T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

GELENEKSEL VE TABAN İZOLATÖRLÜ BETONARME YAPILARIN YAPISAL PERFORMANS VE MALZEME KULLANIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Yüksek Lisans Tezi

ONUR ZÜBARİOĞLU

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI

Eş Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÜNSAL

İstanbul – 2025

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Onur ZÜBARİOĞLU

Tezin Dili **:** Türkçe

Tezin Adı **:** Geleneksel ve Taban İzolatörlü Betonarme Yapıların Yapısal Performans ve Malzeme Kullanımı Üzerindeki Etkileri

Enstitü **:** İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı **:** İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezin Türü **:** Yüksek Lisans

Tezin Tarihi **:** 18.07.2025

Sayfa Sayısı **:** 180

Tez Danışmanları **:** 1. Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI
2. Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÜNSAL

Dizin Terimleri **:** Deprem mühendisliği, Taban yalıtımı, Sismik izolasyon, Yapı performansı

Türkçe Özet **:** Bu tez çalışmasında, aynı geometriye sahip yapılar üzerinde yapılan modal analiz ve deprem yükleri altındaki performans değerlendirmeleri sonucunda; deplasman, kat öteleme oranı, taban kesme kuvveti gibi parametreler ile beton ve donatı ihtiyacı incelenmiştir. İzolatörlü sistemin yapısal talepleri azalttığı ve uzun vadede ekonomik avantaj sağlayabileceği görülmüştür.

Dağıtım Listesi **:**

1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Onur ZÜBARİOĞLU

T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

GELENEKSEL VE TABAN İZOLATÖRLÜ BETONARME YAPILARIN YAPISAL PERFORMANS VE MALZEME KULLANIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Yüksek Lisans Tezi

ONUR ZÜBARİOĞLU

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI

Eş Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÜNSAL

İstanbul – 2025

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Onur ZÜBARİOĞLU

…/…/2025

İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Onur ZÜBARİOĞLU'nun Geleneksel ve Taban İzolatörlü Betonarme Yapıların Yapısal Performans ve Malzeme Kullanımı Üzerindeki Etkileri adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği anabilim dalı, İnşaat Mühendisliği bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan *Prof. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN*

Üye *Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI*
(Danışman)

Üye *Dr. Öğr. Üyesi Hamit ÖZTÜRK*

ONAY
Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.
... / ... / 20..

İmzası
Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Deprem etkisi altındaki yapıların güvenliğini artırmak amacıyla geliştirilen sismik izolasyon sistemleri, özellikle yüksek sismik risk taşıyan bölgelerde önemli bir tasarım seçeneği haline gelmiştir. Bu tez çalışmasında, kurum onayından geçmiş ve imalatı gerçekleştirilmiş bir betonarme yapının sismik izolatörlü ve izolatörsüz iki farklı tasarımı analiz edilerek karşılaştırmalı bir değerlendirme sunulmuştur. Aynı geometriye sahip yapı modelleri için modal analiz, deprem etkisi altındaki deplasman, kat öteleme oranları ve taban kesme kuvvetleri gibi performans parametreleri incelenmiş; ayrıca beton ve donatı miktarı gibi yapısal malzeme ihtiyaçları analiz edilmiştir. Yapısal analiz ve modelleme işlemleri, **lisanslı olarak temin edilen ideCAD Statik v11** ve **ETABS 20** programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda hem izolatörlü hem de geleneksel tasarımlar aynı analiz parametreleri altında değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, sismik izolatör kullanımının yapının deprem performansını anlamlı ölçüde artırdığını ve üst yapıdaki talepleri azalttığını ortaya koymuştur. Başlangıç maliyetlerinin izolatörlü sistemde daha yüksek olmasına rağmen, donatı ve beton miktarındaki azalmalar ile birlikte değerlendirildiğinde, uzun vadede ekonomik avantaj sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Gerçek bir yapı üzerinden yürütülen bu uygulama, benzer mühendislik projeleri ve yatırım kararları için önemli teknik ve ekonomik göstergeler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sismik izolasyon, izolatörlü yapı tasarımı, betonarme bina, deprem performansı, maliyet analizi

SUMMARY

Seismic isolation systems, developed to enhance the safety of structures under earthquake effects, have become a crucial design option, particularly in regions with high seismic risk. In this study, a comparative evaluation is presented by analyzing two design alternatives—one with seismic isolators and one without—of a reinforced concrete building that has been officially approved and constructed. For structures with identical geometry, performance parameters such as modal analysis, displacements under seismic loads, interstory drift ratios, and base shear forces were assessed. Additionally, the required quantities of structural materials such as concrete and reinforcement were calculated, and the impact of isolator usage on the overall structural cost was examined.

Structural modeling and analyses were conducted using licensed versions of **ideCAD Statik v11** and **ETABS 20** software. The results demonstrate that the inclusion of seismic isolators significantly improves the earthquake performance of the structure and reduces seismic demand on the superstructure. Although the initial cost of the isolated system is higher, the reduction in material requirements leads to potential long-term economic advantages. As one of the first case studies conducted on a real building, this research provides valuable technical and financial indicators for both engineering applications and investment decisions.

Keywords: Seismic isolation, base-isolated building design, reinforced concrete, earthquake performance, cost analysis

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
SUMMARY ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
KISALTMALAR ..... **vi**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **viii**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **x**
ÖNSÖZ ..... **xv**
GİRİŞ **1**

BİRİNCİ BÖLÜM
LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Sismik İzolatörlerin Yapı Performansı Üzerindeki Etki Analizleri 2
1.2. Performans – Maliyet – Malzeme Karşılaştırmaları 4
1.3. İzolatör Tasarımı, Modelleme ve Parametrik İncelemeleronsolidasyon 4
1.4. Titreşim, Enerji Hasadı ve Mekanik Sistemlerde İzolatör Kullanımı 5

İKİNCİ BÖLÜM
MATERYAL VE METOT

2.1. Ön Hazırlık ve Tasarım Süreci 6
2.1.1 Geoteknik Zemin Raporunun Hazırlanması 6
2.1.2. Yapı-Kazık-Zemin Etkileşiminin Analizi (Varsa) 6
2.1.3. Ön Yapısal Tasarımın Yapılması 6
2.1.4. İhale Aşaması 6
2.1.5. II. Cihaz Seçimi ve Kalifikasyon Süreci 6
2.1.6. İzolatör Üreticisinin Seçilmesi 6
2.1.7. İzolatör Test Merkezinin Seçilmesi 6
2.1.8. İzolatörlerin Üretimi 7
2.1.9. İzolatörlerin Test Edilmesi 7
2.1.10. Test Sonuçlarına Göre Yapısal Tasarımın Kontrol Edilmesi 7
2.2. Sismik İzolasyon Türleri 7
2.3. Sismik İzolasyon Türleri Deprem Yer Hareketi Düzeyleri ve Bina Önem Katsayısının Belirlenmesi 7
2.4. Sismik İzolasyonlu Binalarda Üstyapı ve Alt Sistem Tasarım İlkeleri 8
2.4.1. Üstyapi Tasarım Esasları 8
2.4.2. Sismik Izolasyon Sistemi ve Altyapı Tasarım Esasları 9
2.4.3. İzolatörlü Yapılar İçin Tasarım Adımları 10
2.5. Yapının Lokasyonu 11
2.6. Zemin Bilgileri 12
2.7. İnceleme Alanının Mühendislik Jeolojisi 12
2.8. Deprem Tehlike Analizi Raporu 14

2.8.1. Deprem Tehlike Analizi ve Zemin Koşullarına Bağlı Tasarım Yer Hareketlerinin Tespiti....14
2.9. Proje Sahasi ve Yapılar ile İlgili Bilgiler....14
2.10. Deprem Etkisinin Tanımlanması....15
2.11. TBDY 2018'e Göre Deprem Etkisinin Belirlenmesi....15
2.11.1. (DD-1)....16
2.11.2. (DD-2)....16
2.11.3. (DD-3)....16
2.11.4. (DD-4)....16
2.11.5. TBDY'de (2018) Yatay Elastik Tasarım Spektrumu....16
2.11.6. TBDY'de (2018) Düşey Elastik Tasarım Spektrumu....17
2.11.7. Performans Kriterleri ve Çalışmanın Kapsamı....18
2.11.8. Sahaya Özel Deprem Tehlikesinin Değerlendirilmesi....19
2.11.9. Bölge Jeolojisi....20
2.11.10. Bölgenin Jeolojisi ve Yerel Zemin Koşulları....23
2.11.11. Bölgenin Sismotektonik Yapısı....29
2.11.12. Muğla ve Çevresindeki Geçmiş Dönemlere Ait Deprem Oluşumları....31
2.11.13. Muğla Bölgesi ve Yakın Çevresinde Mevcut Deprem Aktivitesi....32
2.11.14. Proje Sahasinin Depremselliğinin Belirlenmesi....33
2.11.15. Sahaya Özel Deprem Yer Hareketlerinin Seçimi....34
2.12. DD-2 Deprem Düzeyi için Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtları....42
2.13. Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtları Sonuçları....75

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yapı Genel Bilgileri....76
3.2. TBDY 2018 Deprem Parametreleri Raporu....88
3.3. Kat Kesme Kuvvetleri....92
3.4. Deprem Devrilme Kontrolü....94
3.5. Dinamik Analiz Giriş Bilgileri Raporu....95
3.6. Modal Analiz Raporu....97
3.7. TBDY Madde 4.3.6.2 (b) Kontrolü....98
3.8. Göreli Öteleme ve İkinci Mertebe Etkileri....102
3.9. Demir Donatı Metrajı Sonuçlarının Değerlendirilmesi....127
3.10. Yapının Deprem İzolatörlü Durumda Yapının Davranışına Etkileri / İzolatörlü Yapılar İçin Tasarım Adımları....128
3.11. Seçilen İzolatörün Özellikleri....130
3.12. Grafiksel Sonuçların Teknik Değerlendirmesi....130
3.13. Deprem İzolatörlü Sistem Tasarım Hesapları....132
3.13.1. Zemin Sınıfı Belirleme....132
3.13.2. Deprem Yükü Azalma Katsayısı (R)....132
3.13.3. Bina Önem Katsayısı (I)....132
3.13.4. Sismik Ağırlık (W)....132

3.13.5. Taban Yer Değiştirme Limiti 132
3.13.6. Ankastre Sistem Periyodu (T_p).....133
3.13.7. İzolatör Başına Yük (P).....133
3.13.8. İzolatör Parametreleri.....133
3.13.9. Etkin Rijitlik (K_{eff}).....133
3.13.10. Tasarım Yer Değiştirme (D_D).....134
3.13.11. Tasarım Periyodu (T_D).....134
3.13.12. Maksimum Yer Değiştirme (D_M) 134
3.13.13. Maksimum Periyot (T_M) 134
3.13.14. Sönüm Ölçeklendirme (η).....134
3.13.15. Kurşun Akma Kuvveti (Q_d).....135
3.13.16. Kurşun Rijitliği (K_d) 135
3.13.17. Kurşun Kesit Alanı (A_p).....135
2.26.18. Kurşun Çapı (d_p).....136
3.13.19. Kauçuk Kalınlığı (t_r) 136
3.13.20. Malzeme Özellikleri.....136
SONUÇLAR.....152
KAYNAKÇA.....155

KISALTMALAR

A : Elastomer yalıtım birimin brüt kesit alanı

A_L : Elastomer katmanı kenar yüzeyi alanı

t : Elastomer katman kalınlığı

T_D : Deprem yalıtımlı binanın tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu

T_p : Yalıtım uygulanmamış binanın brüt kesit rijitliği kullanılarak hesaplanmış hakim mod titreşim periyodu

T_M : En büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu

T_r : Toplam elastomer kalınlığı

T_v : Elastomer yalıtım birimleri ile yalıtılmış yapının düşey doğrultudaki titreşim periyodu

V_D : Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için hesaplanan üstyapıya etkiyen kuvvet

V_M : En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için hesaplanan üstyapıya etkiyen kuvvet

y : Yalıtım sistemi rijitlik merkezi ile ilgili eleman arasındaki deprem yüklemesine dik doğrultudaki uzaklık

Q : TS 498'e göre azaltılmış hareketli yük

W : Binanın deprem sırasındaki toplam kütleye karşı gelen ağırlığı

W_d : Tüketilen enerji (Kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin içinde kalan alan)

w_i : Binanın i'nci katının sabit yükü

w_x : x katının toplam ağırlığı

β_e : Etkin sönüm oranı

τ_{yp} : Kurşun malzemenin kayma akma gerilmesi

ε_b : Elastomer malzemenin kopma birim şekildeğiştirme değeri

γ_c : Düşey yüklerden kaynaklanan açısal şekildeğiştirme

$\gamma_{c,E}$: DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekil değiştirme

$\gamma_{c,st}$: Basınçtan meydana gelen açısal şekildeğiştirme

$\gamma_{r,st}$: Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki göreli dönmeden meydana gelen birim şekil değiştirme

γ_s : Toplam deprem tasarım yerdeğiştirmesinden kaynaklanan açısal şekil değiştirme

μ : Etkin sürtünme katsayısı

η_{bi} : i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı

η_D : Tasarım deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı

η_M : En büyük deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı

Δ_s : Yatay yüklemeden meydana gelen yatay yerdeğiştirme miktarı

θ_s : Tasarım dönme açısı

ξ : DD-1 veya DD-2 deprem yer hareketi düzeyindeki yalıtım birimi için hesaplanan etkin sönüm yüzdesi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Yerel Zemin Sınıfları (TBDY 2018) 12
Tablo 2. Zemin Parametreleri (DD-2) 13
Tablo 3. Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar 19
Tablo 4. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması Sismik Tehlike Haritası Değerleri 33
Tablo 5. DD-2 Deprem Düzeyi İçin Seçilen Deprem Yer Hareketlerinin Karakteristik Özellikleri 37
Tablo 6. Yapı Bilgileri 80
Tablo 7. Zemin Parametreleri ve Spektrum Parametreleri 81
Tablo 8. Malzeme Bilgileri 82
Tablo 9. Rijitlik Çarpanlari İle Beton Çatlamiş Kesit Özellikleri Modellenmesi 83
Tablo 10. Yüklemeler Ve Kombinasyonlar 83
Tablo 11 Yükleme Kombinasyonları 84
Tablo 12. Yapı Analizleri Yönetmeliğe Uygunluk Özet Raporu 84
Tablo 13. Zemin Tipi ve Harita Spectrum İvme Katsayıları 89
Tablo 14. Bina Kullanım sınıfları ve Bina Önem Katsayıları 90
Tablo 15. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) 90
Tablo 16. Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları 91
Tablo 17. Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Yeni Yapılacak veya Mevcut Binalar İçin Performans Hedefleri ve Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları 91
Tablo 18. Deprem Tasarım Girdileri 92
Tablo 19. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı D 92
Tablo 20. Katlara Göre Kesme Kuvveti Tablosu 93
Tablo 21. Deprem Momentleri ve Düşey Yük Momentleri 94
Tablo 22. Devrilme Kontrolü 95
Tablo 23. Periyot - S(T) 96
Tablo 24. Deprem Parametreleri – X/Y Yönü 96
Tablo 25. Serbestlik Derecelerinde Doğal Kütleler 99
Tablo 26. Modal Periyot ve Frekansları 99
Tablo 27 Modal Kütle Katılım Oranları 995
Tablo 28 Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabı – (Modal) 100
Tablo 29. Titreşim Modu Sayısı Yeterlik Kontrolü 101
Tablo 30. Göreli Öteleme 102

Tablo 31. İkinci Mertebe Etkileri.....102
Tablo 32. Planda Düzensizlik Kontrolü 102
Tablo 33. Bina Bilgileri.....103
Tablo 34. X Yönü R Katsayısı ve Sistem Seçimi 103
Tablo 35. Y Yönü R Katsayısı ve Sistem Seçimi 104
Tablo 36. R Katsayısı ve Hesap Yönteminin Seçim Nedeni.....104
Tablo 37. Beton Metrajı (DD-2 tasarım kriterleri) 126
Tablo 38. Beton Metrajı (DD-2 tasarım kriterleri) 127
Tablo 39. Ön Tasarım İzolatör Özellikleri 130
Tablo 40. Seçilen İzolatör Özellikleri 136
Tablo 41. İzolatörlü Yapının Beton Metrajı 142
Tablo 42. İzolatörsüz Yapı Beton Metrajı.....143
Tablo 43. İzolatörlü Yapının Kalıp Metrajı.....144
Tablo 44. İzolatörsüz Yapının Kalıp Metrajı.....145
Tablo 45. Geleneksel Yapı Tasarımının Donatı Metrajı (ton).....146
Tablo 46. İzolatörlü Yapı Tasarımının Donatı Metrajı (ton).....147
Tablo 47. İzolatörlü Yapının Kaba Yapı Metrajları.....149
Tablo 48. İzolatörsüz Yapının Kaba Yapı Metrajları.....149
Tablo 49. Yapı Tipine Göre Toplam Donatı Ağırlığı 151
Tablo 50. İzolatörlü ve İzolatörsüz Yapıların Toplam Maliyet Karşılaştırması.....153

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Sismik İzolatörlü Yapı Sistemlerinin Tipik Konfigürasyonu..... 9
Şekil 2. İzolatörlü Yapı Sistemlerinin Tipik Uygulaması..... 9
Şekil 3. Çalışmada Kullanılan Spektrumlar.....13
Şekil 4. Proje Sahasının Konumu (37.055162°, 27.355001°).....15
Şekil 5. TBDY'ye (2018) Yönetmeliğe Göre Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu 17
Şekil 6. TBDY'ye (2018) Göre Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrumu 18
Şekil 7. Ege Bölgesi Jeoloji Haritası (MTA,2002).....21
Şekil 8. Ege Bölgesinin Topografik Haritası (İBB, 2006).....22
Şekil 9. İnceleme Alanının Genel Stratigrafik Kolon Kesiti 24
Şekil 10. İnceleme Alanı ve Çevresini Kapsayan 1/25000 ölçekli MTA Jeoloji Haritası. 28
Şekil 11. Türkiye'nin Ana NeoTektonik Yapılarını Gösteren Harita 29
Şekil 12. Türkiye ve Çevresindeki Aktif Levha Sınırları ve Anadolu Bloğunun Batıya Hareketi 30
Şekil 13. Ege Bölgesi Tarihsel Dönem Depremlerinin Dağılımları (USGS-Web)....32
Şekil 14. Anadolu Batı Bölgesi Aletsel Dönem Sismik Dağılımları.....33
Şekil 15. Çalışmada Kullanılan Spektrumlar.....34
Şekil 16. DD-2 deprem seviyesine göre ölçeklenmiş seçilmiş yer hareketlerinin spektral ivme ve deplasman bileşke spektrumları ile ortalama değerleri.....38
Şekil 17. DD-2 deprem düzeyine göre ölçeklenmiş, H1 yönündeki seçilen deprem yer hareketlerinin spektral ivme ve deplasman grafikleri. 39
Şekil 18. DD-2 deprem düzeyine göre ölçeklenmiş, H2 yönündeki seçilen deprem yer hareketlerinin spektral ivme ve deplasman grafikleri. 40
Şekil 19. DD-2 için ölçeklenmiş, düşey yönündeki seçilen deprem yer hareketlerinin spektral ivme ve deplasman grafikleri.....41
Şekil 20. Parkfield Depremi'ne ait Temblor pre-1969 istasyonu RSN33_PARKF_TMB205 ve RSN33_PARKF_TMB295.....42
Şekil 21. Parkfield Depremi, Temblor pre-1969 İstasyonu RSN33_PARKF_TMB205 ve RSN33_PARKF_TMB295 Yatay Bileşenlerinin.....43
Şekil 22. Parkfield Depremi, Temblor pre-1969 İstasyonu RSN33_PARKF_TMBDWN.....44
Şekil 23. Mammoth Lakes-01 Depremi, Long Valley Dam (Upr L Abut) İstasyonu RSN231_MAMMOTH.I_I-LUL000 ve RSN231_MAMMOTH.I_I-LUL090 45

