for future use when the need arises.

The local processing of this natural gas within the African continent with the attendant plow-back in manufacturing and industrialization, will no doubt increase production activities on the continent that will not only provide employment opportunities for their teeming unemployed youths; but it will also economically empower the youths. Active engagement of these youths into the enlarged gas and gas-related production/processing activities locally, will not only empower them economically, but it will also greatly simmer-down rate of crimes, criminality, illegal migration, youth restiveness and insecurity on the African continent. (OPEC, 2018; NPP, 2017).

African oil producing countries have paradoxically become major importers and consumers of processed gas & gas products from foreign countries; due to lack institutional capacities to process the natural gas within the continent. The processing of Africa's exported natural gas by foreign countries automatically creates millions of jobs and economic empowerment for citizens of the processing countries; and the inverse simultaneous creation of unemployment, poverty and misery for majority of African citizens. The consequence of the lack of local capacities to process the natural gas within the continent has exacerbated the problem of unemployment, economic disempowerment of their citizens, and created serious economic and socio-political disequilibrium for their domestic economies. The motivation for this study is therefore driven by the low institutional capacities of African countries to turn their marketed natural gas into massive employment generation and wealth creation for their citizens and for the general development of their nations (LCCI, 2016; Saleh, 2019; OPEC, 2018).

2. Theoretical Framework

2.1 Comparative Administration Theory –

Among the pioneering scholars of comparative administration and government theory was Herbert Simon in 1957, who popularized it and came up with the normative approach. He also came up with the empirical approach aimed at making comparative analysis of administrations towards establishing whether they are performing efficiently or not. He is of the views that causes of inefficiencies in carrying out the tasks of government should be identified and appropriate strategies adopted towards making them perform efficiently. Other proponents of comparative government and administration (politics) theory include Gabriel Almond (1988), Betarlanfy (1969), Billy J. Dudley, (1973, 1982) and Christopher Kolade (2000). These scholars placed emphasis on the political and administrative institutions, governance style and the rate of development.