Şekil 24. Mammoth Lakes-01 Depremi, Long Valley Dam (Upr L Abut) İstasyonu RSN231_MAMMOTH.I_I-LUL000 ve RSN231_MAMMOTH.I_I-LUL090 Yatay 46
Şekil 25. Mammoth Lakes-01 Depremi, Long Valley Dam (Upr L Abut) İstasyonu RSN231_MAMMOTH.I_I-LUL-UP Düşey eksene ait deprem kayıtlarının (hem orijinal hem DD2 seviye için ölçeklendirilmiş) spektral ivme, ...47
Şekil 26. Irpinia_Italy-01 Depremi, Brienza İstasyonu RSN288_ITALY_A-BRZ000 ve RSN288_ITALY_A-BRZ270 48
Şekil 27. Irpinia_Italy-01 Depremi, Brienza İstasyonu RSN288_ITALY_A-BRZ000 ve RSN288_ITALY_A-BRZ270 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait.....49
Şekil 28. Irpinia_Italy-01 Depremi, Brienza İstasyonu RSN288_ITALY_A-BRZ-UP Düşey bileşenin orijinal ve DD-2 deprem düzeyine göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketleri için spektral ivme, spektral deplasman, Arias şiddeti ile zaman tanım alanında ivme, hız ve deplasman grafikleri.....50
Şekil 29. Chalfant Valley-02 Depremi, Bishop - Paradise Lodge İstasyonu RSN550_CHALFANT.A_A-BPL070 ve RSN550_CHALFANT.A_A-BPL160 Deprem yer hareketlerinin bileşenleri (orijinal ve DD-2 düzeyinde ölçeklendirilmiş) için spektral ivme, Arias şiddeti, tasarım spektrumları ve bileşke spektrumlar. 51
Şekil 30. Chalfant Valley-02 Depremi, Bishop - Paradise Lodge İstasyonu RSN550_CHALFANT.A_A-BPL070 ve RSN550_CHALFANT.A_A-BPL160 Yatay eksene ait deprem kayıtlarının orijinal ve DD2 seviyesine ölçeklendirilmiş haline ilişkin ivme, hız ve yer değiştirme grafik gösterimleri 52
Şekil 31. Chalfant Valley-02 Depremi, Bishop - Paradise Lodge İstasyonu RSN550_CHALFANT.A_A-BPL-UP Düşey Bileşenin Deprem ve Yer Hareketleri (orijinal ve DD2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) Spektral İvme, Spektral Deplasman ve Arias Şiddeti ve Zaman Tanım Alanında İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) 53
Şekil 32. Kozani_Greece-01 Depremi, Kozani İstasyonu RSN1126_KOZANI_KOZ--L ve RSN1126_KOZANI_KOZ--T Deprem yer hareketlerinin bileşenleri 54
Şekil 33. Kozani_Greece-01 Depremi, Kozani İstasyonu RSN1126_KOZANI_KOZ--L ve RSN1126_KOZANI_KOZ—T Deprem yer hareketlerinin yatay bileşenlerine ilişkin ivmeyle birlikte, hız ile deplasman grafikleri.....56

Şekil 34. Kozani_Greece-01 Depremi, Kozani İstasyonu RSN1126_KOZANI_KOZ-Düşey bileşene ait deprem yer hareketlerinin (orijinal ve DD-2 deprem düzeyine ölçeklendirilmiş) spektral ivme, spektral deplasman veArias şiddeti ile.....57
Şekil 35. 2004 Chi-Chi Tayvan Depremi, CHY028 kayıt noktası,.....58
Şekil 36. 2004 Chi-Chi Tayvan Depremi, CHY028 kayıt noktası RSN2703_CHICHI.04_CHY028N ve RSN2703_CHICHI.04_CHY028E Yatay Depremin bileşenlerinin olduğu (orijinal ve DD-2 düzeyinde ölçeklendirilmiş) 59
Şekil 37. 2004 Chi-Chi Tayvan Depremi, CHY028 kayıt noktası RSN2703_CHICHI.04_CHY028V Düşey Bileşenin Deprem Yer Hareketleri 60
Şekil 38. Hector Mine Depremi, Big Bear Lake - Fire Station İstasyonu RSN1770_HECTOR_BBL016 ve RSN1770_HECTOR_BBL106 Orijinal ve DD-2 deprem düzeyine ölçeklendirilmiş bileşen deprem yer hareketleri için spektral ivme,.....61
Şekil 39. Hector Mine Depremi, Big Bear Lake - Fire Station İstasyonu RSN1770_HECTOR_BBL016 ve RSN1770_HECTOR_BBL106 Yatay bileşenlere İlgili deprem yer hareketlerine ilişkin ivme, hız ve yer değiştirme eğrileri.....62
Şekil 40. Hector Mine Depremi, Big Bear Lake - Fire Station İstasyonu RSN1770_HECTOR_BBL-UP.....63
Şekil 41. Landers Depremi, Forest Falls Post Office İstasyonu RSN3752_LANDERS_FFP210 ve RSN3752_LANDERS_FFP300 Deprem yer hareketlerinin bileşenleri için, Orijinal ve DD-2 seviyesine göre ayarlanmış.....64
Şekil 42. Landers Depremi, Forest Falls Post Office İstasyonu RSN3752_LANDERS_FFP210 ve RSN3752_LANDERS_FFP300 65
Şekil 43. Landers Depremi, Forest Falls Post Office İstasyonu RSN3752_LANDERS_FFP-UP 66
Şekil 44. Landers Depremi, Big Bear Lake - Civic Center İstasyonu RSN3760_LANDERS_BLC360 ve RSN3760_LANDERS_BLC270 67
Şekil 45. Landers Depremi, Big Bear Lake - Civic Center İstasyonu RSN3760_LANDERS_BLC360 ve RSN3760_LANDERS_BLC270 68
Şekil 46. Landers Depremi, Big Bear Lake - Civic Center İstasyonu RSN3760_LANDERS_BLC-UP 69
Şekil 47. Kawaguchi istasyonunda kaydedilen Chuetsu-oki deprem verileri: RSN4869_CHUETSU_65042NS ve RSN4869_CHUETSU_65042EW 70

Şekil 48. Chuetsu-oki_Japan Depremi, Kawaguchi İstasyonu RSN4869_CHUETSU_65042NS ve RSN4869_CHUETSU_65042EW 71
Şekil 49. Chuetsu-oki_Japan Depremi, Kawaguchi İstasyonu RSN4869_CHUETSU_65042UD.....72
Şekil 50. Darfield_ New Zealand Depremi, LPCC İstasyonu RSN6928_DARFIELD_LPCCN80E ve RSN6928_DARFIELD_LPCCS10E 73
Şekil 51. Darfield_ New Zealand Depremi, LPCC İstasyonu RSN6928_DARFIELD_LPCCN80E ve RSN6928_DARFIELD_LPCCS10E 74
Şekil 52. Bina Perspektifi.....77
Şekil 53. 1-1 Kesiti 77
Şekil 54. 2-2 Kesiti 78
Şekil 55. Kalıp Planı 1 78
Şekil 56. Kalıp Planı 2 79
Şekil 57. TBDY 2018 Spektrum Eğrisi 95
Şekil 58. Tüm Modal analizlerde bodrumlu binalarda üst bölüm ve alt bölüm kütlelerinin tümü birlikte göz önüne alınır. 98
Şekil 59. R Katsayısının Seçim Nedeni 103
Şekil 60. Eleman Kesitleri 105
Şekil 61. Kolon Analiz modeli 105
Şekil 62. Kolon Analiz modeli Tek Kat 106
Şekil 63. Kiriş Eleman İsimleri 106
Şekil 64. Boyuna Donatı Pursantajı.....107
Şekil 65. Kiriş Boyuna Donatı Pursantajı (Açıklık).....107
Şekil 66. Boyuna Donatı Pursantajı (Mesnetlerde) 108
Şekil 67. Zımbalama Kontrolü 108
Şekil 68. Betonarme Kolon Kapasite Oranı 109
Şekil 69. Deformasyon Mod1/6 (y).....109
Şekil 70. Deformasyon Mod2/6 (x).....111
Şekil 71. Deformasyon Mod3/6 (burulma) 113
Şekil 72. Boyuna Donatı Pursantajı.....113
Şekil 73. Boyuna Donatı Pursantajı (kirişler/açıklık).....114
Şekil 74. Boyuna Donatı Pursantajı (kirişler/mesnet) 114
Şekil 75. Kesit Yetersizliği 115
Şekil 76. Donatı Alanı Yetersizliği.....115
Şekil 77. Sehim Sınırı Aşılması 116
Şekil 78. Maksimum Donatı Pursantaj Sınırı Aşan Elemanlar 116

Şekil 79. Kolon-Kiriş bölgesi Güvensizliği 117
Şekil 80. Zımbalama kontrolü (radye temelde).....117
Şekil 81. Betonarme Kapasite Oranı 118
Şekil 82. Kesit Tesirleri (Ex- kN).....118
Şekil 83. Kesit Tesirleri (Ey-kN).....119
Şekil 84. Kesit Tesirleri (M3) 119
Şekil 85. Kesit Tesirleri (M2) 120
Şekil 86. Kolon Donatı Açılımı.....120
Şekil 87. Kolon Donatı Metrajı 121
Şekil 88. Kiriş Açılımı -1.....121
Şekil 89. Kiriş Açılımı-2.....122
Şekil 90. Kiriş Açılımı-3.....123
Şekil 91. Zemin Kat Kiriş Donatısı Tablosu.....124
Şekil 92. Radye Temel Donatı Açılımları.....125
Şekil 93. İzolatörün Geometik Özellikleri 130
Şekil 94. Katlara Bağlı Kolon Kapasite Oranları Karşılaştırması 131
Şekil 95. İzolatörlü Durumda Yetersizlik Grafiksel Kontrolleri.....137
Şekil 96. Deformasyon Grafiği Mod 1/15 137
Şekil 97. Deformasyon Grafiği Mod 2/15 138
Şekil 98. Deformasyon Ex – Ek Dışmerkezli Tepki Spektrumu Çözümü.....138
Şekil 99. Deformasyon Ey – Ek Dışmerkezli Tepki Spektrumu Çözümü.....139
Şekil 100. Kesit Tesirleri (F1): G+Q 139
Şekil 101. Boyuna Donatı Pursantajı (%-Kolonlar).....140
Şekil 102. Boyuna Donatı Pursantajı (%-Kiriş açıklıkları) 140
Şekil 103. Boyuna Donatı Pursantajı (%-Kiriş mesnetleri).....141
Şekil 104. Betonarme Kapasite Oranları 141
Şekil 105. Zımbalama Kontrolü (radye temeller) 142
Şekil 106. İzolatörlü ve Geleneksel Yapının Temel Üstü Demir Donatı Kıyaslama Grafiği.....148
Şekil 107. İzolatörlü Ve Geleneksel Yapının Radye Temel Kıyaslama Grafiği.....148
Şekil 108. İzolatörlü ve Geleneksel Yapının Toplam Donatı Kıyaslaması 149
Şekil 109. Hazır Beton İnşaat Birim Fiyatları (2025 yılı) 150
Şekil 110. Betonarme Kalıp Birim Fiyatları (2025 yılı).....150
Şekil 111. Nervürlü Beton Çelik Çubuğu İnşaat Birim Fiyat Tarifleri (2025 yılı)..151

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bilgi, tecrübe ve destekleriyle katkıda bulunan çok değerli hocalarıma teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Öncelikle, çalışmam boyunca bilimsel yönlendirmeleri, yapıcı eleştirileri ve akademik rehberliği ile bana her zaman yol gösteren **Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad Noori**'ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisinin desteği, yalnızca bu çalışmanın gelişiminde değil, aynı zamanda akademik bakış açımın şekillenmesinde de büyük rol oynamıştır.

Ayrıca, çalışmanın yürütülmesi süresince teknik değerlendirmeler konusundaki katkıları ve motive edici yaklaşımıyla yanımda olan **Dr. Öğr. Üyesi İsmail Ünsal**'a da teşekkürü bir borç bilirim. Sağladığı destek, araştırma sürecinin verimli ve disiplinli bir şekilde ilerlemesine olanak sağlamıştır.

Çalışmada kullanılan **deprem tehlikesi ve risk değerlendirmesi ile zemin bağımlı tasarım yer hareketlerinin belirlenmesine** yönelik bilimsel analiz ve değerlendirme raporunu hazırlayarak değerli katkı sağlayan **Dr. İlknur Kara**'ya da özel teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez kapsamında kullanılan ideCAD Statik v11 ve ETABS 20 programlarının lisanslı temini ve teknik desteği süresince katkı sunan, mensubu olmaktan onur duyduğum **Nelsa İnşaat** firmasına da içten teşekkür ederim.

Bu süreci anlamlı ve özel kılan bir diğer teşekkürüm ise sevgili oğlum **Emir**'edir. Varlığıyla bana sabır, ilham ve güç veren Emir'e, çalışma sürecindeki tüm fedakârlıklarına ve beni her koşulda motive edişine minnettarım. Onun neşesi ve sevgisi, en zor anlarda bile bana moral kaynağı olmuştur.

Son olarak, bana inanan, destekleyen ve katkı sunan tüm aile bireylerime, hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma da içtenlikle teşekkür ederim.

GİRİŞ

Depremler, özellikle sismik açıdan aktif bölgelerdeki yapılar için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Geleneksel betonarme yapılar, deprem kuvvetlerine doğrudan maruz kalmakta ve bu durum, yapısal hasarlara yol açabilmektedir. Özellikle hastaneler, telekomünikasyon merkezleri ve yüksek teknolojili üretim tesisleri gibi kritik yapılar için deprem sonrası işlevselliğin korunması büyük önem taşımaktadır. Bu noktada, sismik izolatörler, yapıların deprem performansını iyileştirmek amacıyla giderek yaygınlaşan bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sismik izolatörler, yapı ile zemin arasına yerleştirilerek deprem enerjisinin büyük bir kısmının absorbe edilmesini ve yapısal hasarın azaltılmasını sağlar. Bu teknoloji, özellikle Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) gibi modern standartlarda zorunlu kılınan uygulamalarla birlikte giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Ancak, izolatör kullanımının yapısal davranış, malzeme gereksinimleri ve maliyet üzerindeki etkilerinin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, izolatörlü ve izolatörsüz betonarme yapıların deprem performansı, modal davranış, malzeme kullanımı ve maliyet açısından karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında, farklı izolatör türleri (kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler, sürtünmeli sarkaç izolatörler vb.) kullanılarak yapısal tepkiler incelenmiş ve geleneksel sistemlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, yapısal düzensizliklerin ve burulma etkilerinin izolatörlü sistemler üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Yapılan analizler, zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiş ve spektrum uyumlu deprem kayıtları ile desteklenmiştir. Elde edilen sonuçlar, izolatör kullanımının yapısal performansı nasıl etkilediğini, hangi durumlarda daha avantajlı olduğunu ve maliyet etkinliğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu çalışmanın, mühendislik uygulamalarında izolatör teknolojisinin etkin kullanımına yönelik bir rehber niteliği taşıması hedeflenmektedir.

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Sismik İzolatörlerin Yapı Performansı Üzerindeki Etki Analizleri

Atmaca (2024), sismik izolatörlü ve izolatörsüz betonarme yapıların deprem performansını, enerji tüketimini ve karbon ayak izini karşılaştırmıştır. Analiz sonuçları, izolatör kullanımının hem yapısal güvenlik hem de sürdürülebilirlik açısından avantaj sağladığını ortaya koymuştur.

Dereli (2025), NRB tipi sismik izolatörlerin çelik yapılarda kullanımını analiz etmiştir. Çalışma, bu izolatörlerin deprem etkilerini azaltmada etkin olduğunu göstermiştir. Şorabatır (2025), dört katlı bir çelik yapının izolatörlü ve izolatörsüz deprem performansını karşılaştırmıştır. Sonuçlar, sismik izolatörlerin yatay ötelenmeleri ve yapısal zorlanmaları azalttığını ortaya koymuştur.

Gazi (2024), yüksek yapılarda izolatör kullanımının sismik performans üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Çalışmada, izolatörlerin yüksek yapılarda güvenliği artırdığı ve yapısal talepleri azalttığı gösterilmiştir. Altınay (2024), farklı tip sismik izolatörler ile modellenmiş betonarme yapıların davranışlarını karşılaştırmıştır. Elde edilen bulgular, izolatör tipi seçiminin yapının genel performansı üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

Öztürk (2023), TBDY 2018 yönetmeliğine göre betonarme yapılarda farklı sismik izolatör birimlerinin kullanımını modellemiştir. Analizler, yönetmelik uyumlu modelleme ile farklı izolatör tiplerinin performans farklarını ortaya koymuştur. Dürüst (2023), farklı kat seviyelerinde yerleştirilen izolatörlerin yapı davranışı üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Sonuçlar, izolatör seviyesinin yapının titreşim karakteristiklerini doğrudan etkilediğini göstermektedir.

Alasaf ve Öztürk (2022), kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin farklı zemin sınıfları ve karakteristik dayanım oranları altında betonarme yapı performansı üzerindeki etkilerini inceleyerek, fay hattına uzaklığın tasarım parametreleri üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koymuştur. Çavdar ve Özdemir (2018), farklı yönlerde uygulanan deprem kayıtlarının sismik izolatörlerde oluşturduğu deplasman artışlarını analiz ederek, ölçeklendirme stratejilerinin izolatör davranışını önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermiştir.

Çilsalar (2022), düşey yer hareketinin sürtünmeli sarkaç sistemli yapılar üzerindeki taban kesme kuvveti artışına etkisini tahmin eden bir model sunmuş ve düşey ivmenin ihmal edilmemesi gerektiğine dikkat çekmiştir. Gürbüz ve Kayıkçı (2024), zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı analizlerde sismik taban izolatörlerinin yapının deprem performansı üzerindeki olumlu katkılarını ortaya koymuştur. Naimi ve Waheb (2019), sismik izolatörler ile birlikte tekli ve çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerin (STMD, MTMD, d-MTMD) kullanıldığı hibrit sistemlerin deprem etkisini azaltmadaki başarısını karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir.

Özer ve İnel (2021), kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ve sürtünmeli sarkaç sistemlerinin betonarme konut binalarındaki etkilerini değerlendirerek, izolatörlerin periyot artırımı yoluyla sismik performansa katkısını göstermiştir. Öztürk ve Özdemir (2022), yumuşak kat düzensizliğine sahip sismik izolatörlü yapılarda göreli kat ötelemelerinin yönetmelik sınırları içinde kaldığını tespit ederek, izolatörlü sistemlerin düzensizlik durumlarında bile performansı koruyabildiğini belirtmiştir.

Öztürk ve Özdemir (2024), izolatör modelleme tekniği ve deprem verilerinin ölçeklendirme yöntemlerinin yapı tepkisine etkisini inceleyerek modelleme ayrıntılarının analiz doğruluğunu ciddi biçimde etkileyebileceğini göstermiştir. Özkan, Gürsoy ve Garip (2023), farklı zemin kat yüksekliği ve kat sayısına sahip binalarda sismik izolatörlerin yapı davranışını nasıl etkilediğini incelemiş, izolatör yerleşiminin yüksekliğe göre optimize edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Polat (2019), geleneksel ankastre sistem ile taban izolatörü kullanılan betonarme binaları karşılaştırarak, izolatörlerin yapısal talepleri azalttığını ve performansı artırdığını ortaya koymuştur. Severcan ve Şen (2019), bina kat sayısının artmasına bağlı olarak sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin performansının nasıl değiştiğini incelemiş ve bu sistemlerin özellikle düşük ve orta katlı binalarda daha verimli olduğunu göstermiştir.

Toplu ve Kırtel (2021), sismik izolatörlü yapıların analizinde zaman tanım alanı ve artımsal tek modlu itme yöntemlerini karşılaştırmış, zaman tanım alanı analizinin daha doğru sonuçlar sunduğunu ortaya koymuştur. Çilsalar (2022), sürtünmeli sarkaç sistemli yapılarda düşey deprem ivmesi nedeniyle artan taban kesme kuvvetlerine dikkat çekmiş ve bu etkiyi tahmin eden analitik bir model önermiştir.

1.2. Performans – Maliyet – Malzeme Karşılaştırmaları

Çatlıoğlu (2021), geleneksel ve sismik izolatörlü binaları hem yapısal performans hem de maliyet açısından karşılaştırmıştır. İzolatörlü yapılar başlangıçta daha maliyetli olsa da, uzun vadeli fayda sağladığı gösterilmiştir. Baş (2024), betonarme yapılarda farklı izolatör tiplerinin hem yapısal davranışa hem de beton ve donatı ihtiyacına etkisini incelemiştir. Sonuçlar, izolatör kullanımının malzeme tasarrufu sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Dilek (2024), mevcut bir yapı üzerine rijit ve sismik izolatörlü betonarme ve çelik ek kat tasarımları yaparak karşılaştırmalı analiz sunmuştur. Yapı davranışı ve maliyet açısından izolatörlü sistemlerin avantajlı olabileceği gösterilmiştir. Eniş (2024), sismik izolatör kullanımının yapı tasarımına ve kullanıcı tercihlerine etkisini değerlendirmiştir. Çalışma, izolatörlü tasarımın sadece mühendislik açısından değil, kullanıcı güveni ve konforu açısından da önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Hüner (2023), izolatörlü ve izolatörsüz LNG tanklarını doğrusal olmayan analizlerle karşılaştırmıştır. İzolatörlü sistemlerin tank güvenliğini önemli ölçüde artırdığı ve tasarım açısından avantaj sunduğu gösterilmiştir.