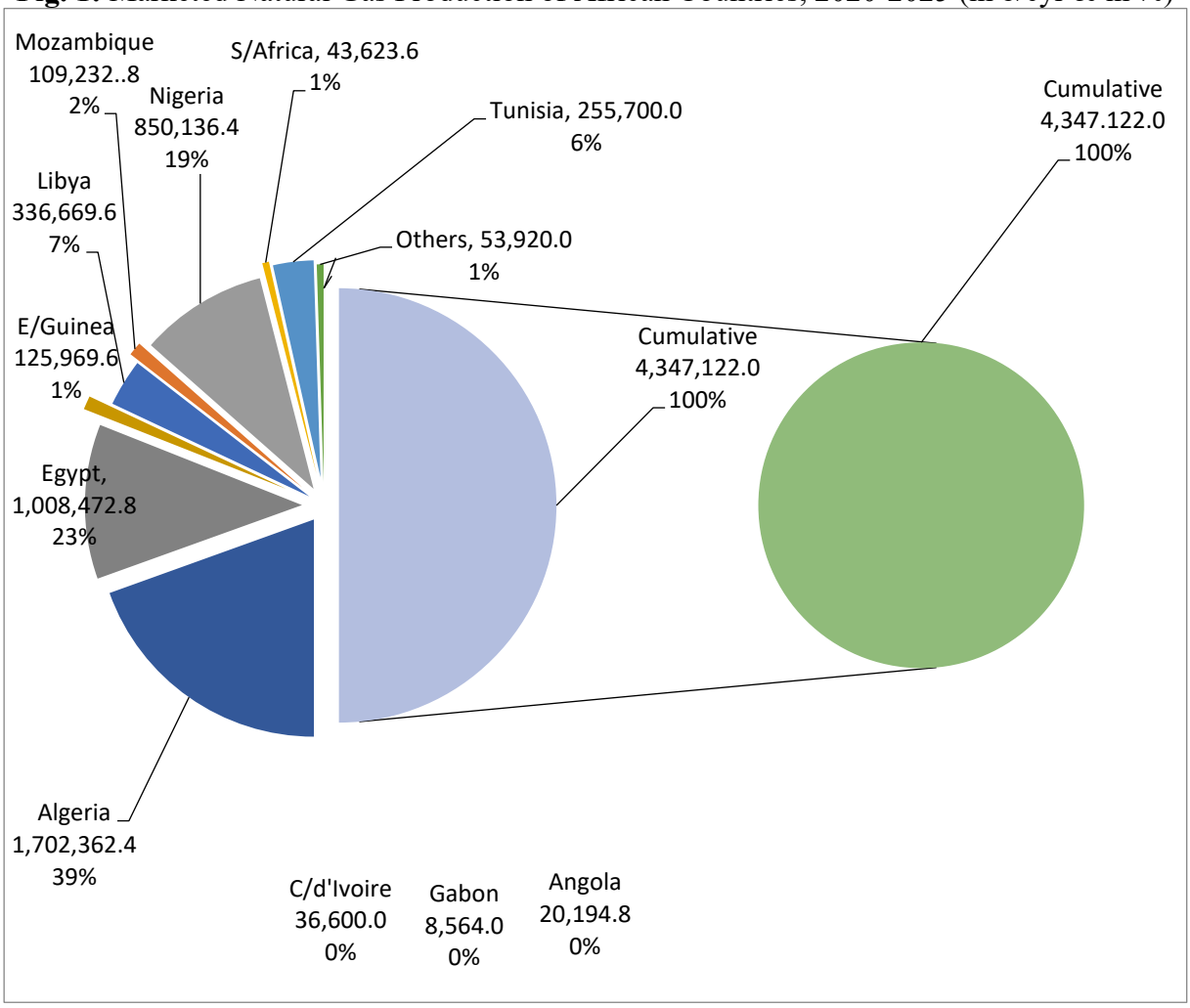
3. Materials and Methods

The study adopted qualitative method in obtaining data. The document studies method was adopted and utilized in generating data mainly from secondary sources. The research, which is the "Empirical Analysis of Africa's Marketed Natural Gas Production, 2020-2025", is essentially descriptive and explanatory. Relevant documents on African gas such as the OPEC Statistical Bulletin, and NNPC Statistica Data were scrutinized. Other documents scrutinized include: official documents such as annual reports, internal memoranda and policy manuals; as well as published materials such as textbooks, academic journals, scholarly papers, and internet materials. The generated narrative data was analyzed through critical discourse method. While, empirical data obtained from verifiable sources was computed by the researcher and presented in tabular and graphical forms; and analyzed through descriptive and explanatory methods; drawing inference where appropriate.

4.1 Marketed Natural Gas Production of African Countries, 2020-2025

As the intensity of natural gas prospecting and extraction increases in Africa, it also witnessed corresponding increase in the number of countries in the continent joining the elite league of marketed natural gas producing countries. It also witnessed continuous increases in the level and quantity of marketed natural gas that is being processed in the continent. The total marketed natural gas production of African countries between 2020 and 2025 stands at 4,347,122.0b/cyr, which represents 6% of the total world marketed natural gas production for the same period, which stands at 71,774,426.0b/ycr. The performances of African countries in terms marketed natural gas production between 2020 and 2025 are as follows: Algeria with 1,702,362.4b/cyr is 1st, Egypt is 2nd with 1,008,472.8b/cyr, Nigeria 3rd with 850,136.4b/cyr, Libya 4th with 336,669.6b/cyr, Tunisia 5th with 255,700.0b/cyr, Equatorial Guinea 6th with 125,969.6b/cyr and Mozambique 7th with 109,232.8b/cyr. Those who performed below one hundred thousand barrels per calendar year are: Others in the 8th position with 53,920.0b/cyr, South Africa 9th with 43,623.6b/cyr, Cote d'Ivoire 10th with 36,600b/cyr, Angola 11th with 20,194.8b/cyr and Gabon 12th with 8,564b/cyr (OPEC, 2017/18; CBN, 2015; NPP, 2017). This is summarized in Figure 1 below:

Fig. 1: Marketed Natural Gas Production of African Countries, 2020-2025 (in b/cyr & in %)



Source: Generated by the Researcher in 2025 as adapted from OPEC-AB, 2017/18

4.2 Marketed Natural Gas Production of African Countries Compared with OPEC, 2020-2025

The marketed natural gas production of African countries compared with OPEC indicates that the total cumulative of African countries for the period of the study stands at 4,347,122.0b/cyr representing 36% of OPEC's total cumulative of 11,897,215.2b/cyr. Iran leads OPEC with 3,163,346.7b/cyr (26%); followed by Qatar in the second position with 2,259,635.3b/cyr (19%); Algeria is third with 1,702,362.4b/cyr (14%), and Saudi Arabia is fourth with 1,649,000.0b/cyr (14%). The rest of the OPEC members scored below 10% of the OPEC total. Algeria 1,702,362.4b/cyr (14%) as the leader of the African continent, is the only country in Africa that scored above 10% of the OPEC total. Whereas, the performances of the remaining four African OPEC members are as follows: Nigeria is second with 850,136.4b/cyr (7%), Libya 336,669.6b/cyr (3%), Angola 20,194.8b/cyr (0%) and Gabon 8,564b/cyr (0%). This leaves non-OPEC African countries with 1,429,194.88b/cyr representing 12%. The OPEC Cumulative Annual Average (OCAA) stands at 594,860.76b/cyr; and the OPEC Cumulative Country Average (OCCA) stands at 915,170.4b/cyr (OPEC, 2017/18; NPP, 2017). This is summarized in Table 1 and Figures 2, and 3 below:

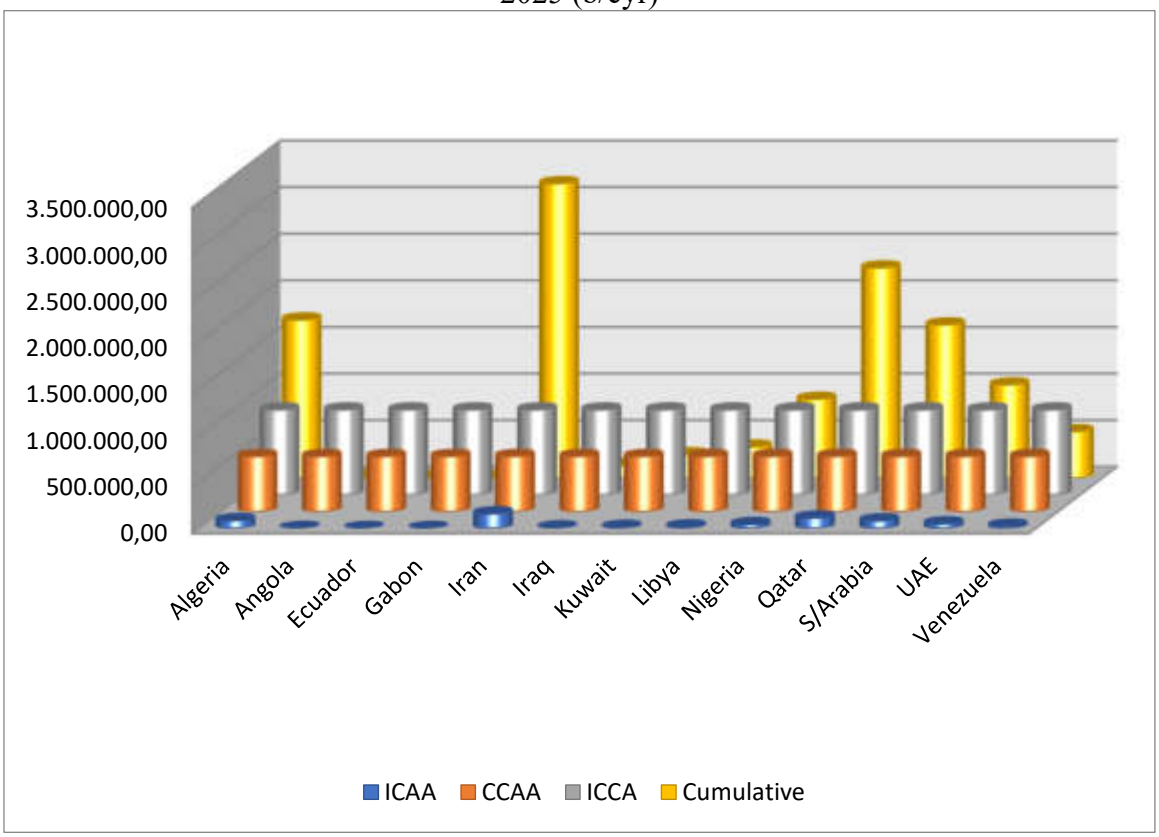
Table 1: Marketed Natural Gas Production of African Countries Compared with OPEC, 2020-2025 (in b/cyr & in %)

S/No.	Countries	ICAA	OCAA	OCCA	Cumulative	Percentage
1.	Algeria	85,118.12	594,860.76	915,170.4	1,702,362.4	14%
2.	Angola	1,009.74	594,860.76	915,170.4	20,194.8	0%
3.	Ecuador	333.3	594,860.76	915,170.4	6,666.7	0%
4.	Gabon	428.2	594,860.76	915,170.4	8,564.0	0%
5.	Iran	158,157.3	594,860.76	915,170.4	3,163,346.7	26%
6.	Iraq	7,026.4	594,860.76	915,170.4	140,528.0	1%
7.	Kuwait	12,674.7	594,860.76	915,170.4	253,493.3	2%
8.	Libya	16,833.48	594,860.76	915,170.4	336,669.6	3%
9.	Nigeria	42,506.82	594,860.76	915,170.4	850,136.4	7%
10.	Qatar	112,981.0	594,860.76	915,170.4	2,259,635.3	19%
11.	Saudi Arabia	82,450,0	594,860.76	915,170.4	1,649,000.0	14%
12.	UAE	50,248.6	594,860.76	915,170.4	1,004,971.3	10%
13.	Venezuela	25,082.3	594,860.76	915,170.4	501,646.7	5%
	Total	594,860.76	7,733,189.88	11,897,215.2	11,897,215.2	100%

Source: Generated by the Researcher in 2025 as adapted from OPEC-AB, 2017/18

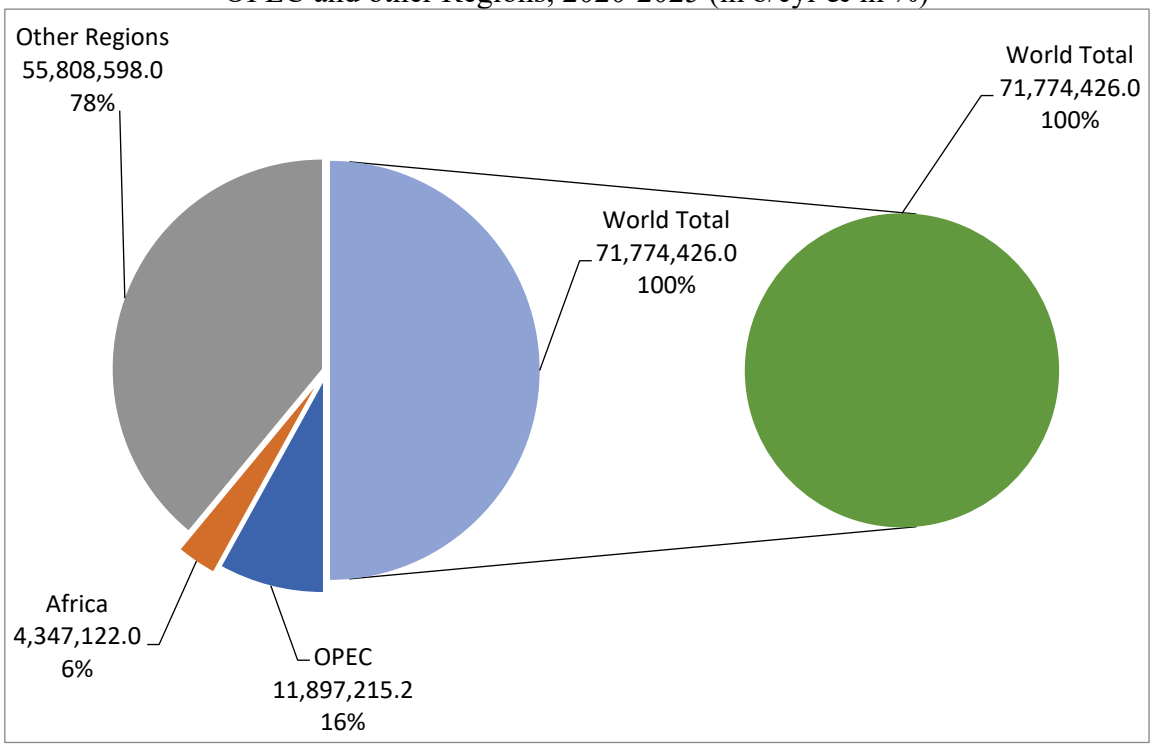
Key: **ICAA –** Individual Country Annual Average
CCAA – Cumulative Country Annual Average
OCAA – OPEC Cumulative Country Average

Fig. 2: Marketed Natural Gas Production of African Countries Compared with OPEC, 2020-2025 (b/cyr)



Source: Generated by the Researcher in 2025 as adapted from OPEC-AB, 2017/18

Fig. 3: Cumulative Marketed Natural Gas Production of African Countries Compared with OPEC and other Regions, 2020-2025 (in b/cyr & in %)