1.3. İzolatör Tasarımı, Modelleme ve Parametrik İncelemeleronsolidasyon

Arslan (2024), elastomer izolatörlerin alt ve üst sınır parametrelerinin yapıların ivme tepkisine etkilerini incelemiştir. Bulgular, izolatör sertliği ve sınır değerlerinin yapı davranışını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Güneş (2024), rijit izolatörlerin yatay salınımı azaltmadaki etkisini rijitlik açısından analiz etmiştir. Yapılan değerlendirmeler, rijitliğin optimize edilmesinin yapı konforuna katkı sunduğunu göstermektedir.

Yazıcı (2024), kurşun çekirdekli izolatörlerin tasarımında etkili olan parametreleri belirleyerek teknik açıdan irdelemiştir. Çalışma, parametre seçimlerinin izolatör performansını doğrudan etkilediğini ortaya koymuştur. Şahbaz (2024), tel halat izolatörlerin farklı dinamik davranış modellerini karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir. Modellerin sonuçları, izolatör davranışını öngörmede önemli farklar sunduğunu göstermektedir.

Dursun (2024), sismik izolatörlü yapılarda rijit cisimlerin sallanma hareketlerini analiz etmiştir. Bulgular, izolatörün rijit elemanlar üzerindeki etkisinin yapı güvenliği açısından dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuştur.

1.4. Titreşim, Enerji Hasadı ve Mekanik Sistemlerde İzolatör Kullanımı

Vardallı (2023), havacılıkta kullanılan ataletsel ölçüm birimleri için pasif titreşim izolatörü tasarlamış ve deneysel doğrulamasını yapmıştır. Tasarlanan izolatör, yüksek frekanslı titreşimleri başarıyla sönümlemiştir. İsanç (2023), yüksek iç sönümlemeye sahip metal titreşim izolatörleri tasarlayarak mekanik sistemlerdeki titreşim azaltım potansiyelini değerlendirmiştir. Çalışma, pasif sönümleyici tasarımında yeni bir yaklaşım önermektedir.

Kızıltaş (2023), pasif izolatör sistemleri için kavisli panelli, geniş bantlı piezoelektrik enerji hasat sistemi geliştirmiştir. Sistem, hem enerji üretimi hem de titreşim sönümleme işleviyle çift fayda sağlamaktadır. Biçer (2023), elastomerik yatakların çevrimsel kesme yükleri altındaki davranışlarını sonlu eleman yöntemiyle analiz etmiştir. Çalışma, hiperelastik malzeme modellerinin dinamik analizlerdeki doğruluğunu test etmiştir.

Köken (2023), pres tezgahlarının temelinde oluşan titreşimleri azaltmak için titreşim izolatörü kullanmıştır. Deneysel sonuçlar, izolatörlerin endüstriyel makine temellerinde etkin bir çözüm sunduğunu göstermiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

2.1. Ön Hazırlık ve Tasarım Süreci

2.1.1 Geoteknik Zemin Raporunun Hazırlanması

Zemin sınıfı ve zemin parametreleri belirlenir.
Yerel zemin etkileri ve deprem tehlike seviyesi tanımlanır.

2.1.2. Yapı-Kazık-Zemin Etkileşiminin Analizi (Varsa)

Yapı ile temel sistemi arasındaki etkileşim değerlendirilir.
Özellikle zayıf zeminlerde kazık-temel sistemlerinin dinamik davranışı modellenir.

2.1.3. Ön Yapısal Tasarımın Yapılması

İlk boyutlandırma ve izolatör kullanımına uygunluk değerlendirilir.
Kat sayısı, kütle dağılımı ve rijitlik kontrolü yapılır.

2.1.4. İhale Aşaması

Taslak projeler ve teknik şartnameler doğrultusunda ihale yapılır.
İzolatör tipi ve performans kriterleri belirlenir.

2.1.5. II. Cihaz Seçimi ve Kalifikasyon Süreci

2.1.6. İzolatör Üreticisinin Seçilmesi

Yeterlilik belgeleri ve referans projeler değerlendirilir.
İzolatör tipi ve performans hedefleri belirlenir.

2.1.7. İzolatör Test Merkezinin Seçilmesi

Test kapasitesi, yükleme cihazları, kontrol sistemleri dikkate alınır.
Uluslararası akreditasyonlar (örneğin ISO/IEC 17025) göz önünde bulundurulur.

2.1.8. İzolatörlerin Üretimi

Teknik şartnamelere uygun olarak üretim gerçekleştirilir.
Üretim süreci kalite güvence protokolüne göre denetlenir.

2.1.9. İzolatörlerin Test Edilmesi

Prototip ve seri üretim testleri yapılır.
Testler: Yatay rijitlik, sönüm oranı, enerji sönümleme, dayanım sınırları vb.

2.1.10. Test Sonuçlarına Göre Yapısal Tasarımın Kontrol Edilmesi

Gerçekleşen rijitlik ve sönüm değerleri kullanılarak analizler güncellenir.
Gerekirse iteratif olarak tasarım revize edilir.

2.2. Sismik İzolasyon Türleri

- İzolasyon Tipi
- Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yalıtıcı (LRB)
- Düşey Yük Taşıyan Kauçuk Yalıtıcı (HDRB)
- Sürtünmeli Pandül Yalıtıcı (FPS) Deplasman kontrollü sistem, enerji sönümlemesi sürtünmesiyle
- Kaymalı Yalıtıcılar (SFP, FSP) Düşük sürtünmeli sistemler, yeniden merkezlenme davranışı
- Hibrit Sistemler: Yukarıdakilerin kombinasyonu (örn. HDRB + FPS)

2.3. Sismik İzolasyon Türleri Deprem Yer Hareketi Düzeyleri Ve Bina Önem Katsayısının Belirlenmesi

Bu bölümde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) kapsamında sismik izolasyonlu yapıların tasarımında kullanılan bina önem katsayısı ile deprem yer hareketi düzeylerinin tanımları ve uygulanma esasları sunulmaktadır.

1. Bina Önem Katsayısı (I): TBDY 14.3.2 maddesi uyarınca, sismik izolasyon sistemine sahip binalarda bina önem katsayısı I = 1 olarak alınır. Bu değer, sistemin tüm bileşenlerinin deprem etkilerine karşı eşdeğer önemde kabul edildiğini ifade eder.

2. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri: Deprem etkisi altında yapıların analizinde farklı yer hareketi düzeyleri göz önünde bulundurulur. Sismik izolasyon sisteminin farklı bileşenleri, farklı deprem düzeylerine göre tasarlanır.
3. DD-1 (En Büyük Deprem Yer Hareketi): 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem düzeyidir. Bu düzey, izolasyon sistemi ve altyapının tasarımında esas alınır. Tekrarlanma periyodu yaklaşık 2475 yıldır.
4. DD-2 (Tasarım Depremi): 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem düzeyidir. Üstyapı tasarımında esas alınır. Tekrarlanma periyodu yaklaşık 475 yıldır.

Not: DD-3 ve DD-4 düzeyleri, sismik izolasyon sistemine sahip yapıların tasarımında dikkate alınmaz.

Bu kapsamda, izolasyon sisteminin performansı DD-1 düzeyinde kontrol edilirken, üstyapı elemanlarının tasarımı DD-2 düzeyine göre yapılmaktadır. Böylece, yapının deprem karşısında hedeflenen davranışı sağlaması güvence altına alınmaktadır.

2.4. Sismik İzolasyonlu Binalarda Üstyapı ve Alt Sistem Tasarım İlkeleri

2.4.1. Üstyapi Tasarım Esasları

Yapının modellemesi ve analizleri İdecad programında yapılmış olup Etabs programında ise reaksiyonların çapraz kontrolleri yapılmıştır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi: Üstyapının tasarımı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY 2018) göre Tasarım Deprem Yer Hareketi Düzeyi (DD2 / DBE) esas alınarak gerçekleştirilir.

Davranış Katsayısı (R): Üstyapıda, sınırlı düzeyde doğrusal olmayan davranışa izin verilmekte olup, davranış katsayısı $1.2 \leq R \leq 1.5$ aralığında seçilir.

İzolatör Üst Sınır Değerleri: Üstyapının maruz kalacağı maksimum etkin deprem kuvvetlerinin değerlendirilmesinde, izolatörlerin üst sınır özellikleri dikkate alınır.

Performans Hedefi: Üstyapıda yüksek düzeyde bir sismik performans hedeflenmekte olup, bu durum genellikle kesintisiz kullanım veya sınırlı hasar performans seviyeleriyle ifade edilir.

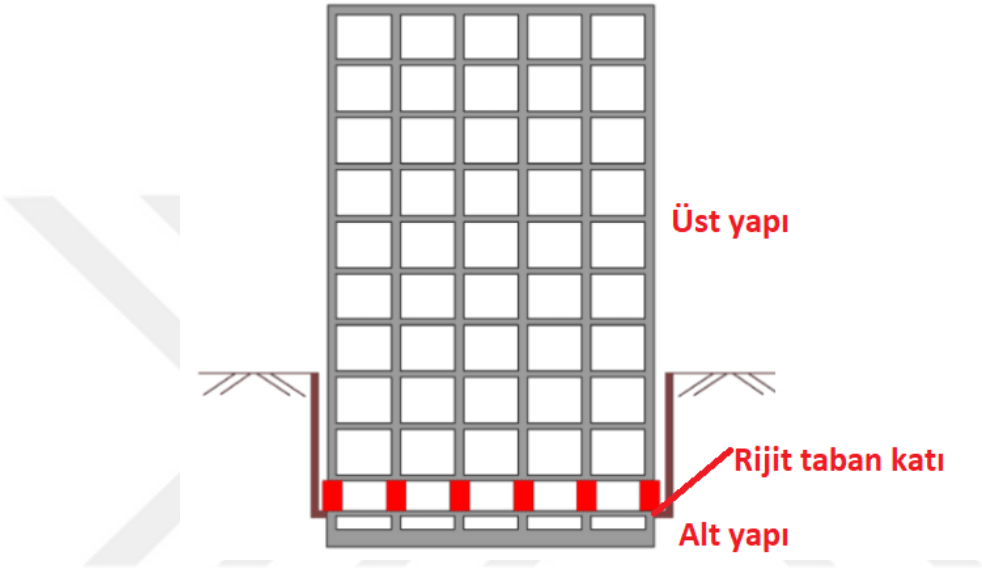
Kat İvmeleri: Üstyapıya ait kat ivmeleri hesaplanırken, izolatörlerin nominal özellik değerleri kullanılır.

2.4.2. Sismik İzolasyon Sistemi ve Altyapi Tasarım Esasları

Deprem Yer Hareketi Düzeyi: Sismik izolasyon sistemi ve altyapı bileşenlerinin tasarımında, En Büyük Deprem Yer Hareketi Düzeyi (DD1 / MCE) esas alınır.

İzolatör Alt Sınır Değerleri: En büyük izolatör deplasmanlarının hesaplanmasında, izolatörlerin alt sınır tasarım özellikleri göz önüne alınır.

Doğrusal Davranış Varsayımı: İzolasyon sisteminin tasarımında tamamen doğrusal davranış kabul edilmekte olup, davranış katsayısı R = 1.0 olarak alınır.



Şekil 1. Sismik İzolatörlü Yapı Sistemlerinin Tipik Konfigürasyonu



Şekil 2. İzolatörlü Yapı Sistemlerinin Tipik Uygulaması

Şekil 1'de ve Şekil 2'de tipik bir sismik izolatörlü yapı sisteminin genel konfigürasyonu gösterilmiş, yapı-izolatör etkileşiminin mekânsal organizasyonu ortaya konulmuştur.

2.4.3. İzolatörlü Yapılar İçin Tasarım Adımları

- İzole yapı için zemin sınıfı belirlenir.
- Bina bir ankastre mesnet ile inşa edilmişse, indirgeme faktörü (deprem yükü azalma katsayısı-R) Tablo 5.5'e göre alınır.
- Deprem yalıtımlı yapılarda, taşıyıcı sistemin analizinde bina önem katsayısı I = 1 olarak sabit kabul edilir.
- Yapının sismik yük tanımı kapsamında (G ve Q) dikkate alınarak, sismik kütle (W = G + ηQ) hesaplanır.
- İmar sınırları ve parsel boyutları gibi saha kısıtları doğrultusunda, yapı tabanında izin verilebilir maksimum yatay ötelenme miktarı tanımlanır.
- X ve Y doğrultularında, yapı rijit mesnetli (ankastre) kabul edilerek, sistemin doğal titreşim periyotları modal analizle elde edilir.
- İzolatörlerin yerleştirileceği yük kotuna ilişkin olarak, toplam düşey yük PDL+LL belirlenir
- İzolatör sistemine ait kayma gerilmesi (τs), etkin sönüm oranı (ξeff) ve ilgili diğer tasarım parametreleri belirlenerek doğrusal olmayan dinamik analiz süreci gerçekleştirilir.
- Sistem rijitliğini temsil eden etkili yatay rijitlik tanımıyla (Keff) hesaplanır:

$$K_{eff} = \frac{W}{D}(2\pi/T_D)^2 \quad (1)$$

Tasarım deprem düzeyi (DD-2) için yer değiştirme D_D hesaplanır:

$$D_D = 1.3(\frac{g}{4\pi^2})T_D^2\mu_D S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) \quad (2)$$

- DD-2 seviyeside yer hareketine karşı gelen T_D hesaplanır:

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{W}{gK_D}} \quad (3)$$

- DD-1 seviyesi tasarıma bağlı sistemin yer değiştirmesi DM hesaplanır:

$$D_M = 1.3(\frac{g}{4\pi^2})T_M^2\mu_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) \quad (4)$$

- En büyük deprem düzeyi (DD-1) için etkin periyot TM hesaplanır:

$$T_M = 2\pi\sqrt{\frac{W}{gK_M}} \quad (5)$$

- Sönüm ölçeklendirme katsayısı η hesaplanır:

$$\mu = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \quad (6)$$

- Kurşun çekirdeğin kısa periyot akma kuvveti (Qd) hesaplanır:

$$Q_d = {}^{WD}/_{4DD} = ({}^{\pi}/_{2}) \times K_{eff} \times \varepsilon_{eff} \times DD \quad (7)$$

- Kurşun çekirdeğin rijitliği:

$$K_d = K_{eff} - (Q_d/DD) \quad (8)$$

- Kurşun çekirdek için gerekli kesit alanı hesaplanır:

$$A_p = {}^{Q_d}\Big/_{f_{py}} \quad (9)$$

- Kurşun çapı (dp), Ap değerine göre belirlenir.
- Katmanlı yapı için toplam yükseklik hesaplanır:

$$t_r = {}^{DD}/_{\tau_{max}} \quad (10)$$

- Malzeme özellikleri (E, G, IRHD-60 türü kauçuk, uzama $\varepsilon_u \geq$ %500) dikkate alınarak seçilir.

2.5. Yapının Lokasyonu

Bodrum belediyesi yetki alanı sınırları içerisinde, Muğla İli, Bodrum İlçesi, Ortakent Mahallesi, N18C18D4D Pafta, 223 Ada, 5 Parselde bulunan binanın yapısal tasarım ve performans değerlendirme projesi raporun bundan sonraki kısımları bu proje için deprem tehlike değerlendirmesini ve zemin bağımlı tasarım yer hareketlerinin kullanılarak "Performansa Bağlı Yapı Tasarımı" hesap raporunu ve aşağıdaki başlıklarla bir bütün olarak hazırlanmıştır.

2.6. Zemin Bilgileri

Projenin bulunduğu konum olan Muğla ili, Bodrum ilçesi, Ortakent Mahallesi, N18-C-18-D-4-D pafta, 223 Ada, 5 Parselde "Zemin ve Temel Etüdü Veri Raporu" hazırlanmıştır.

Sunulan zemin ve temel etüdü veri raporu ile zemin sınıfı, yeraltı suyu seviyesi ve tabakalanma bilgileri derlenmiş; bu veriler doğrultusunda spektral analizlere geçilmiştir.

2.7. İnceleme Alanının Mühendislik Jeolojisi

İnceleme alanı ve çevresinin temel kayacını mağmatik kökenli yükseltileri oluşturan geniş üst miyosen yaşlı Andezit seviyeleri oluşturmaktadır. Bu tabakanın üzeri yakın civarda, parsel dışında geniş alanlarda gözlenen Tüf-Aglomeralar ile örtülüdür. Yüzeyde toprak örtü Tüf-Aglomeraların doğal çukurluklarında 40-60 cm kadar bulunmaktadır. Dış görünümü açık kahverengi-gri alacalı olan Tüf-aglomeralar, kırılan yüzeylerinde grimsi, bej-açık kahverengimsi bir görünüm sunmaktadır.

Tablo 1. Yerel Zemin Sınıfları (TBDY 2018)

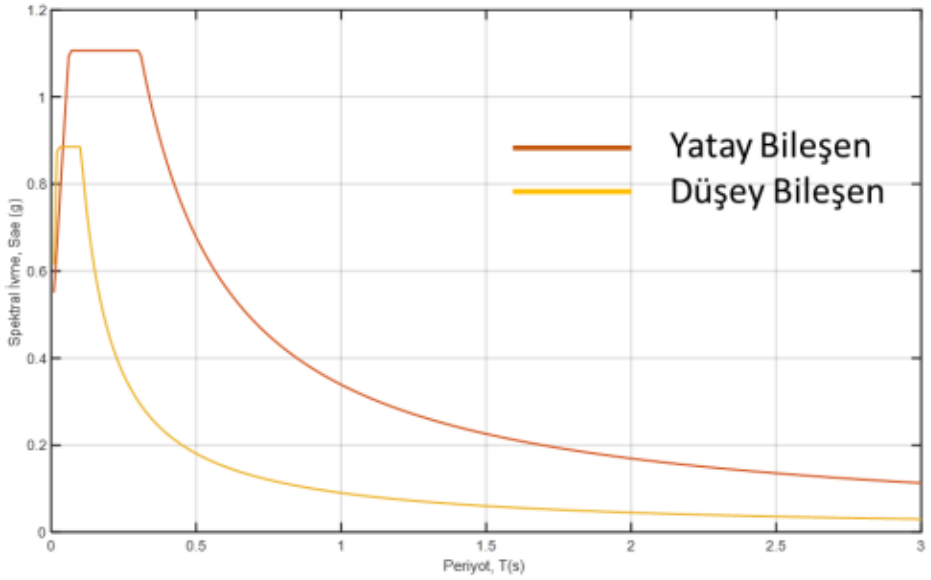
Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(Vs)_{30}$ (m/s)	$(N_{60})_{30}$ (darbe /30 cm)	$(c_u)_{30}$ (kPa)
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya PI > 20 ve w > % 40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (c_u < kPa) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.) 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve / veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI>50) killer, 4) Çok kalın (>35m) yumuşak veya orta katı killer.			

V_{S30} hızı 623,7-635,8 m/s değerinde olduğundan yukarıdaki Zemin Sınıfı tablosuna göre inceleme alanı ZC zemin sınıfında yer almaktadır.

Çalışmanın zemin tanımı ve sismik tehlike değerlendirmesi kısmında, yerel zemin sınıfları, zemin parametreleri ve spektrum verileri TBDY 2018'e uygun olarak detaylandırılmıştır (Tablo 1, Tablo 2, Tablo 7). Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan elde edilen sismik tehlike düzeyleri ve ilgili spektral ivme katsayıları, analiz girdileri olarak kullanılmıştır (Tablo 4, Tablo 5, Tablo 13)

Tablo 2. Zemin Parametreleri (DD-2)

Yerel Zemin Sınıfı	ZC
Spektral İvme Katsayısı (Ss = 0.2sn)	0.922
Spektral İvme Katsayısı (S1 = 1.0sn)	0.226
Yatay Tasarım Spektrumu İvme Kat. (SDS = 0.2sn)	1.106
Yatay Tasarım Spektrumu İvme Kat. (SD1 = 1.0sn)	0.339
Spektrum Karakteristik Periyotları	TA=0.061s, TB=0.306s
Hareketli Yük Katılım Katsayısı, [n]	0.3
Zemin Taşıma Gücü, [σall]	70 t/m²
Düşey Yatak Katsayısı, [kv]	7500 t/m³
Yeraltı Su Seviyesi	Rastlanmadı



Şekil 3. Çalışmada Kullanılan Spektrumlar

Şekil 3, çalışmada kullanılan elastik tasarım spektrumlarını sunmakta olup, bölgesel deprem tehlikesinin sayısal ifadesini sağlamaktadır.