Source: Generated by the Researcher in 2025 as adapted from OPEC-AB, 2017/18

4.3 Africa's Marketed Natural Gas Production Compared with other Regions of the World, 2020-2025

Africa squares up with Latin America as the least marketed natural gas producers of the world. Africa's total regional cumulative for the period of the study stands 4,347,122.0b/cyr; which represents 6%, of the total cumulative of the seven regions (71,774,426.0b/ctr) is not so impressive. Africa's performance is slightly above the individual regional cumulative annual average (IRCAA) of 3,588,721.3b/cyr (5%). North America the regional leader and the highest marketed natural gas producer of the world, use it to power their industries and factories. This makes the region more economically buoyant and sustaining its position as the world's number one region with the biggest economy of the 21st Century (OPEC, 2017/2018). Africa can turn gas into wealth to widen the foreign revenue sources of the continent. A broad-based revenue sources that is directed at domestic production processes in manufacturing and industrialization, will further attract more foreign capital for the continent. Summary of the performances of the remaining five regions are as follows: North American region leads others in marketed natural gas production with 17,745,952.0b/cyr (27%); Latin America 4,401,620.0b/cyr (6%), Eastern Europe 17,209,026.0b/cyr (23%), Western Europe 5,030,176.0b/cyr (7%), Middle East 12,840,000.0b/cyr (17%) and Asia & Pacific 10,200,530.0b/cyr (14%). The combined performances of the two western regions (North America and Western Europe) who are the greatest buyers of Africa's natural gas stands at 22,776,128.0b/cyr representing 32% of the total cumulative of the seven regions of the world for the period of the study. The implication of this is that the two major regional buyers of Africa's natural gas will certainly be the determinants of the price as well. In addition, the Asia & Pacific region (that houses China and others) to which bulk of Africa's natural gas is sold also outperformed continental Africa. As such, whenever the above three major buyers of Africa's marketed natural gas become self-sufficient in the production of their marketed natural gas, the fortune of Africa's marketed natural gas will be at the mercy of its three major regional benefactors in this regard (CBN, 2015; LCCI, 2016, NPP, 2017).

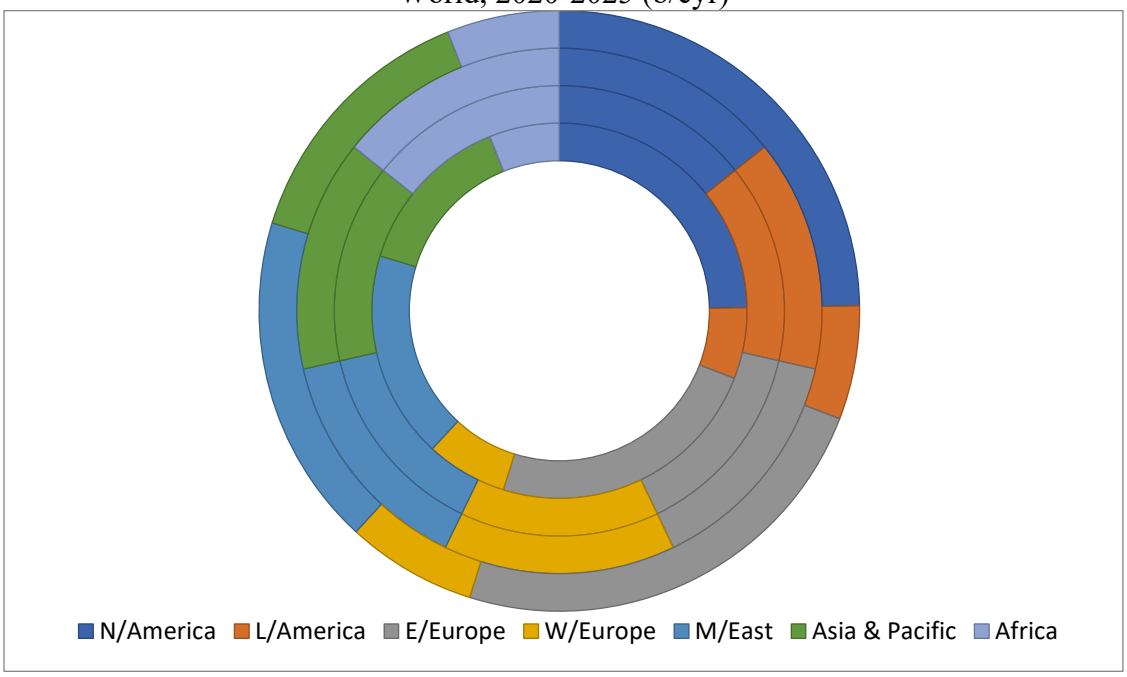
Therefore, the regional performances of the world in terms of marketed production of natural gas are summarized in Table 2 and Figure 4 below:

Table 2: Africa's Marketed Natural Gas Production Compared with Six Other Regions of the World, 2020-2025 (in b/cyr & in %)

S/No.	Regions	IRCAA	Cumulative	TRCAA	RCAA	Percentage
1.	North America	887,297.6	17,745,952.0	3,588,721.3	10,253,489.4	27%
2.	Latin America	220,081.0	4,401,620.0	3,588,721.3	10,253,489.4	6%
3.	Eastern Europe	860,451.3	17,209,026.0	3,588,721.3	10,253,489.4	23%
4.	Western Europe	251,508.8	5,030,176.0	3,588,721.3	10,253,489.4	7%
5.	Middle East	642,000.1	12,840,000.0	3,588,721.3	10,253,489.4	17%
6.	Asia & Pacific	510,026.5	10,200,530.0	3,588,721.3	10,253,489.4	14%
7.	Africa	217,356.1	4,347,122.0	3,588,721.3	10,253,489.4	6%
	Total	3,588,721.3	71,774,426.0	25,121,049.1	71,774,426.0	100%

Source: Generated by the Researcher in 2025 as adapted from OPEC-AB, 2017/18

Fig. 4: Africa's Marketed Natural Gas Production Compared with Six Other Regions of the World, 2020-2025 (b/cyr)



Source: Generated by the Researcher in 2025 as adapted from OPEC-AB, 2017/18

4.4 Summary of Marketed Gas Production, Imports and Exports of Africa Compared with Six Other Regions of the World, 2020-2020

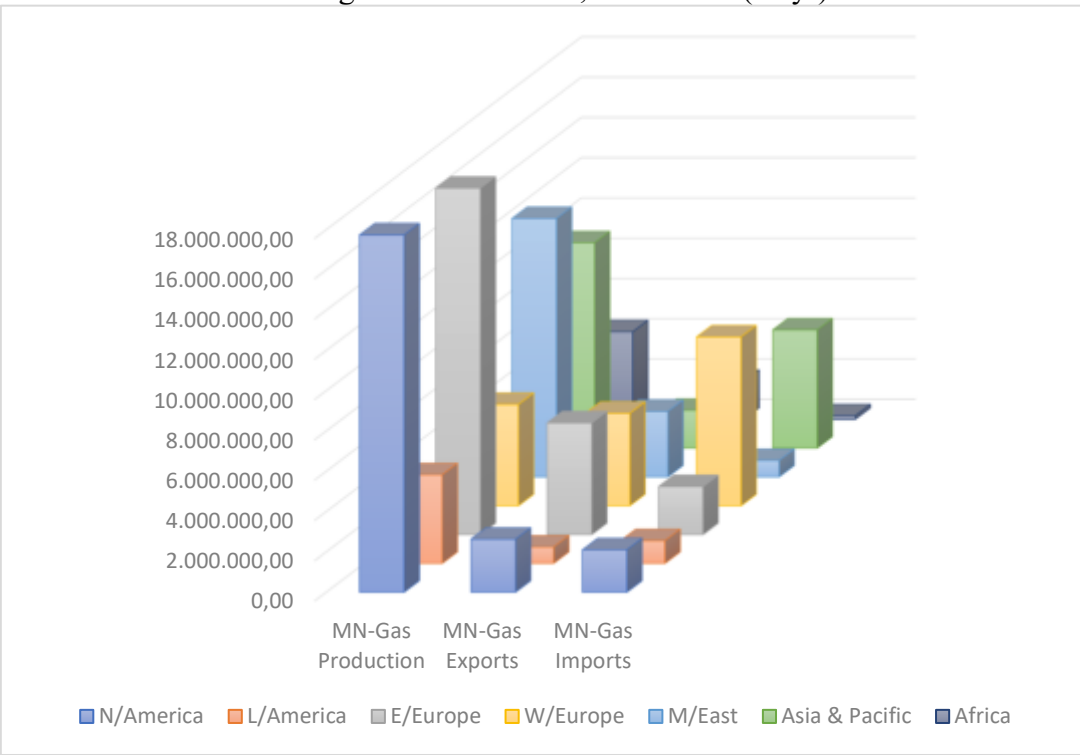
Summary of marketed gas production, exports and imports of Africa compared with six other regions of the world shows Africa coming last. The North American region leads others in marketed natural gas production with 17,745,952.0b/cyr (27%). While, Eastern Europe & Eurasia with 5,545,834.0b/cyr (27%), leads other regions in terms of exports of marketed natural gas; just as Western Europe 8,385,390.8b/cyr (38%) leads in terms of imports. The Asia & Pacific region with 5,870,432.8b/cyr (28%) and as a fast-industrializing region performs very well by placing second after Western Europe in terms of imports. China the regional leader uses the huge gas it imported for powering its industries and its ever-growing manufacturing outfits (OPEC, 2017/18; CBN, 2015). This is summarized in Table 3 and Figure 5 below:

Table 3: Summary of Marketed Gas Production, Imports and Exports of Africa Compared with Six Regions of the World, 2020-2025 (in b/cyr & in %)