2.8. Deprem Tehlike Analizi Raporu

2.8.1. Deprem Tehlike Analizi ve Zemin Koşullarına Bağlı Tasarım Yer Hareketlerinin Tespiti

Bodrum belediyesi yetki alanı sınırları içerisinde, Muğla İli, Bodrum İlçesi, Ortakent Mahallesi, N18C18D4D Pafta, 223 Ada, 5 Parselde bulunan arsada yapısal performans değerlendirme projesinin yapılması planlanmaktadır. Rapor, planlanan proje için deprem tehlike değerlendirmesini ve zemin bağımlı tasarım yer hareketlerinin belirlenmesini içermekte ve aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır;

- Yapı sistemine etkiyen sismik yük bileşenlerinin kuramsal ve sayısal temelde tanımlanması
- Proje alanına özgü sismotektonik parametrelerin analiz edilerek bölgesel deprem tehlikesinin nicel olarak belirlenmesi
- Yapının tasarımına esas teşkil eden elastik ve inelastik ivme spektrumlarının yönetmelik hükümleri doğrultusunda oluşturulması
- Tanımlanan tasarım spektrumları ile uyumlu, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi
- Çıkarımların değerlendirilmesi

Deprem etkisinin tanımında, ulusal ve uluslararası yönetmeliklerdeki genel ilkeler incelenmiş, ardından proje için öngörülen deprem düzeyleri belirlenmiştir. Saha özelinde deprem tehlikesi; jeolojik yapı, zemin özellikleri, aktif fay sistemleri ve tarihsel depremler ışığında değerlendirilmiştir. Deprem tasarım spektrumları ile spektrum uyumlu yer hareketleri, TBDY 2018 esaslarına göre tanımlanmıştır. Deprem tasarım spektrumları ve spektrum uyumlu yer hareketlerinin belirlenmesinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esasları dikkate alınmıştır. Raporun son kısmında ise elde edilen sonuçlar kısaca özetlenmiştir.

2.9. Proje Sahası ve Yapılar ile İlgili Bilgiler

Projeye konu olan alan, Muğla İlinin güneybatısında, Bodrum ilçesi, Ortakent mahallesi sınırları içerisinde N18C18D4D Pafta, 223 Ada, 5 Parselde bulunmaktadır. Ulaşım asfalt kaplamalı ana yoldan (Bodrum-Ortakent karayolu) sağlanmaktadır. Yol her mevsim ulaşıma açıktır.

Parselin konumu, koordinatları ve faylara olan mesafeleri Şekil 1'de verilmiştir. TBDY 2018 Madde **5B.3.6 (b)** uyarınca en yakın fayın binaya uzaklığının 15 km'den fazla olduğundan proje kapsamında yakın fay etkileri dikkate alınmamıştır.



Şekil 4. Proje Sahasının Konumu (37.055162°, 27.355001°)

Blok taşıyıcı sistemleri betonarme çerçeve olarak bildirilmiştir. Statik proje müellifi tarafından yapı hakim periyotları 0.4~0.71 sn aralığında verilmiştir.

Bu spektrumlara dayanak oluşturan Şekil 4, projenin koordinatlarıyla birlikte sahaya özgü konum bilgisini harita üzerinde vermektedir.

2.10. Deprem Etkisinin Tanımlanması

Günümüzde depreme dayanaklı yapıları inşa edebilmek için performansa dayalı tasarım yöntemine geçilmiştir. Caltrans (1999) ve ASCE 7-10 (2010) şartnameleri deprem tasarım kriterlerini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, 2019 (Ocak) yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) benzer performans hedefleri koymuştur.

2.11. TBDY 2018'e Göre Deprem Etkisinin Belirlenmesi

2018 yılı sonu itibari ile yürürlüğe girmiş olan yenilenmiş **Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği** kapsamında yer alan deprem tehlike haritalarında tasarım bazlı deprem yer hareketi değerleri ve tasarım spektrumunun tanımı değiştirilmiştir. Deprem yer hareketi spektrumları, %5 sönüm oranı ve referans zemin koşulları esas alınarak tanımlanır. Bu tanım, yönetmelikte belirtilen spektral ivme katsayıları ile

yerel zemin etkisi katsayılarına bağlıdır ve standart ya da sahaya özel analizlerle yapılabilir. Zaman tanım alanında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirme esasları yönetmelikte detaylı şekilde açıklanmıştır. Ayrıca, dört farklı deprem düzeyi tanımlanmış olup, bu düzeylere ait veriler Türkiye Deprem Tehlike Haritaları üzerinden sağlanmaktadır.

2.11.1. (DD-1)

Spektral ivme değerlerinin 50 yıl içinde %2 ihtimalle aşılması beklenen ve yaklaşık 2475 yıllık geri dönüş süresiyle tanımlanan çok düşük olasılıklı bir sismik olaydır. Bu düzey, incelenen en şiddetli ve etkili yer hareketi senaryosu olarak kabul edilmektedir.

2.11.2. (DD-2)

Spektral ivme değerlerinin 50 yıllık süre zarfında %10 olasılıkla aşılabileceği ve yaklaşık 475 yıl geri dönüş periyoduna sahip olan, orta sıklıkta meydana gelen bir sismik olaydır. Bu düzey, standart tasarım depremi olarak tanımlanır ve yapısal tasarımda temel alınır.

2.11.3. (DD-3)

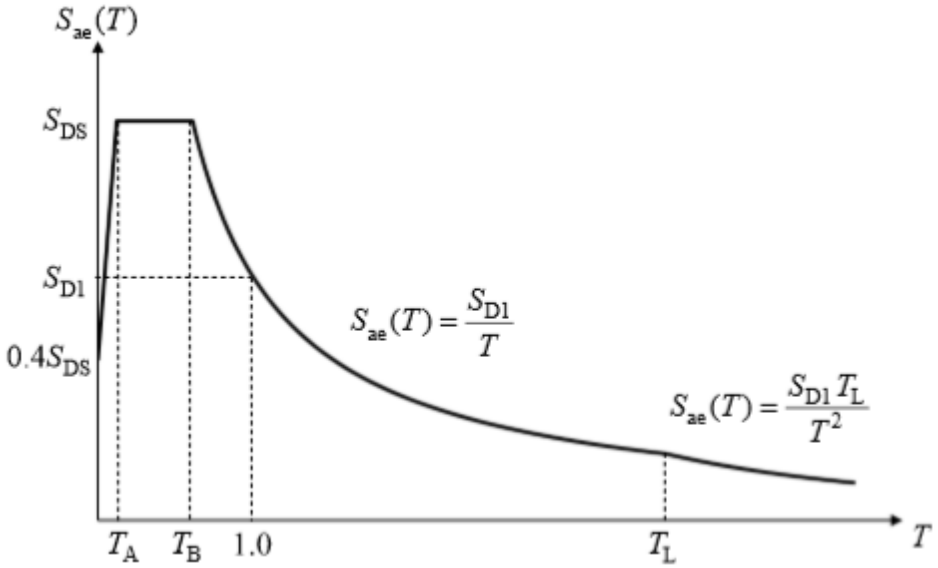
Spektral ivme değerlerinin 50 yılda %50 olasılıkla aşılabileceği ve yaklaşık 72 yıl geri dönüş süresine sahip, sık rastlanan bir yer hareketi türüdür.

2.11.4. (DD-4)

Spektral ivme büyüklüklerinin 50 yıl içinde %68 olasılıkla aşılabileceği (30 yıl için %50 olasılık) ve yaklaşık 43 yıllık geri dönüş periyoduna sahip, oldukça sık karşılaşılan sismik yer hareketi türüdür. Bu düzey aynı zamanda servis depremi olarak adlandırılır.

2.11.5. TBDY'de (2018) Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

İlgili deprem yer hareketi düzeyinde, yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri (Sae(T)), doğal titreşim periyodu fonksiyonu olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden aşağıdaki denklem setiyle ifade edilmektedir.



Şekil 5. TBDY'ye (2018) Yönetmeliğe Göre Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu

SDS ve SD1, tasarımda kullanılan spektral ivme katsayılarıdır; T ise yapının doğal titreşim periyodunu ifade eder. Yatay spektrumun kritik periyotları olan TA ve TB, SDS ile SD1 değerlerinden türetilen aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.

$$T_A = 0.2\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{11}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{12}$$

Yerdeğiştirmenin sabit kaldığı bölge için geçiş periyodu T_L, **6** saniye olarak tanımlanmıştır.

2.11.6. TBDY'de (2018) Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için düşey elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri, Kısa periyotlu yatay deprem yer hareketi, tasarım spektral ivme katsayısı ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak, yerçekimi ivmesi [g] cinsinden aşağıdaki denklemleriyle ifade edilir.

$$S_{aeD}(T) = (0.32 + 0.48\frac{T}{T_{AD}})S_{DS} \qquad (0 \le T \le T_{AD} \tag{13}$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8S_{DS} \qquad (T_{AD} \le T \le T_{BD}) \tag{14}$$

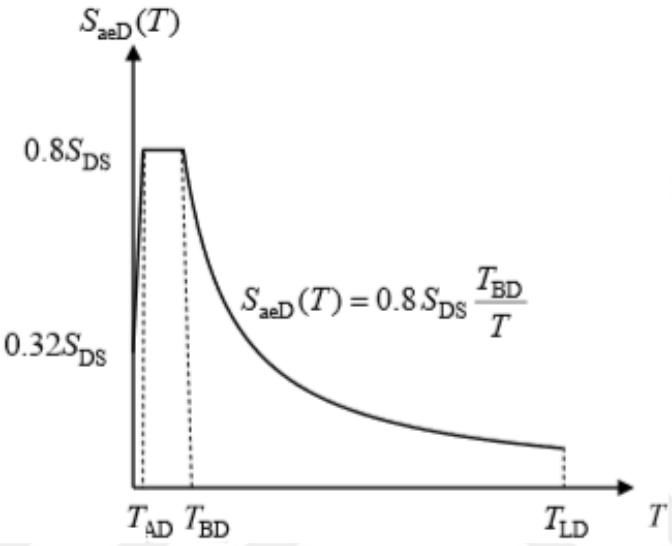
$$S_{aeD}(T) = 0.8S_{DS}\frac{T_{BD}}{T} \qquad (T_{BD} \le T \le T_{LD}) \tag{15}$$

T_{AD} ve T_{BD} olarak adlandırılan düşey spektrumun köşe periyotları ile T_{LD} periyotları şu şekilde tanımlanır;

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \tag{16}$$

$$T_{BD} = \frac{T_B}{3} \tag{17}$$

$$T_{LD} = \frac{T_L}{2} \tag{18}$$



Şekil 6. TBDY'ye (2018) Göre Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrumu

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) uyarınca oluşturulan Şekil 5 ve Şekil 6, sırasıyla yatay ve düşey elastik tasarım ivme spektrumlarını göstermekte; bu spektrumlar tasarım ivmelerinin frekansa bağlı olarak nasıl değiştiğini grafiksel olarak ifade etmektedir. Şekil 7 ve Şekil 8, sırasıyla Ege Bölgesi'nin genel jeoloji ve topografik haritasını sunarken; Şekil 9 ve Şekil 10, saha özelindeki stratigrafik kolon kesiti ile 1/25.000 ölçekli MTA jeoloji haritasını detaylandırmaktadır. Türkiye'nin jeotektonik durumu ve aktif fay hatlarına ilişkin bilgiler ise Şekil 11 ve Şekil 12'de sunularak, bölgesel tektonik yapı değerlendirmesine katkı sağlamaktadır.

2.11.7. Performans Kriterleri ve Çalışmanın Kapsamı

Çalışmada kullanılan zemin kayma hızı (Vs30), "Parsel Bazında Zemin Ve Temel Etüdü Veri Raporu"'na göre belirlenmiştir. Bu raporda, 623,7- 635,8 m/sn aralığında, yerel zemin sınıfı ZC olarak bulunmuştur ve gerekli tüm hesaplamalar buna

göre yapılmıştır. Tablo 1'de, TBDY (2018)'de deprem yer hareketi düzeyine yeni yapılacak veya mevcut binaların beklenen performans düzeyleri verilmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) uyarınca oluşturulan Şekil 5 ve Şekil 6, sırasıyla yatay ve düşey elastik tasarım ivme spektrumlarını göstermekte; bu spektrumlar tasarım ivmelerinin frekansa bağlı olarak nasıl değiştiğini grafiksel olarak ifade etmektedir. Şekil 7 ve Şekil 8, sırasıyla Ege Bölgesi'nin genel jeoloji ve topografik haritasını sunarken; Şekil 9 ve Şekil 10, saha özelindeki stratigrafik kolon kesiti ile 1/25.000 ölçekli MTA jeoloji haritasını detaylandırmaktadır. Türkiye'nin jeotektonik durumu ve aktif fay hatlarına ilişkin bilgiler ise Şekil 11 ve Şekil 12'de sunularak, bölgesel tektonik yapı değerlendirmesine katkı sağlamaktadır.

Yapının mimari ve taşıyıcı sistem özellikleri, kullanım amacı, malzeme sınıfları ve rijitlik düzeltmeleri dikkate alınarak modellenmiş, mevcut yapı türleri ve sistem alternatifleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur (Tablo 3, Tablo 6, Tablo 8–9). Yükleme durumları ve yükleme kombinasyonları ise TBDY 2018'in öngördüğü çerçevede oluşturulmuş ve yapısal modele uygulanmıştır (Tablo 10, Tablo 11)

Tablo 3. Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar **(Yüksek Binalar dışında – BYS ≥ 2)**

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
Normal Performans Hedefi	Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı	
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

2.11.8. Sahaya Özel Deprem Tehlikesinin Değerlendirilmesi

Batı Anadolu'nun özellikle de kıyı şeridinin ülkemiz depremselliği üzerinde önemli bir role sahip olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle bu bölgede geçmişten günümüze çeşitli araştırmacılar tarafından birbirinden farklı yöntemler kullanılarak incelemeler yapılmıştır. Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü ile çeşitli kurumlar arasında yapılan iş birliği sonucunda oluşturulan Mavi Ağ Projesi ile 2004 yılından itibaren Muğla Bölgesi'nin deprem aktivitesi ve deprem üreten kaynakların

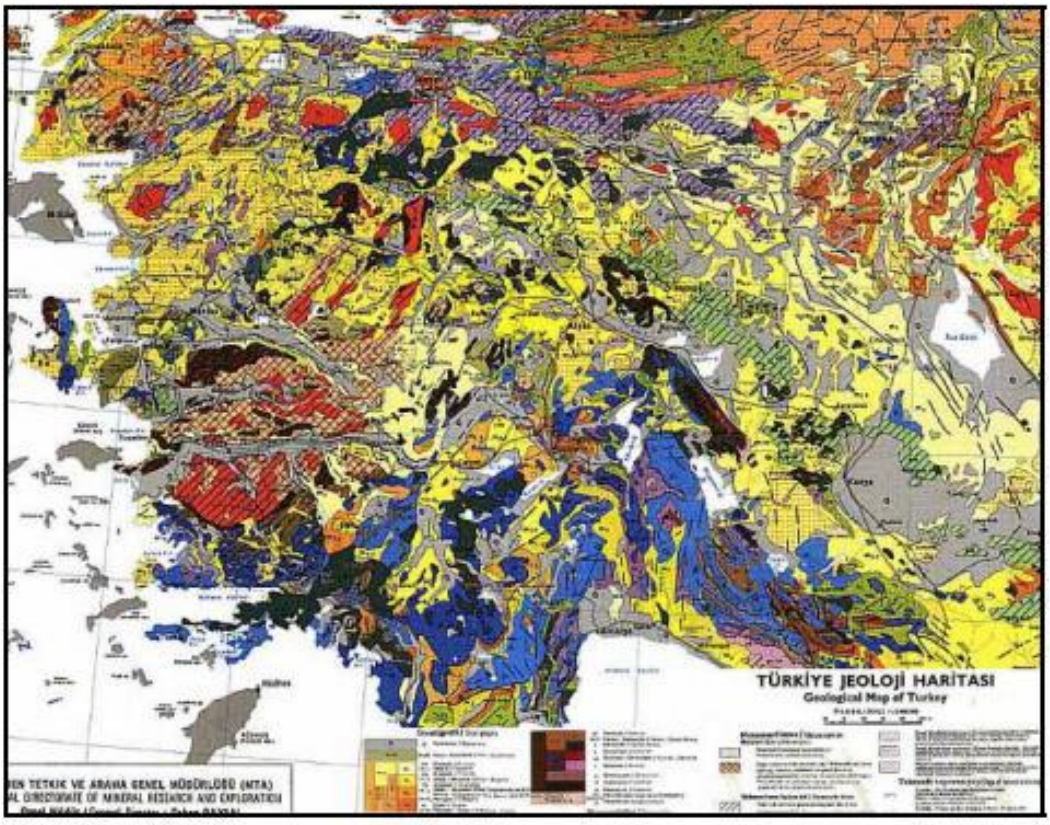
fiziksel özellikleri incelenmeye başlanmıştır (Kalafat vd., 2005). Gülal vd. (2011) tarafından Güneybatı Anadolu Bölgesi'ndeki blok hareketleri ve gerilim alanlarının GNSS ölçümleri ile belirlenmesi amacıyla yapılan TÜBİTAK projesi sonuçlarına göre yerel bağıl hızlardaki ve gerilme alanlarındaki farklılıkların bölgede oldukça etkin olan karmaşık tektonik fazların oluşmasında önemli rol oynadığı görülmüştür. Bu nedenle çalışma alanı içerisindeki bölgesel ölçekte levha etkileşimlerinin detaylı bir şekilde incelenmesi gerektiği belirtilmiştir. Muğla Bölgesi'nin sismik aktivitesi ve yapay sarsıntıları ile ilgili olarak yapılan bir diğer çalışma sonucunda ise Ege Graben sistemi içerisinde yer alan Muğla Bölgesi'nin hem tarihsel hem de aletsel dönemde yıkıcı depremlere maruz kaldığı ve de Gökova Körfezi içerisindeki sismik çizgiselliğin dikkat çekici olduğu belirtilmiştir (Kartal vd., 2014).

Bir bölgede deprem tehlikesinin değerlendirilmesi aşamasında, bölgenin yerel jeolojisi ve zemin koşulları, zemin özellikleri, sismotektonik karakteri (fayların yapısı ve hareketleri) ile geçmişte kaydedilen tarihî ve aletsel deprem verileri dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada, söz konusu faktörlerin her biri detaylı olarak ele alınacaktır.

2.11.9. Bölge Jeolojisi

Batı Anadolu Bölgesi'nin temel jeolojik yapısı; metamorfik formasyonlar, Neojen dönemine ait havza tortulları, Oligo-Miyosen'den başlayarak Kuvaterner'e kadar devam eden magmatik oluşumlar, doğu-batı yönlü graben sistemleri ile Ege denizel çevresinden oluşmaktadır.