S/No	Regions	Production	%	Exports	%	Imports	%
1.	North America	17,745,952.0	27%	2,635,740.0	13%	2,107,456.0	10%
2.	Latin America	4,401,620.0	6%	815,742.0	4%	1,127,944.0	5%
3.	E/Europe & Eurasia	17,209,026.0	23%	5,545,834.0	27%	2,382,462.8	16%
4.	Western Europe	5,030,176.0	7%	4,586,798.0	22%	8,385,390.8	38%
5.	Middle East	12,840,000.0	17%	3,252,254.0	16%	821,776.4	3%
6.	Asia & Pacific	10,200,530.0	14%	1,877,906.0	9%	5,870,432.8	28%
7.	Africa	4,347,122.0	6%	1,878,020.0	9%	179,552.4	0%
8.	**World**	**71,774,426.0**	**100%**	**20,592,390.0**	**100%**	**20,875,015.2**	**100%**

Sources: Generated by the Researcher in 2025 as adapted from OPEC-AB, 2017/18

Fig. 5: Summary of Marketed Gas Production, Imports and Exports of Africa Compared with Six Regions of the World, 2020-2025 (b/cyr)



Sources: Generated by the Researcher in 2025 as adapted from OPEC-AB, 2017/18

5. Summary of Major Findings, Conclusion/Recommendations

From the analysis so far, the following major findings have been sieved:

5.1 Major Findings

From the analysis so far, the following major findings have been sieved:

1. The study established that Africa with marketed natural gas production of 4,347,122.0b/cyr representing 6% of the world total, is the least performing region among other regions of the world.
2. The study also established that Africa has been outperformed by the remaining regions of the world as follows: North American region by 408.22%, Eastern Europe by 395.87%; Middle East region 295.37%; Asia & Pacific region 234.65%; Western Europe region 115.71%; and the Latin America region 101.25%.
3. The study further established that North America as the global regional leader, has outperformed the African region by 408.22%.
4. The study further established that OPEC with 11,897,215.2b/cyr marketed natural gas production, representing 16% of the world total; has outperformed the African region by 273.68%.

5.2 Conclusion

Conclusion can be drawn that Africa being the least performing region of the world in the terms of marketed natural gas production, has seriously underperformed in the global marketed natural gas industry. The implication of Africa's very poor performance in this regard is so dire on jobs and wealth creation with spiral effects on general security in their domestic environments.

5.3 Recommendations

From the conclusion, the study hereby recommends that African countries should step-up the production of marketed natural gas and fall back on the processing of same to meet up with the continent's local consumption needs; with the resultant boosting of productive activities in their manufacturing industries and factories. Gas flaring which hitherto has resulted in great wastage of gas with the accompanying loss of revenue; should be minimised where surplus gases be stored in data bank for re-use in the future.

References

Adeleke, K. M; Olowe, S. O. & Fasesin, O. O. (2014). Impact of FDI on Nigeria's Economic Growth. *International Journal of Academic Research in Business and Social Studies*,4(8), 234-242.

Adeola, G. L. & Ogunnoiki, A. O. (2015). The Pursuance of Nigeria's Domestic and Foreign Policy: Complimentarily or Contradiction. *Journal of Social Sciences and Humanities.* 1(4), 23-38.

Almond, G. (1988). "The Return of the State." *American Political Science Review,* Standford University, JSTOR.

Awolusi, O. D. (2012). Foreign Direct Investment and Economic Growth in Nigeria: A Vector Error Correcting Modeling. *Journal of Research in Economics and International Finance*, 1(3). Sept.

Betarlanfy, L. (1969). *General Systems Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: G. Braziller.

CBN (2015). Foreign Reserve and Brent Crude. Central Bank of Nigeria Quarterly Statistical Bulletin.

Cox, R. (1987). *Production, Power and World Order: Social Forces in the making of History.* New York: Columbia Press.

Dudley, B. J. (1973). *Instability and Political Order*: *Politics and Crisis in Nigeria*. Ibadan: University Press Limited.

Dudley, B. J. (1982). *An Introduction to Nigerian Government and Politics*. Bloomington: Indiana University Press.

Ejiba, V. I. & Omolade, K. O. (2016). Sectoral Contribution to Nigeria's GDP Growth Rate: A Study of Multicollinearity in Aggregated Time Series Data. *Journal of Scientific Research and Reports*, 11(1), 16-27.

Gilpin, R. (2001). *Global Political Economy: Understanding the International Economic Order*. New Jersey: Princeton Hall Press.

Kolade, C. (2000). *Comparing Foreign Policy: Trends, Findings and Methods*. Ibadan: Freeman Press.

LCCI (2016). Nigeria; Looking beyond Oil. Lagos: A Publication of Lagos Chambers of Commerce and Industry.

Moses, C. O.; Anigbogu, T. U. Okoli, M. I. & Anyanwu, K. N. (2013). Domestic Investment and FDI flows to Nigeria. *IOSR Journal of Humanities and Social Sciences*, 13(1), 1-12.