İncelenen sahada ise dört ana litolojik birim yer almakta olup, bunlar en yaşlıdan en gençe doğru sırasıyla Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar, Mezozoyik yaşlı formasyonlar, Neojen yaşlı tortullar ve Kuvaterner dönemine ait alüvyonlar olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 7. Ege Bölgesi Jeoloji Haritası (MTA,2002)

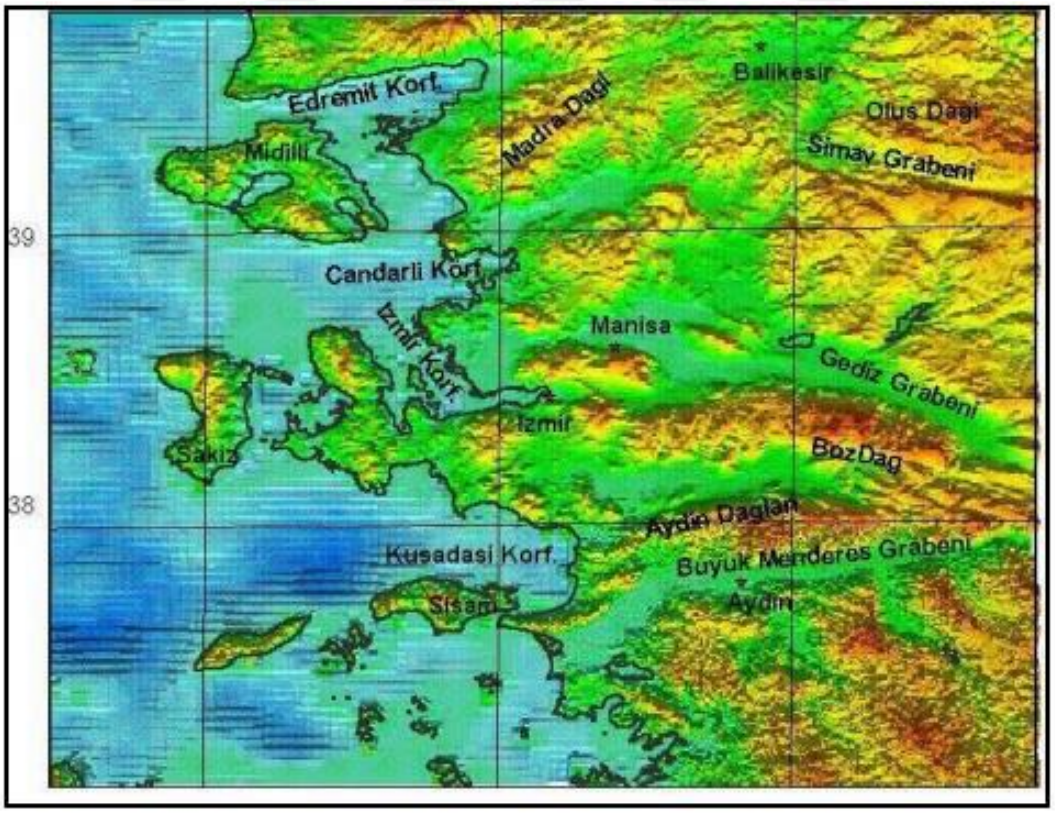
Şekil 7'de Ege Bölgesi'nde en yaygın jeolojik oluşumlar Neojen dönemine ait çökeltilerdir. Bu birimler, Batı Anadolu ve Ege adalarının büyük bölümünde yaygın şekilde görülür. Çökelme süreci genellikle erken Miyosen'de başlamış olup, Trakya ile kuzey Ege adalarında denizel ortamda oluşan çökelmeler haricinde, Ege'nin büyük kısmında karasal koşullarda gerçekleşmiştir. Çökeltiler çoğunlukla birbirine bağlı, düşük enerjili gölsel ortamlarda birikmiştir ve en yaygın birimleri bitümlü şeyllerdir. Menderes masifinin günümüzdeki yükselimi o dönemde henüz gelişmiş olmadığı için, çökelme ortamının Menderes masifi alanlarını da büyük ölçüde kaplamış olduğu anlaşılmaktadır. Batı Anadolu'daki bu karasal ortam Ege'den Yunanistan'a kadar süreklilik göstermektedir (Yılmaz, 2000).

Ege Bölgesi'nde doğu-batı yönelimli graben yapıları, geç Miyosen'den başlayarak Pleyistosen sonlarına kadar gelişim göstermiştir. Bu yapılar, Batı Anadolu ve Ege Denizi'nin temel jeotektonik karakterini belirlemekte olup, deniz tabanında derin çukurların oluşmasına yol açmıştır. Kıta kabuğunun incelmesiyle birlikte, bu alanlarda denizel ortam kara içine doğru ilerlemiş ve yapısal çöküntü sahaları ortaya

çıkmıştır. Grabenlerin çoğu her iki sınırda faylarla çevrili olup, genellikle asimetrik bir morfoloji sergilemektedir.

Bölgede devam eden aktif gerilme hareketleri, yılda yaklaşık 3-4 cm oranında hızlanmakta ve litosferde incelmeye neden olmaktadır. Bu durum, Ege bölgesinin yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahip olmasını sağlarken, aynı zamanda sık ve şiddetli depremlerin kaynağını oluşturur. Termal çökme süreçleri erken ve orta Miyosen dönemlerinde grabenlerin oluşumunda etkili olmuş, doğu-batı doğrultulu uzama hareketleri ise Pleyosen'de hız kazanmıştır.

Batı Anadolu'da kuzey-güney doğrultusunda etkin olan gerilmeler, doğu-batı yönlü normal fay sistemlerinin gelişimini sağlamış, bu da bölgenin ana morfolojik ve jeolojik özelliklerinden biri olan grabenlerin oluşumuna zemin hazırlamıştır. Bu fay sistemleri sismik açıdan oldukça aktif olup, başlıca graben kuşakları Edremit Körfezi'nden başlayıp Bakırçay-Simav, Gediz-Küçük Menderes, Büyük Menderes ve Gökova Körfezi'ne kadar uzanmaktadır. Bu yapıların dinamikleri, bölgenin deprem tehlikesinin temel belirleyicisidir.



Şekil 8. Ege Bölgesinin Topografik Haritası (İBB, 2006)

Şekil 8'de Batı Anadolu ve Ege bölgesinde, Edremit'ten başlayıp Gökova'ya kadar uzanan alanda en baskın yapısal öğeler, kuzey-güney doğrultusundaki gerilme rejimi etkisi altında şekillenmiştir. Bu yapısal gelişmeler, bölgedeki farklı yaşlardaki Neojen dönemi kayaçlarını kapsamlı şekilde etkilemiştir.

Ege graben sisteminin kuzey kısmı, özellikle Edremit Körfezi çevresi, Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Batı Anadolu'daki çekme gerilmelerinin ortak etkisi altındadır. Bu nedenle, burada meydana gelen sismik olayların odak mekanizmaları hem normal fay hareketini hem de yatay bileşenli fay çözümlerini içeren karmaşık bir yapıya sahiptir.

Graben sisteminin diğer önemli alt bölümü ise kuzeydoğu-güneybatı doğrultusundaki Bakırçay grabeni ile kuzey-kuzeybatı-güney-güneydoğu yönündeki Simav grabenidir. Bu yapılar, doğrultu atımlı normal faylarla çevrili büyük çöküntü sahalarını temsil eder. Özellikle Bakırçay grabeni, Çandarlı Körfezi ile Soma arasında konumlanmış olup, 10-20 kilometre genişliğinde ve yaklaşık 80 kilometre uzunluğundadır.

Ege Bölgesi'nde yer alan başlıca graben sistemleri arasında Bakırçay, Gediz, Büyük Menderes ve Küçük Menderes grabenleri bulunmaktadır. Bölgenin yükseltili yapıları ise horst olarak adlandırılır ve bunlar arasında Kaz Dağı, Madra Dağı, Yüne Dağı, Bozdağlar, Aydın Dağları ile Menteşe Dağları öne çıkar.

Yerel zemin koşulları ile bilgiler ise Ege-Su Mühendislik Yerbirimleri ve Sondajcılık tarafından proje sahasında gerçekleştirilen arazi çalışmalarını içeren rapordan derlenmiştir.

2.11.10. Bölgenin Jeolojisi ve Yerel Zemin Koşulları

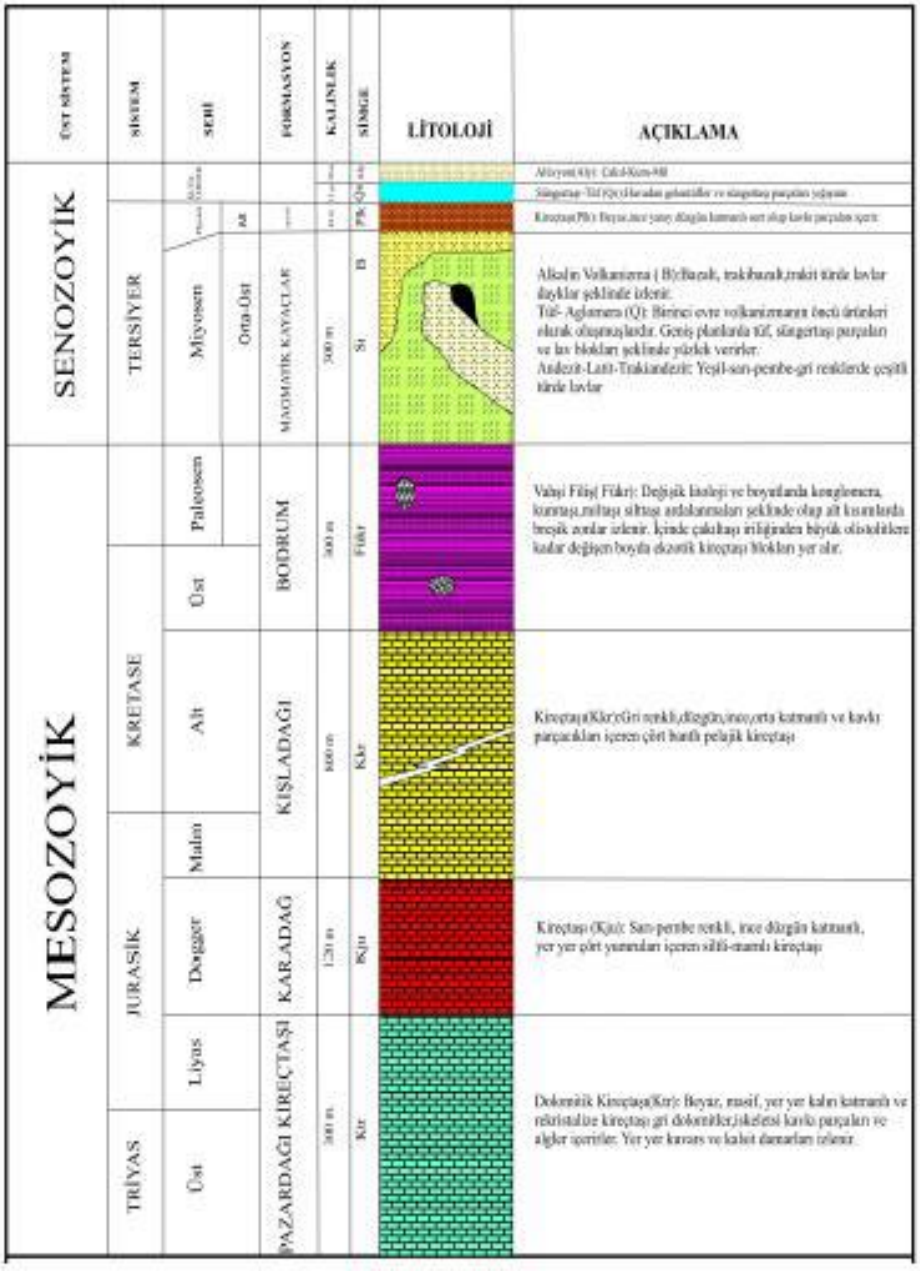
"Parsel Bazında Zemin Ve Temel Etüdü Veri Raporu"'na göre proje alanı Torid tektonik kuşağının batısında yer almaktadır. Etüt alanı genelleştirilmiş stratigrafi sütun kesiti Şekil 7 ile sunulmaktadır. Rapora göre proje sahasında;

Paleozoik:

Güllük Formasyonu(Şptr):

Bölge genelinde temeli, konglomera-kumtaşı-şeyl detritik ardalanmalarından oluşmuş ve hafif metamorfizma geçirmiş bir birim oluşturur. Konglomera,

metakumtaşı ve şeyl düzeyleri, parlak, alacalı, kızıl, mor, kahve renklerde olup gelişkin şiştozite sunarlar. En tipik yüzlekleri Güllük yerleşim merkezi çevresinde izlendiğinden, Güllük formasyonu olarak adlandırılmış bu formasyon, üst düzeylerinde tedrici olarak dolomitik kireçtaşlarına (Pazardağı formasyonu) geçmektedir.



Şekil 9. İnceleme Alanının Genel Stratigrafik Kolon Kesiti

Şekil 9 ve Şekil 10, saha özelindeki stratigrafik kolon kesiti ile 1/25.000 ölçekli MTA jeoloji haritasını detaylandırmaktadır.

Mesozoik:

Pazardağı Formasyonu(Ktr):

Güllük formasyonu üzerinde uyumlu olarak izlenen dolomitik kireçtaşlarıdır. Kireçtaşları yoğun masif, yer yer kalın katmanlı, beyaz renkte olup, yer yer gri renkli dolomitlerle ardalanmalıdır. Pazardağı formasyonunun yaşı Üst triyas-Üst liyas olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında, Pazardağı formasyonu dolomitik kireçtaşları geniş alanda yüzlekler verir.

Bozdağ Formasyonu(Mr):

Bodrum yarımadasının batısında Turgutreis yerleşim merkezi kuzeyinde, Kadıkalesi çevresinde yüzlek veren Monzonit plütonunun dokanağında, Pazardağı formasyonuna ilişkin dolomitik kireçtaşları kontakt metamorfizmaya uğrayarak ilksel kayaç durumlarını kaybetmişler ve mermerleşmişlerdir. Mermerler genellikle masif, som bir yapıda, bol erime boşluklu ve kırıklıdır.

Karadağ Formasyonu(Kju):

Pazardağı formasyonu üzerinde uyumlu olarak yeralan siltli-marnlı kireçtaşlarıdır. Bunlar, ince düzgün katmanlı, sarı-pembe renkli olup yer yer çört bantları da içerirler. Tipik olarak izlendiği Karadağ'dan adını almıştır. İnceleme alanında en çok 120m. kalınlığa erişirler.

Kışladağı Formasyonu(Kkr):

Karadağ formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer alan, gri renkli düzgün-ince-orta katmanlı ve bol kavkı parçacıkları içeren, yer yer çört, bant ve yumruları gözlenen pelajik kireçtaşlarıdır. Kireçtaşı düzeyleri arasında yer yer de ince marnlı düzeyler yeralır. Çeşitli yüzleklerden alınan örneklerde yapılan incelemeler sonucu formasyonun yaşı Jura-Alt Kretase olarak belirlenmiştir.

Bodrum Formasyonu(Fükr):

Değişik litoloji ve boyutlarda konglomera, kumtaşı, miltaşı, silttaşı ardalanmaları şeklinde olup alt düzeylerde breşik zonlar izlenir. İçinde çakıltaşı iriliğinden büyük olistolitlere kadar değişen boyda egzotik kireçtaşı blokları yeralır. ''Vahşi fliş'' olarak nitelendirilebilir. Vahşi fliş çökelleri, inceleme alanında Bodrum ilçe merkezi civarında yaygın olduklarından bu adla adlandırılmışlardır. Vahşi fliş

içinde yer yer pembe kireçtaşı düzeyleri de yeralmaktadır. Formasyonun yaşının Üst Kretase-Paleosen olduğu tespit edilmiştir.

Kadıkalesi Formasyonu(Hrfs):

Bodrum formasyonuna ilişkin vahşi fliş çökellerinin Kadıkalesi ve çevresinde, monzonit plütonunun kontakt metamorfizmaya uğramaları sonucu ilksel kayaç durumlarını kaybetmeleri ile oluşan hornfels'lerdir. Hornfelsler koyu yeşil- yeşil renkli, sert ve düzgün yapraklanmalıdırlar.

Senezoik:

Koyunbaba Formasyonu(Kf):

Çok küçük bir bölgede, Koyunbaba mevkiinde izlenen bu formasyon, sarı boz renkli, ince, düzgün kumtaşı-marn-kiltaşı katman ardalanmalarından oluşmuştur. İçlerinde yer yer kumtaşı yumruları yeralmaktadır. Tüm araştırmalara karşın içlerinde fosil bulunamamıştır. Oligosen yaşta olduğu düşünülmektedir. Kumtaşı-Marn-Kiltaşı ardalanmaları bir fliş görünümündedir.

Magmatik Kayaçlar:

Bodrum yarımadasının Gündoğan-Ortakent hattının batı kısmı tamamen bu kayalarla kaplı durumdadır. Trakidasit, Trakiandezit, olivinli trakiandezit ve Şonkinit olarak adlandırılan mağmatik kayaçlardan müteşekkildir. Pembemsi gri renkli, gri ve bazanda yeşille sarıya kadar çeşitli renk yelpazelerini sunarlar. Daha önceki araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar neticesinde, kimyasal olarak incelenmiş, 12 ada volkanitlerine çok benzedikleri görülmüş, onlarla bir<<eşprovens>>oluşturdukları saptanmıştır.(BURRİ vd.1967- ERCAN, T. 1979–1981).

Akyar Formasyonu(Plk):

Bodrum yarımadasında Akyar burnunda küçük bir yüzleği bulunan Akyar formasyonu, bu yörede Üst Miyosen lavları üstünde uyumsuz olarak izlenen marnlı-killi kireçtaşlarından oluşur. Yaş olarak Üst Miyosen-Alt Pliyosen kabul edilmiştir.

Kuvaterner

Traverten(Qtr);YamaçMolozu(Qym);Süngertaşı-Tüf Yatakları(Qs)veAlüvyonlar(Aly):

Bodrum yarımadasında Kadıkalesi mevkisi yakınında, Boztepe eteklerinde izlenen travertenler, kırık hatlarından çıkan kireçli suların buharlaşmaları sonucu oluşmuşlardır. Yine aynı mevkide küçük bir alanda görülen yamaç molozları; monzonit, mermer ve hornfles döküntülerinden oluşmuştur. Ayrıca, Kos adasının batı ucundaki, bugün olasılıkla deniz altında bulunan bir kaldera'dan şiddetli patlamalarla çok uzaklara saçılan tüfler ve süngertaşı parçaları geniş bir alana yayılarak, bu arada Bodrum yarımadasına da düşerek Tüllüce tepe eteklerinde süngertaşı ve alüvyonlar altında yeralmaktadır.

Alüvyonlar gevşek dokulu az tutturulmuş çakıl taşı, kum, silt, kil malzemelerinin belirli seviyelerde diziliminden ya da bunların karışımlarından oluşmaktadır. Yüksek dağ eteklerinde blok ve çakılların kumla karışık birikimleri, alüvyon yelpazesi şeklinde ovaya doğru tane küçülmesine uğrayarak çakıl kum ve silt birikimlerine geçerler.



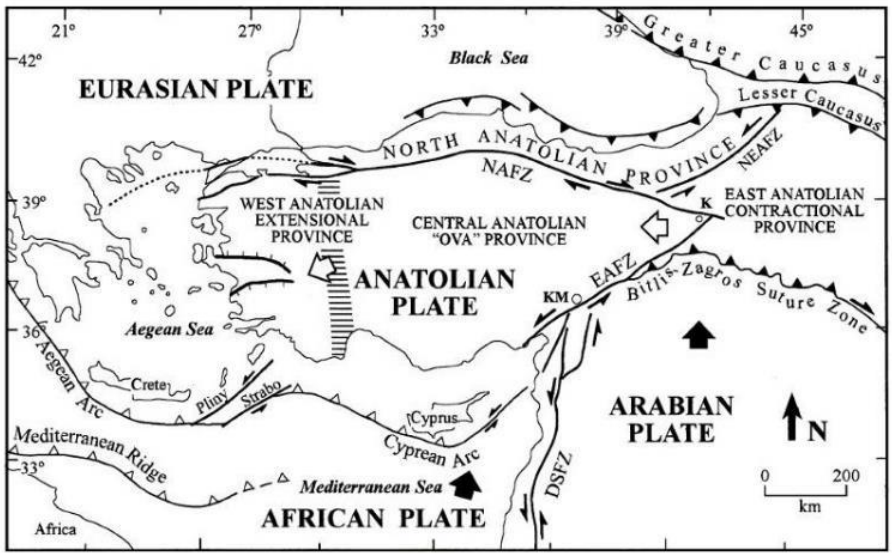
Şekil 10. İnceleme Alanı ve Çevresini Kapsayan 1/25000 ölçekli MTA Jeoloji Haritası.

2.11.11. Bölgenin Sismotektonik Yapısı

Şekil 10'da görüldüğü üzere, Ege Bölgesi'nin aktif tektoniği iki temel jeolojik süreçten etkilenmektedir: Ege dalma-batma sistemi ile Arabistan levhasının kuzeye doğru Anadolu'yu sıkıştırması. Bu süreçler bölgeyi günümüzde oldukça hareketli kılmaktadır. Bölge, kuzey-güney yönlü bir gerilme rejimine maruz kalmakta ve Batı Anadolu'da bu gerilme yıllık 3-6 cm arasında değişmektedir. Bu gerilmeler sonucunda doğu-batı doğrultulu graben sistemleri gelişmiş ve bu fay hatlarında sürekli sismik aktivite gözlemlenmektedir.

Batı Anadolu'daki açılma tektoniğinin mekanizması farklı bilimsel modellerle açıklanmakta olup, bölgenin kıtasal litosferinin parçalar halinde gerilerek yayıldığı, üst mantoda yükselme ve kabuk incelmesi gibi süreçlerin bu açılmayı desteklediği düşünülmektedir. Ayrıca Anadolu bloğunun batıya doğru hareketinin çevresel sınırlarla kısıtlandığı, bu durumun da kuzey-güney doğrultulu gerilmenin baskın olmasına yol açtığı ileri sürülmektedir.

Bölgedeki tektonik hareketler, doğu-batı doğrultulu çöküntü alanlarının gelişimini ve bu alanlarda aktif faylanmayı şekillendirmekte, böylece Batı Anadolu'nun yapısal evriminde belirleyici rol oynamaktadır. Son dönemlerde yapılan ölçümlerle bölgedeki levha hareketlerinin ve deformasyonların sürekli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 11. Türkiye'nin Ana NeoTektonik Yapılarını Gösteren Harita

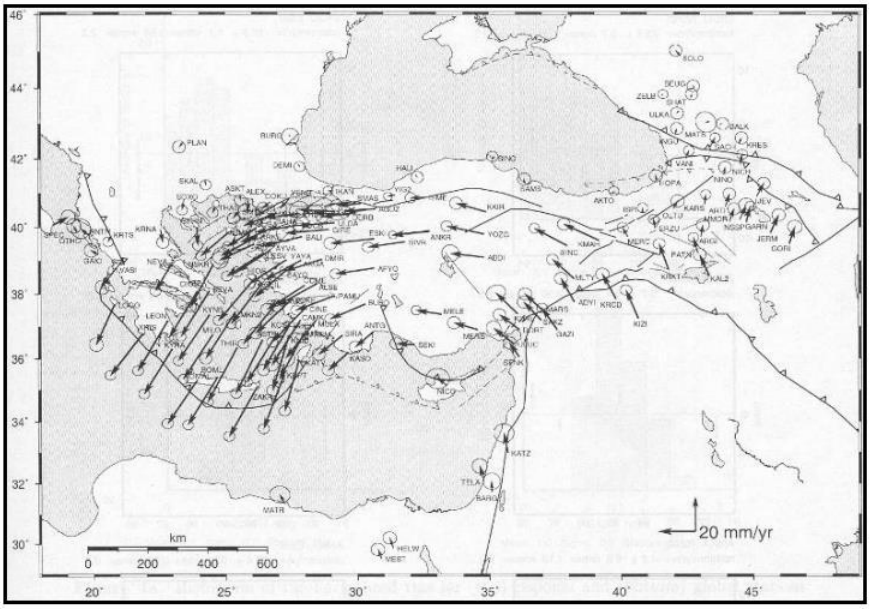
Şekil 11 ve Şekil 12'de sunularak, bölgesel tektonik yapı değerlendirmesine katkı sağlamaktadır.

Batı Anadolu ile Ege bölgesinde, Gökova'dan Edremit'e kadar uzanan alanda en yaygın yapılar, kuzey-güney doğrultusunda gelişen gerilme rejiminin etkisiyle oluşmuştur. Bu yapısal özellikler, bölgedeki farklı yaşlardaki Neojen kayaçları kapsamlı biçimde etkilemiştir.

Bunun yanı sıra, Akdeniz'de Afrika levhasının Ege levhası altına dalma hızı 35 ila 1,1 cm/yıl arasında değişmekte olup, bu süreçte eriyen levha parçalarının yukarı doğru itmesiyle doğu-batı doğrultulu yerçekimsel kırıklar ve graben sistemleri ortaya çıkmıştır.

Güncel uydu gözlemleri, Anadolu levhasının doğu ve orta bölgelerinde batıya doğru hareket ettiğini göstermektedir. Yaklaşık 18- 22 mm/yıl hareket etmektedir. Hareket, batıda saatin tersi yönünde bir rotasyonsal harekete dönüşerek, Ege hendeğine doğru yüksek bir hızla (40 mm/yıl) ilerlemektedir.

Bu hareket, kıta kabuğunun daha yoğun olan okyanus kabuğu üzerinde kayması şeklinde değerlendirilebilir. Diğer bir ifadeyle, Doğu Akdeniz'deki okyanus tabanı, Ege levhasının altına doğru hızla dalma eğilimindedir.



Şekil 12. Türkiye ve Çevresindeki Aktif Levha Sınırları ve Anadolu Bloğunun Batıya Hareketi

Batı Anadolu’da kabuk kalınlığı yaklaşık 25–30 km arasında değişmektedir. Bölge, yüksek ısı akısı ve genç volkanik etkinlik belirtileriyle dikkat çeker. Ege Bölgesi’nde doğu-batı doğrultusunda uzanan grabenlerin kenarları, genellikle 30–35° eğimli normal faylarla sınırlanmıştır. Bu yapıların, bölgedeki aktif tektonik süreçler sonucu ortaya çıktığı ve depremselliğin, kıta içi gerilmelere bağlı geliştiği değerlendirilmektedir.

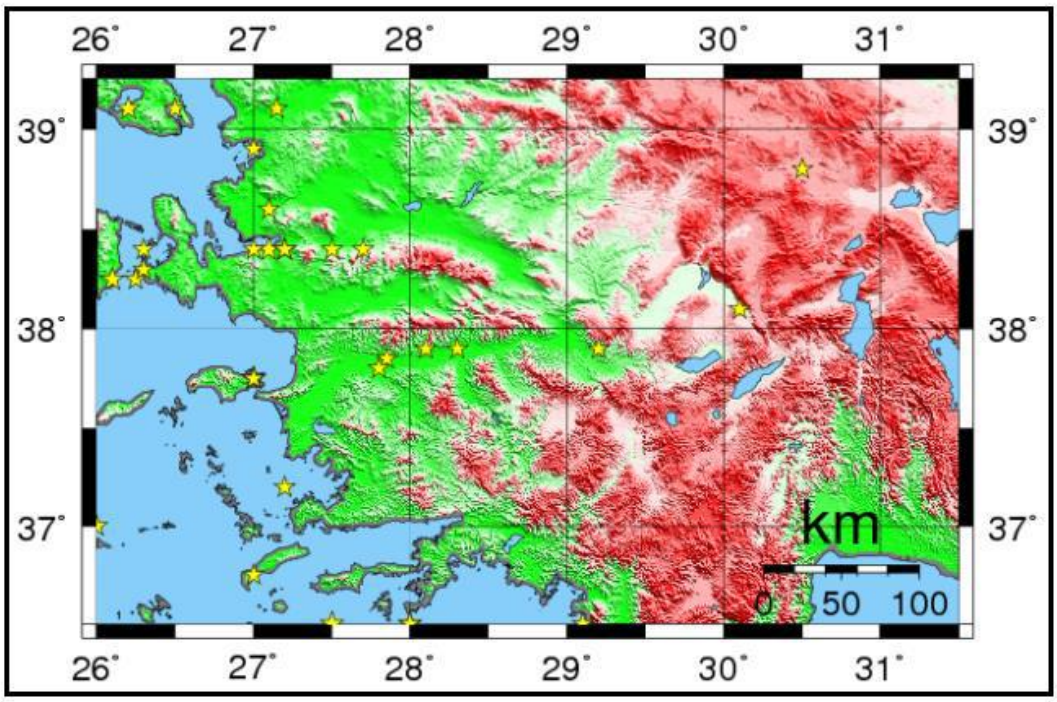
Muğla - Yatağan Fay Zonu: Bu fay zonu, Muğla'nın yaklaşık 15 km GD'su ile Yatağan arasında uzanan yaklaşık 40 km uzunlukta birbirine paralel KB-GD doğrultulu faylardan oluşmaktadır. Bu fay zonunun Ortayaraş-Gökpınar köyleri arasında uzanan 32 km'lik bölümü, yer yer sol yönlü doğrultu atım bileşenli normal fay karakterindedir.

Ula (Muğla) – Ören (Muğla) Fay Zonu: Bu fay zonu, Muğla doğusunda Muğla-Yatağan fay zonundan dar bir açı yapacak şekilde ayrılarak BGB doğrultusunda uzanır. Fay zonunun karadaki toplam uzunluğu 60 km civarında olup, Ören'in batısında denize girerek İstanköy adasının güneyini izler ve buradan batıya doğru devam eder. Bu fay zonu, K74D 77GD yönelime sahip olup, listrik normal fay karakteri taşımaktadır. Faylanma sonucu güney blok kuzeyine göre 500 m civarında aşağıya doğru kaymıştır.

Karaova (Muğla) – Milas (Muğla) Fay Zonu: Bu fay zonu, Karaova - Milas arasında yüzeyleyen metamorfik kayaçlarda izlenebilen KB-GD doğrultulu birbirine paralel fay takımlarından oluşmaktadır. Yaklaşık 20 km genişlikte olan fay zonu, morfolojiyi denetlemesi nedeniyle olası diri fay olarak kabul edilmiştir (Şaroğlu vd. 1987).

2.11.12. Muğla ve Çevresindeki Geçmiş Dönemlere Ait Deprem Oluşumları

Batı Anadolu’nun tektonik yapısının kavranabilmesi için tarihsel dönemlerde meydana gelen depremlerin bilinmesi büyük önem taşır. Bölge, geçmişte birçok uygarlığa ev sahipliği yapmış olması nedeniyle, tarihsel deprem kayıtlarının en yoğun şekilde bulunduğu alanlardan biridir. Bu durum, tektonik hareketlerin uzun dönemli izlenmesine olanak sağlar.



Şekil 13. Ege Bölgesi Tarihsel Dönem Depremlerinin Dağılımları (USGS-Web)

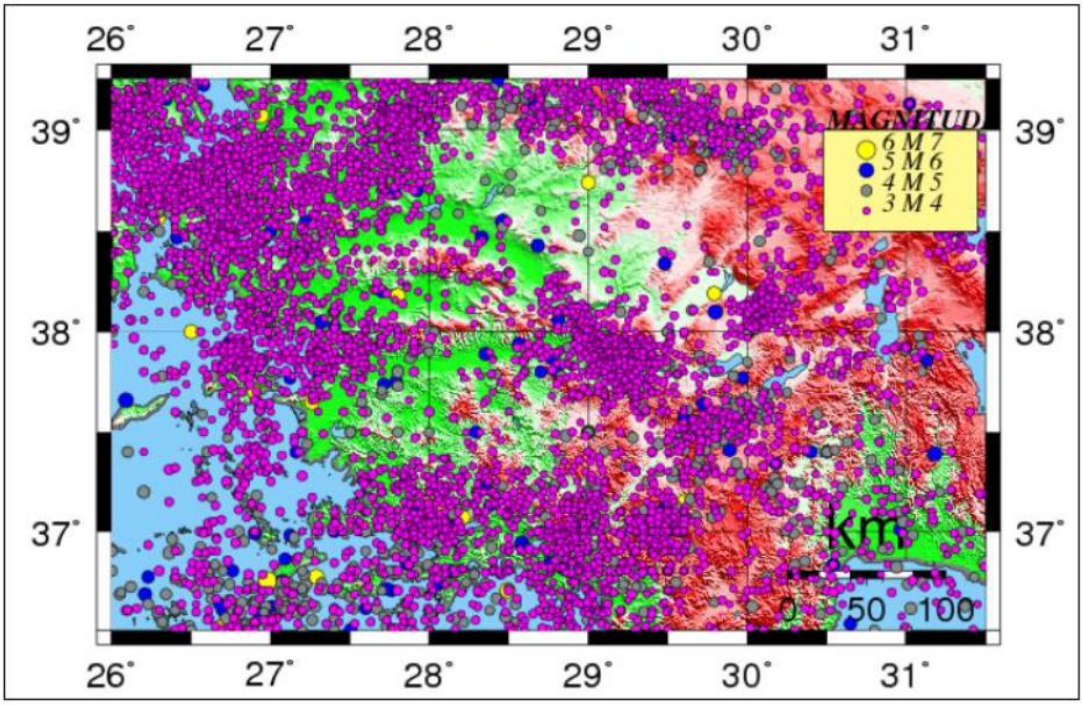
Şekil 13 ve Şekil 14, Ege Bölgesi'ne ait tarihsel ve aletsel dönem depremlerinin dağılımını karşılaştırmalı biçimde göstermekte; bu veriler, spektral analizler öncesi sismotektonik bir değerlendirme yapılmasına olanak tanımaktadır. Tarihsel veriler, Batı Anadolu'da pek çok antik yerleşimin 1900 yılı öncesinde gerçekleşen yıkıcı depremlerden etkilendiğini ortaya koymaktadır. Özellikle İzmir ve çevresinde, bazı depremlerin ciddi hasarlara yol açtığı bilinmektedir. Bu durum, bölgenin uzun süredir aktif bir sismotektonik yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

2.11.13. Muğla Bölgesi ve Yakın Çevresinde Mevcut Deprem Aktivitesi

Dönemsel olarak 1900'lü yıllardan itibaren günümüze kadar uzanan modern cihazlarla tespit edilen Batı Anadolu'da birçok deprem meydana gelmiş, bazıları önemli can ve mal kayıplarına yol açmıştır. Özellikle 1945 yılında Denizli ve 1955'te Söke-Aydın'da meydana gelen 6.8 büyüklüğündeki depremler, bölge tarihindeki en güçlü sarsıntılar arasında yer almaktadır.

Bölgedeki sismik kayıtlar, depremlerin çoğunlukla yüzeye yakın, 0–33 km derinlikte gerçekleştiğini göstermektedir. Sarsıntıların yoğunlaştığı alanlar arasında Gediz Grabeni, Bergama-Foça Fay Zonu, Karaburun'un kuzey kesimi ve İzmir-Manisa çevresi öne çıkmaktadır. Bu alanlarda geçmişte Torbalı, Alaşehir, Gediz ve Büyük

Menderes gibi yıkıcı depremler yaşanmıştır. Bu veriler, bölgenin halen aktif tektonik yapısını sürdürdüğünü ortaya koymaktadır.



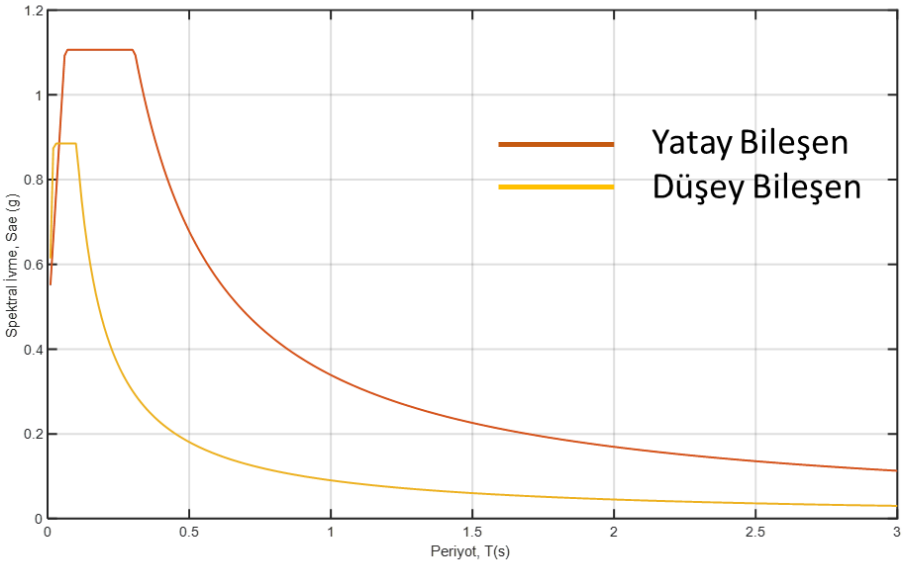
Şekil 14. Anadolu Batı Bölgesi Aletsel Dönem Sismik Dağılımları

2.11.14. Proje Sahasinin Depremselliğinin Belirlenmesi

Proje sahası, 37.055162°, 27.355001° koordinatlarında bulunmaktadır. Proje sahası yerel zemin sınıfı ZC olarak belirlenmiştir. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması Sismik Tehlike Haritası Değerleri Tablo 2 ile sunulmaktadır.

Tablo 4. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması Sismik Tehlike Haritası Değerleri

Tasarım Depremi			**Yatay Bileşen**	
SS=0.2 sn	**S1=1.0 sn**		**SDS=0.2 sn**	**SD1=1.0 sn**
DD-2 Depremi	**0.922**	**0.226**	**1.106**	**0.339**



Şekil 15. Çalışmada Kullanılan Spektrumlar

Şekil 15–51 aralığında sunulan bu şekiller, hem yatay hem de düşey bileşenlerdeki yer hareketlerinin spektral ivme, deplasman, Arias şiddeti ve zaman tanım alanındaki davranışlarının detaylı karşılaştırmalarına olanak sağlamaktadır.

2.11.15. Sahaya Özel Deprem Yer Hareketlerinin Seçimi

TBDY'de (2018) zaman tanım alanında yapılacak analizler için en az 11 adet deprem yer hareketi takımı (yatay doğrultuda birbirine dik iki yatay bileşen için ivme kayıtları) seçilmesi istenmektedirBu çalışmada, TBDY 2018'e göre DD-2 düzeyine uygun 11 yer hareketi kaydı, yönetmelik esaslarına göre seçilmiştir.

a. Zaman tanım alanında bina taşıyıcı sistemlerinin deprem analizlerinde kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi; tasarımda esas alınan deprem yer hareketi seviyesi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay mesafeleri, kaynak tipleri ve yerel zemin özellikleri dikkate alınarak gerçekleştirilecektir. Bölgedeki mevcut deprem kayıtları, tasarım seviyesine uygun ise öncelikle bu kayıtlar tercih edilecektir. Ayrıca, sahaya özgü deprem riskine en çok etki eden depremlerin büyüklük ve fay mesafesi verilerinin tespiti amacıyla deprem tehlikesi ayrıştırma yöntemi kullanılabilir.
b. Deprem kaydı temininde yetersizlik olması durumunda, yerel zemin ve kaynak özelliklerini yansıtan benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir; bu kayıtların, bölgeye ait gerçek depremlerle uyumlu olduğu doğrulanmalıdır.

c. Bir veya iki boyutlu analizlerde seçilecek deprem kayıt sayısı en az 11 olmalı, aynı depremden alınan kayıt sayısı ise üçü aşmamalıdır; üç boyutlu analizlerde de benzer sayı geçerlidir.
d. Bileşke spektrumun, binanın hâkim doğal titreşim periyodu (Tp) ile 0.2Tp ve 1.5Tp arasındaki genlikleri, deprem tasarım spektrumunun aynı aralıktaki genliklerinin en az 1.3 katı olacak şekilde ölçeklendirilecektir; bu ölçeklendirme her iki bileşen için eşit oranda uygulanır.
e. Binanın taşıyıcı sistemleri için zaman tanım alanında gerçekleştirilecek analizlerde kullanılacak deprem yer hareketleri, seçilen kayıtların basit bir ölçekleme yöntemiyle uyarlanmasıyla elde edilebilir.
f. Deprem yer hareketleri, zemin davranış analizleri veya zaman tanım alanındaki diğer hesaplar için, seçilen deprem kayıtlarının tasarım spektrumuna spektral uyum sağlayacak şekilde dönüştürülmesiyle elde edilebilir; bu dönüştürme sonucunda, deprem yer hareketlerinin spektral ortalamaları tüm periyotlarda tasarım spektrumu değerlerinden düşük olmayacaktır.

Bu çalışmada, TBDY (2018) spektrumu ile uyumlu deprem yer hareketlerinin seçimi için belirtilen kurallar aşağıdaki şekilde uygulanmıştır.

a. Deprem yer hareketlerinin seçimi için PEER NGA Veri Bankası (2013) kaynaklı 4096 kayıt kullanılmıştır.
b. Depremin büyüklüğü, DD-2 deprem düzeyi için MW 6.06 ile 7.51 arasında ve zemin Vs hızı 406.7 ile 649.7 m/s aralığında olan yer hareketleri seçilmiştir.
c. DD-2 için seçilen deprem yer hareketlerinin fay hattına uzaklığı 15,46 ile 61,85 km arasında değişim göstermektedir.
d. Üst yapıdan sorumlu proje müellifi tarafından yapıların hâkim doğal titreşim periyodlar (Tp) 0.4~0.71 s olarak belirlenmiştir. Bu durumda ölçeklendirilmeye esas olan spektral periyot aralığının 0.08 s (=0.2*0.4) ile 1.07 s (=1.5*0.71) olması gerekmektedir.
e. Proje alanında belirlenen deprem yer hareketlerinden türetilen bileşke spektrum, DD-2 deprem seviyesine karşılık gelen 0.1–3.0 saniye periyot aralığında, TBDY (2018) standartlarına uygun şekilde ölçeklendirilmiştir.
f. Ölçeklendirme sonrası, Deprem Tasarım Spektrumuna en uygun 11 yer hareketi kaydı seçilmiştir. Spektrumların tam uyum göstermemesi nedeniyle, uyum zaman yerine frekans tanım alanında sağlanmıştır.

g. Tasarım ve bileşke spektrumlar, %5 sönüm oranı esas alınarak hazırlanmıştır.
h. Toplam spektrum, deprem yer hareketinin iki bileşenine ait spektrumların karelerinin toplamının karekökü şeklinde hesaplanmıştır.