National Petroleum Policy (2017). Nigerian Government Policy and Actions, 2017. Abuja: Ministry of Petroleum Resources Publications.

NNPC-DPR-AR (2014). Nigeria National Petroleum Corporation-DPR Annual Report, 2014.

NNPC-AR (2017/2018). Nigeria National Petroleum Corporation-Annual Report, 2017/2018.

NNPC-AR (/20172018). Nigeria National Petroleum Corporation Statistic Bulletin, 2017/2018.

Onyali, C. I. & Okafor, T. (2014). FDI and the Nigerian Economy: Vision 20 2020 Mission. *International Journal of Business and Financial Management Research*, 2(1), 8-16.

OPEC (2017/2018) *OPEC Annual Statistical Bulletin 2017/2018*. http://www.opec.org Accessed on 26th June, 2019.

Oyatoye, et-al (2011). FDI, Export and Economic Growth in Nigeria. *European Journal of Humanities and Social Sciences,* 2(1).

Simon, H. A. (1957). *Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Process in Administrative Organization,* 2nd Ed. New York: The Free Press.

Saleh, B. (2008). *The New Global Agenda and the Role of United States of America in World Politics*. Jos: Midland Press Limited.

Saleh, B. (2019). Empirical Comparison of Nigeria's Foreign Policy and Foreign Direct Investment in the Fourth Republic 1999-2018. International Organization of Scientific Research Journals Series – *IOSR Journal of Humanities and Social Science*. 24(5), Series 10; 17-38.

Uya, O. E. (1992). Economic Dimension of Nigeria's Foreign Policy. *In:* Uya, O. E. (eds.), *Contemporary Nigeria*. Buenos Aires: EDIPUBLISA.

Wallerstein, I. (1989). *The Modern World System III: The Second Era of Great Expansion of the Capitalist World Economy*, 1730-1840s. New York: Academic Press

İKSAD ENSTİTÜSÜ
Çankaya – Ankara
06-146-071

Konu : Kongre Düzenlenmesi 18.05.2026
Sayı : BSE-21

İLGİLİ KURUMA

İçişileri Bakanlığı tarafından tahsis edilen 06-146-071 tescil kodu ile Tüzel Kişiliğe sahip olan İKSAD Enstitüsü 5253 sayılı kanuna uygun olarak "Bilimsel araştırmalar ve akademik çalışmalar" alanında ulusal ve uluslararası düzeyde faaliyetlerini yürütmektedir.

Kurumumuzun Yönetim Kurulu 15 Ocak 2024 tarihinde saat 10.30'da "Bilimsel Diplomasi Projesi" görüşmeleri ile "Bilimsel Kongreler Düzenlenmesi" gündemleri ile toplanmış ve alınan (2 numaralı) karara istinaden aşağıda detayları yazılı olan bilimsel etkinliğin düzenlenmesine ve etkinliğe ilişkin resmi görevlendirme konusunda karar vermiştir.

Bilgi ve gereğini rica ederim

Dr. Mustafa Latif EMEK
Yönetim Kurulu Adına

Etkinlik Adı: 14. ULUSLARARASI
ANKARA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ
Etkinlik Tarihi ve Yeri: 02-04 Ekim 2026, Ankara

DÜZENLEME KURULU
Prof. Dr. Salih ÖZTÜRK, Düzenleme Kurulu Başkanı
Prof. Dr. Muhittin ELİAÇIK, Düzenleme Kurulu Üyesi
Doç. Dr. Özlem ÜLGER, Düzenleme Kurulu Üyesi
Doç.Dr. Tuba ERKAYA KOTAN, Düzenleme Kurulu Üyesi
Doç. Dr. Gönül SAMEDOVA, Düzenleme Kurulu Üyesi
Doç. Dr. Doğan ÇİLOĞLU, Düzenleme Kurulu Üyesi
Dr. Öğr. Üyesi. Mehmet TATOĞLU, Düzenleme Kurulu Üyesi
Dr. Elvan CAFEROV, Düzenleme Kurulu Üyesi

Etkinlik linki: https://www.ankarakongresi.org/

REF : Akademik Teşvik 20/10/2026

İLGİLİ MAKAMA

14. ULUSLARARASI ANKARA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ 2-4 Ekim 2026 tarihleri arasında Ankara / Türkiye'de 32 farklı ülkenin (Türkiye-129, Diğer Ülkelerden-162) akademisyen/araştırmacılarının katılımıyla gerçekleşmiştir. Kongre 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz edilir,

Saygılarımla

Prof. Dr. Salih ÖZTÜRK
Chairman of the Scientific Board / Bilim Kurulu Başkanı