Tekrarlama periyodunun 475 yıl olduğu deprem düzeyi için (DD-2 deprem düzeyi) TBDY (2018) kuralları dikkate alınılarak yatay bileşenleri için 0.08s-3.0s periyot aralığında, düşey bileşen 0.01s- 1.5 s için ölçeklendirilmiş (spektral uyuşum) yer ivmesi 11 adet iki yatay deprem yer hareketi kayıtları, RspMatch2009 programı kullanılarak uyuşum sağlanmıştır.

RSPMATCH yazılımı, hedef spektruma uyum sağlamak için deprem kayıtlarına sonlu süreli dalgacıklar ekleyip çıkarmaya dayanır. Böylece, elde edilen kayıtlar hedef spektrumla yüksek uyum gösterir. Yazılımda iki farklı dalgacık modeli kullanılır: biri tersine çevrilmiş tek serbestlik dereceli sistemin darbe ivmesi, diğeri ise kosinüs dalgasının filtre uygunmasıyla bulunur.

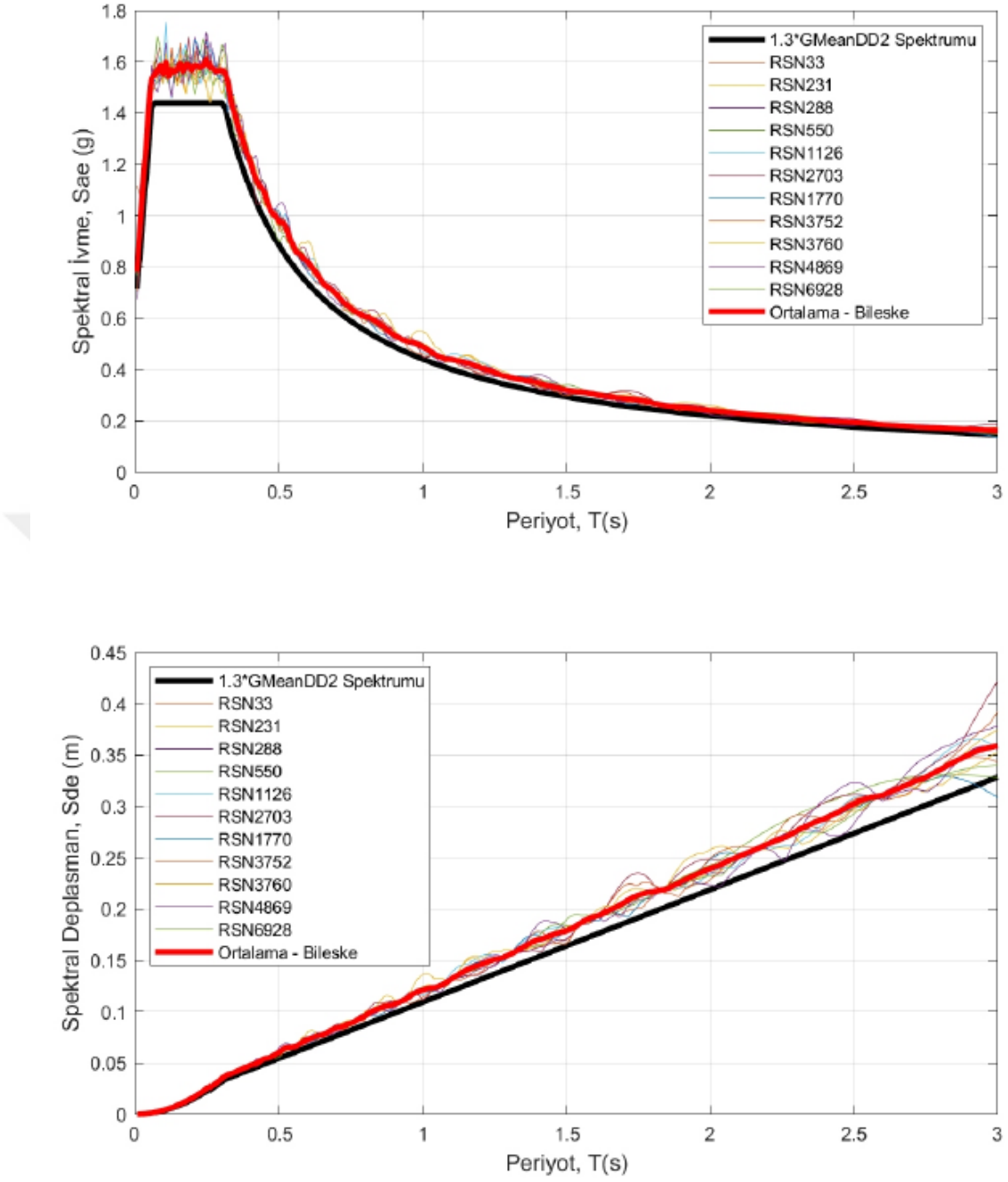
İki dalgacık uygulanmasıyla, belirlenen frekans aralığında yüksek ivme değerleri sonucunda en büyük ivme değerlerine göre faz içeriğinde önemli bir değişiklik olmadan yer hareketleri elde edilebilmektedir. Çalışmada ilk olarak, PEER NGA West2 Veri Bankasından (PEER, 2013) yer hareketi kayıtları incelenerek istenilen özelliklere sahip yer hareketi kayıtları seçilmiştir.

Çalışmada ölçeklendirme amacıyla kullanılan yer hareketlerinin listesi, DD-2 deprem düzeyi için Tablo 3'de verilmiştir. Şekil 14'de yatay doğrultuda birbirine dik iki yatay bileşen DD-2 temel alınarak, ölçeklendirilmiş spektral ivme ve deplasman bileşik verileri ve ortalama değerleri paylaşılmıştır.

Şekil 15 ve Şekil 16'da DD-2 deprem düzeyi için H1 ve H2 yönleri için, Şekil 17'de düşey bileşen için spektral ivme ve spektral deplasman grafikleri verilmiştir. Şekil 18'den Şekil 50'e kadar her iki yatay bileşen ve düşey bileşen dikkate alınarak hesaplanmış her bir deprem yer hareketi kaydına ait orijinal DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş ivme, hız, deplasman, spektral ivme, spektral deplasman, tasarım spektrumları ve bileşke spektrumlara ait grafikler verilmiştir.

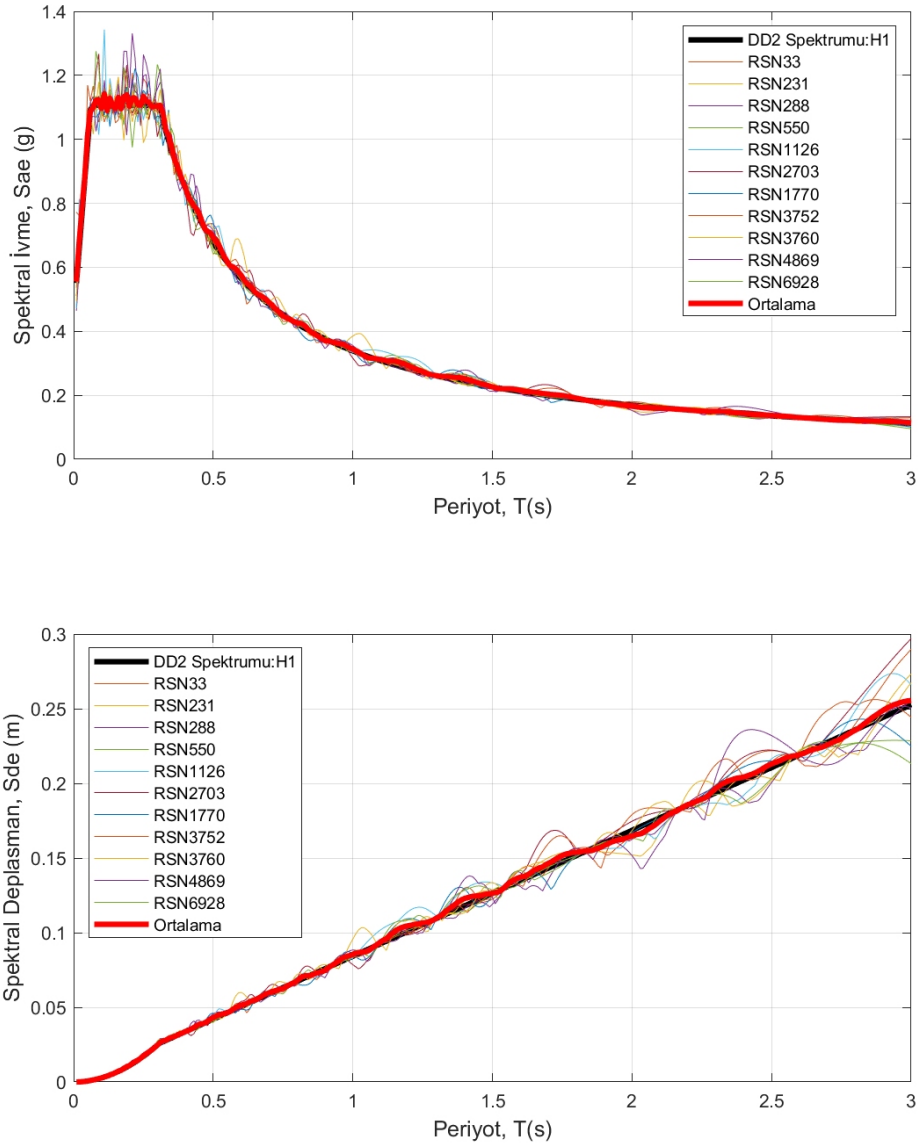
Tablo 5. DD-2 Deprem Düzeyi İçin Seçilen Deprem Yer Hareketlerinin Karakteristik Özellikleri

RSN	Deprem	MW	Fay Mekanizması	İstasyon	Bileşen (H1)	Bileşen (H2)	Bileşen (V)	Epic Uzak. (km)	En Kısa Uzak. (km)	VS,30 (m/s)	Ölçeklendirme Katsayısı DD-2
33	Parkfield	6.2	strike slip	Temblor pre-1969	TMB205	TMB295	TMBDWN	15.96	15.96	527.9	1.4
231	Mammoth Lakes-01	6.1	Normal Oblique	Long Valley Dam (Upr L Abut)	I-LUL000	I-LUL090	I-LUL-UP	12.56	15.46	537.2	1.4
288	Irpinia_Italy-01	6.9	Normal	Brienza	A-BRZ000	A-BRZ270	A-BRZ-UP	22.54	22.56	561.0	1.9
550	Chalfant Valley-02	6.2	strike slip	Bishop - Paradise Lodge	A-BPL070	A-BPL160	A-BPL-UP	14.97	18.31	585.1	3.9
1126	Kozani_Greece-01	6.4	Normal	Kozani	KOZ--L	KOZ--T	KOZ-UP	14.13	19.54	649.7	2.5
2703	Chi-Chi_Taiwan-04	6.2	strike slip	CHY028	CHY028N	CHY028E	CHY028V	17.6	17.7	542.6	2.5
1770	Hector Mine	7.1	strike slip	Big Bear Lake - Fire Station	BBL016	BBL106	BBL-UP	61.85	61.85	406.7	1.6
3752	Landers	7.3	strike slip	Forest Falls Post Office	FFP210	FFP300	FFP-UP	45.34	45.34	436.1	3.1
3760	Landers	7.3	strike slip	Big Bear Lake - Civic Center	BLC360	BLC270	BLC-UP	45.48	45.48	430.4	2.5
4869	Chuetsu-oki_Japan	6.8	Reverse	Kawaguchi	65042NS	65042EW	65042UD	23.63	29.25	640.1	2.3
6928	Darfield_ New Zealand	7.0	strike slip	LPCC	LPCCN80E	LPCCS10E	LPCCUP	25.21	25.67	649.7	1.6

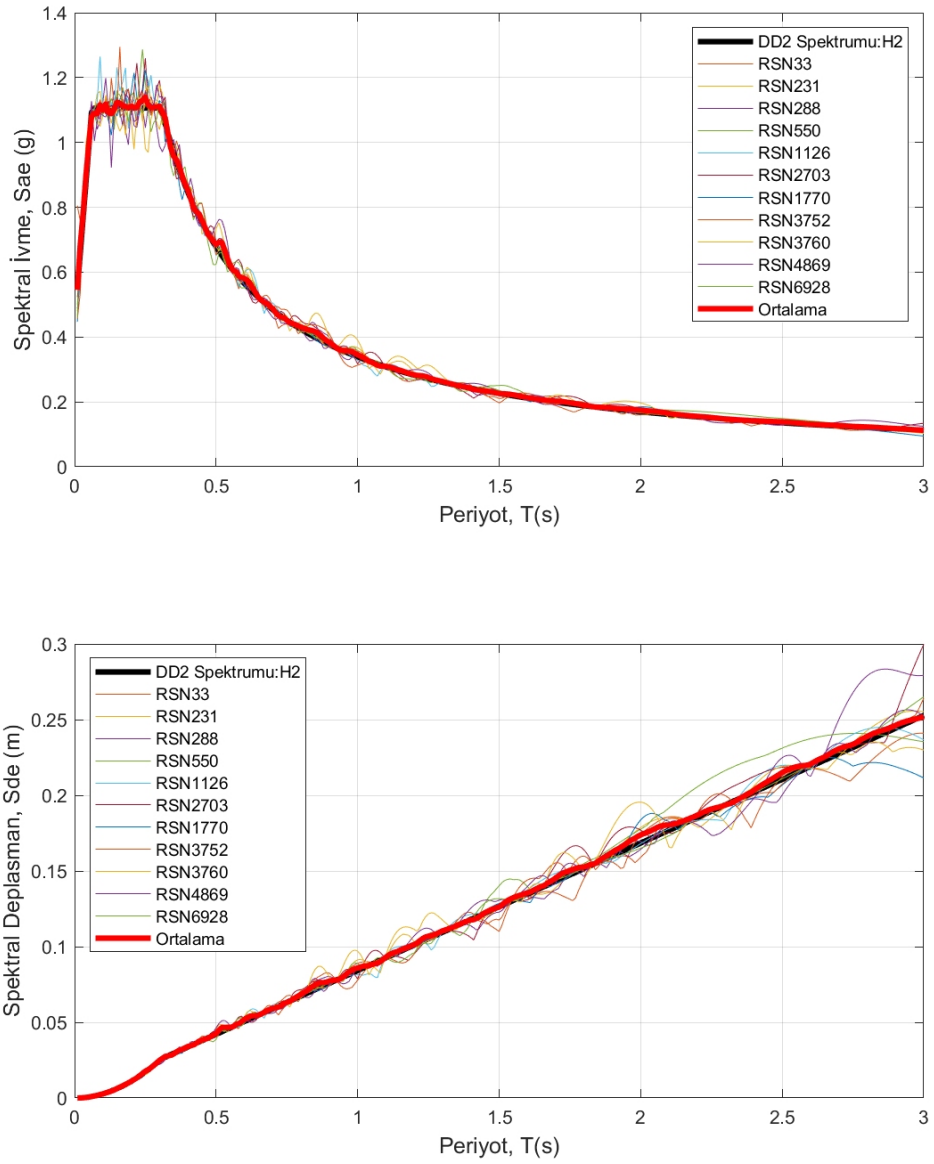


Şekil 16. DD-2 deprem seviyesine göre ölçeklenmiş seçilmiş yer hareketlerinin spektral ivme ve deplasman bileşke spektrumları ile ortalama değerleri.

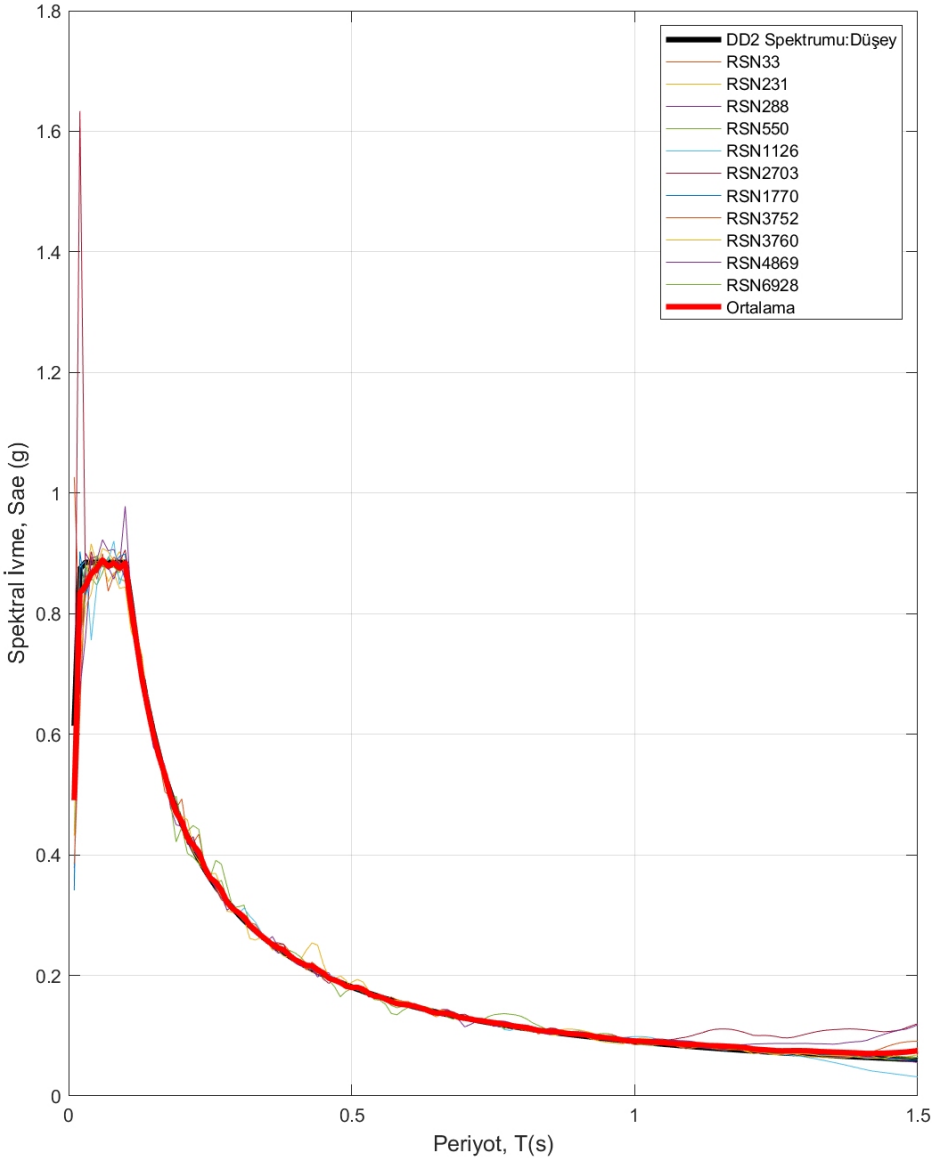
Şekil 16–19 arasında seçilmiş DD-2 deprem düzeyi için ölçeklendirilmiş yer hareketlerine ait H1, H2 ve düşey yön spektral ivme ve spektral deplasman bileşke spektrumları sunulmuştur. Bu grafikler, DD-2 düzeyinde tasarım spektrumları ile karşılaştırılarak, analizlerin mühendislik uygulamalarına uygunluğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 17. DD-2 deprem düzeyine göre ölçeklenmiş, H1 yönündeki seçilen deprem yer hareketlerinin spektral ivme ve deplasman grafikleri.

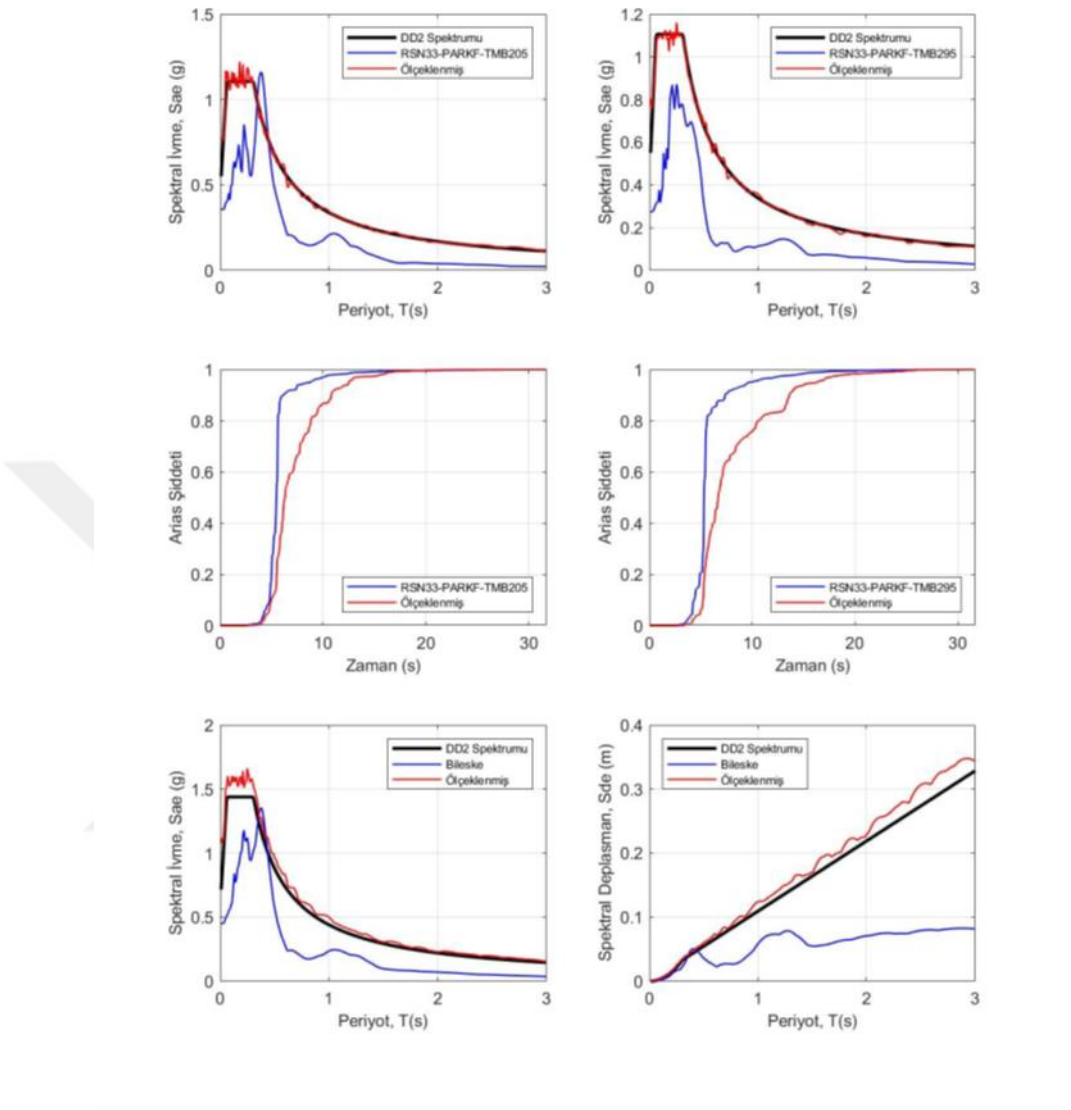


Şekil 18. DD-2 deprem düzeyine göre ölçeklenmiş, H2 yönündeki seçilen deprem yer hareketlerinin spektral ivme ve deplasman grafikleri.



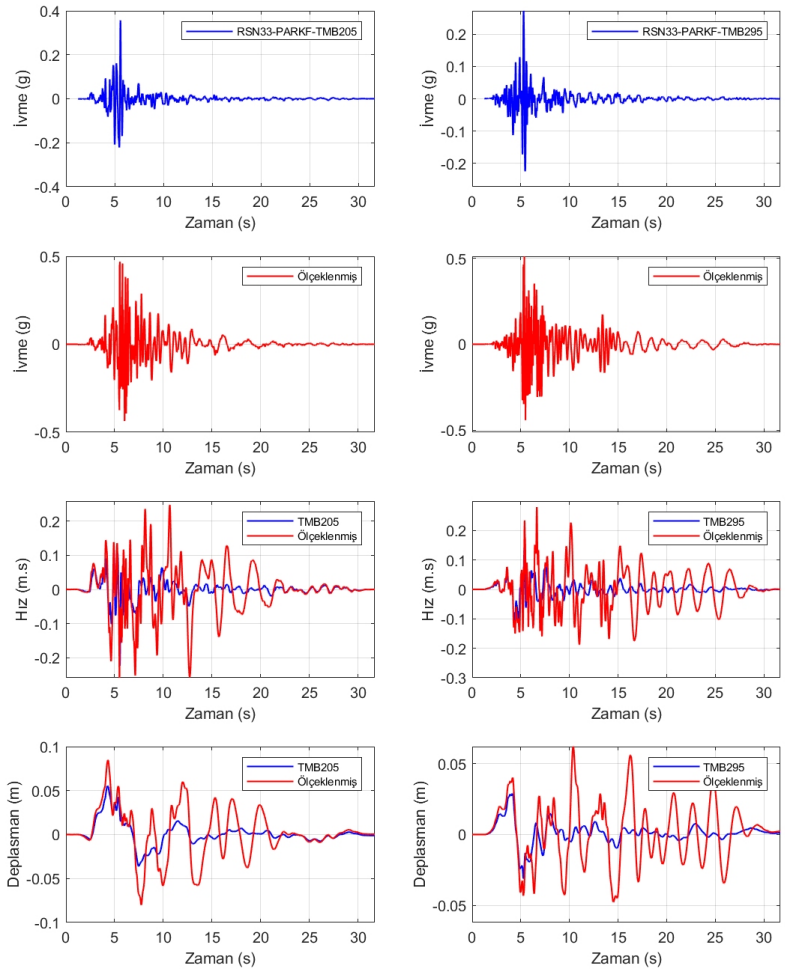
Şekil 19. DD-2 için ölçeklenmiş, düşey yönündeki seçilen deprem yer hareketlerinin spektral ivme ve deplasman grafikleri.

2.12. DD-2 Deprem Düzeyi için Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtları



Şekil 20. Parkfield Depremi'ne ait Temblor pre-1969 istasyonu RSN33_PARKF_TMB205 ve RSN33_PARKF_TMB295

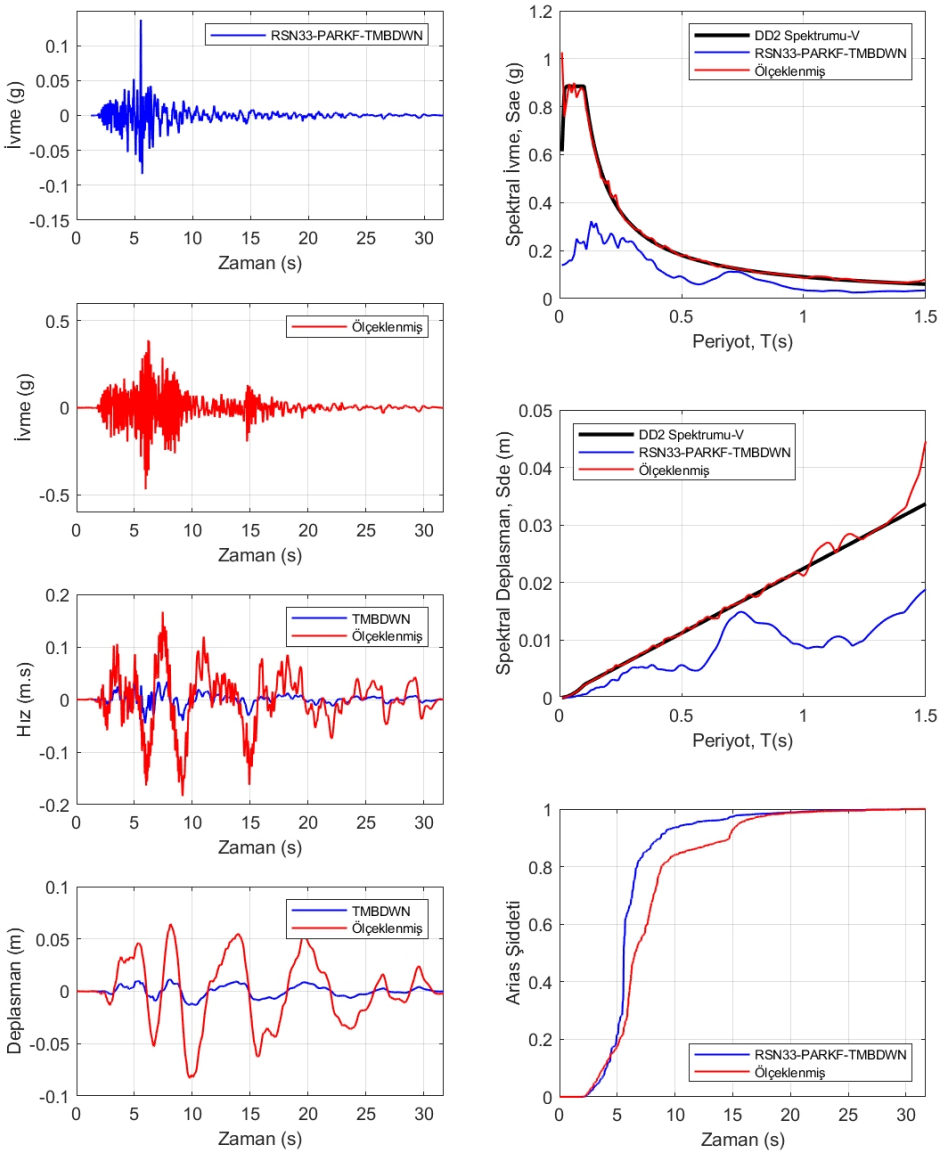
Bileşenlerin hem orijinal ve DD-2 deprem seviyesine ölçeklendirilmiş deprem yer hareketleri için spektral ivme, Arias şiddeti ile DD-2 tasarım ve toplam spektrumları.



Şekil 21. Parkfield Depremi, Temblor pre-1969 İstasyonu RSN33_PARKF_TMB205 ve RSN33_PARKF_TMB295 Yatay Bileşenlerinin

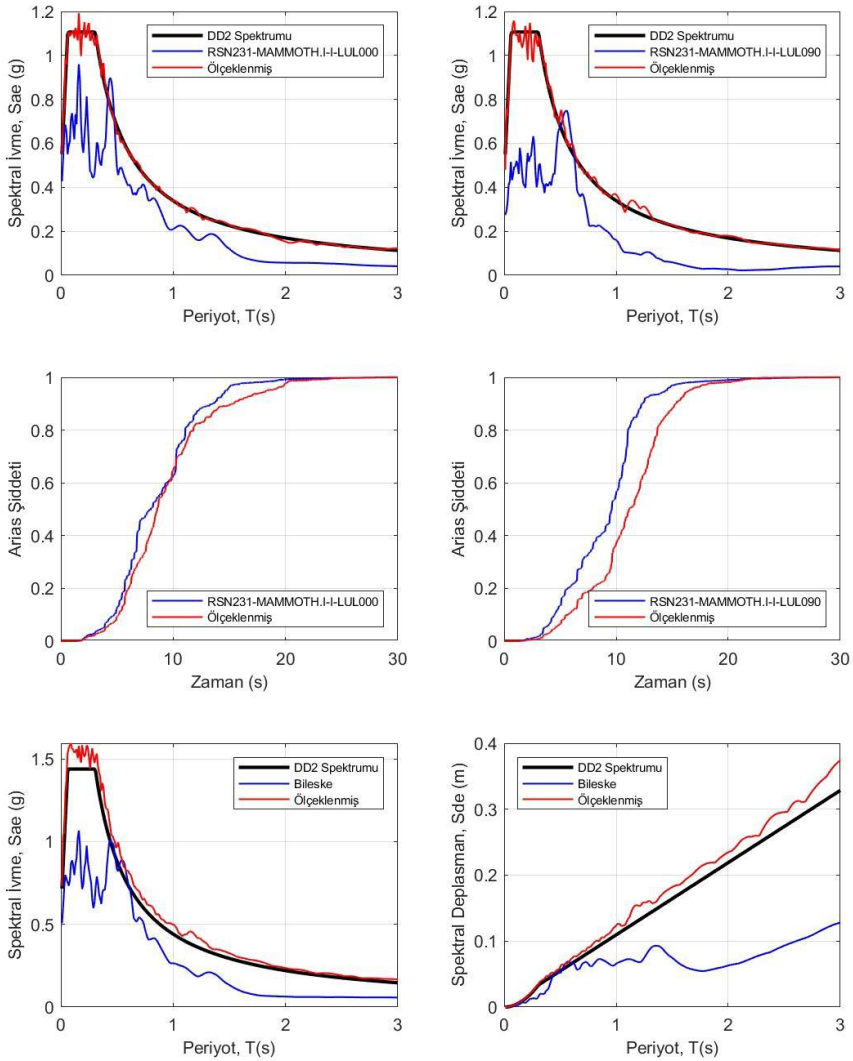
Şekil 20–22, Parkfield Depremi'ne ait Temblor pre-1969 istasyonu verilerini kapsamaktadır. Bu bölümde RSN33_PARKF_TMB205 ve RSN33_PARKF_TMB295 bileşenlerinin hem orijinal hem de ölçeklenmiş versiyonlarına ait spektral ivme, Arias şiddeti, tasarım spektrumları ve zaman tanım alanı grafikleri yer almaktadır. Özellikle düşey bileşen RSN33_PARKF_TMBDWN için farklı analiz parametreleri ayrı grafiklerle ifade edilmiştir.

Orijinal ve DD-2 deprem seviyesi için ölçeklenmiş yer hareketlerinin ivme, hız ve yer değiştirme eğrileri.

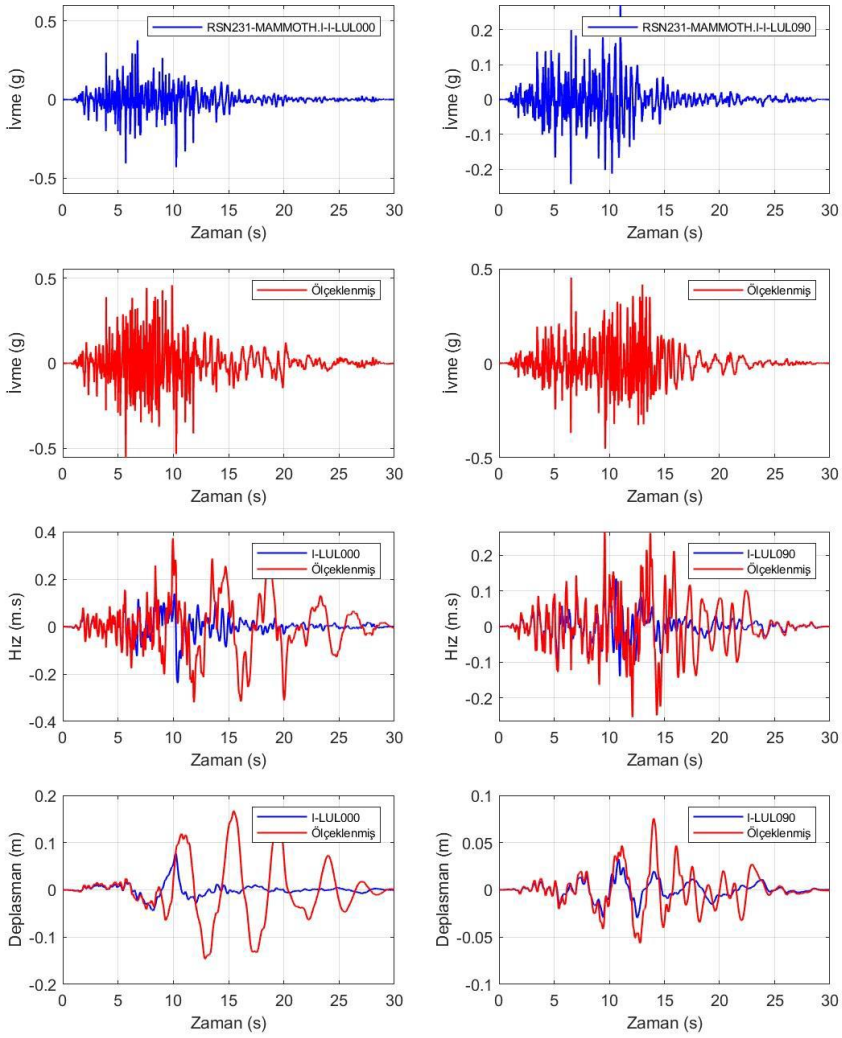


Şekil 22. Parkfield Depremi, Temblor pre-1969 İstasyonu RSN33_PARKF_TMBDWN

Düşey Bileşene ait Deprem Kayıtlarının İvme, Deplasman ve Arias Şiddeti ile birlikte Tanım Alanında İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (hem orijinal hem de DD2 deprem seviyesine ölçeklendirilmiş)

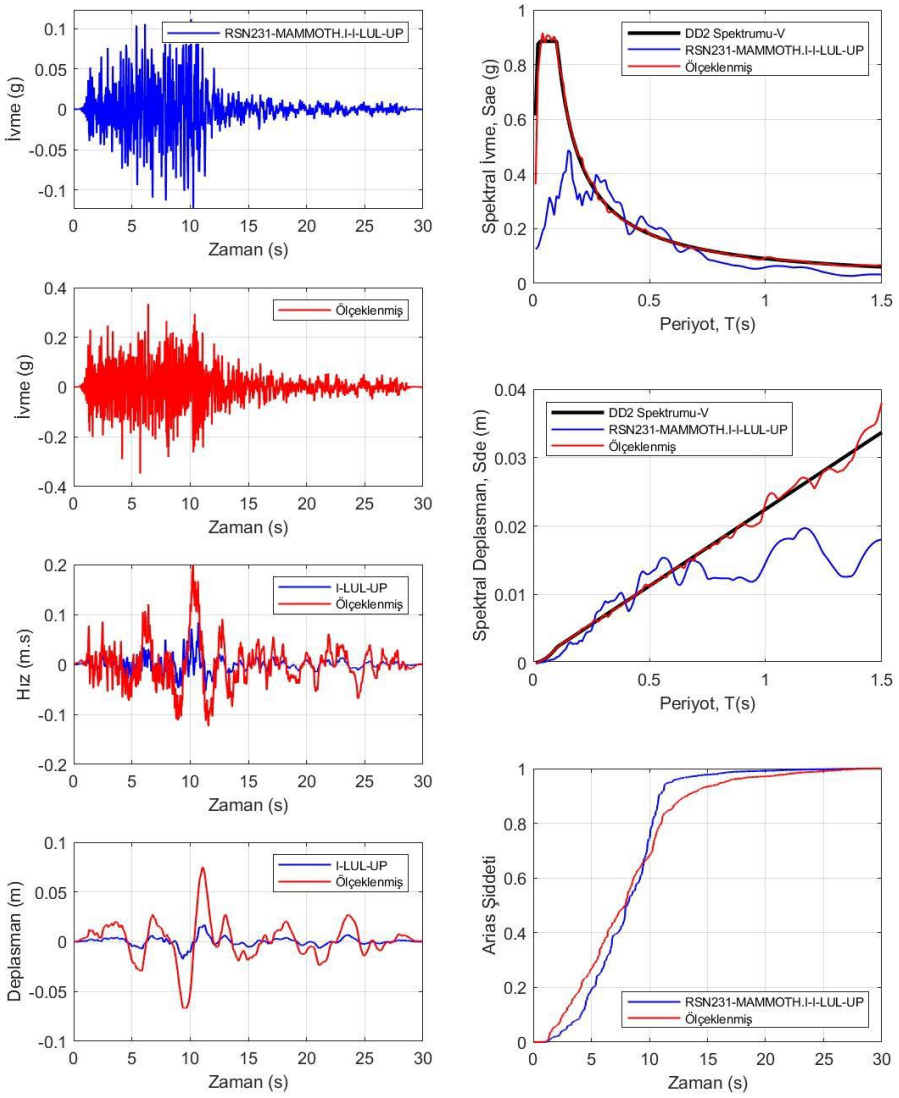


Şekil 23. Mammoth Lakes-01 Depremi, Long Valley Dam (Upr L Abut) İstasyonu RSN231_MAMMOTH.I_I-LUL000 ve RSN231_MAMMOTH.I_I-LUL090



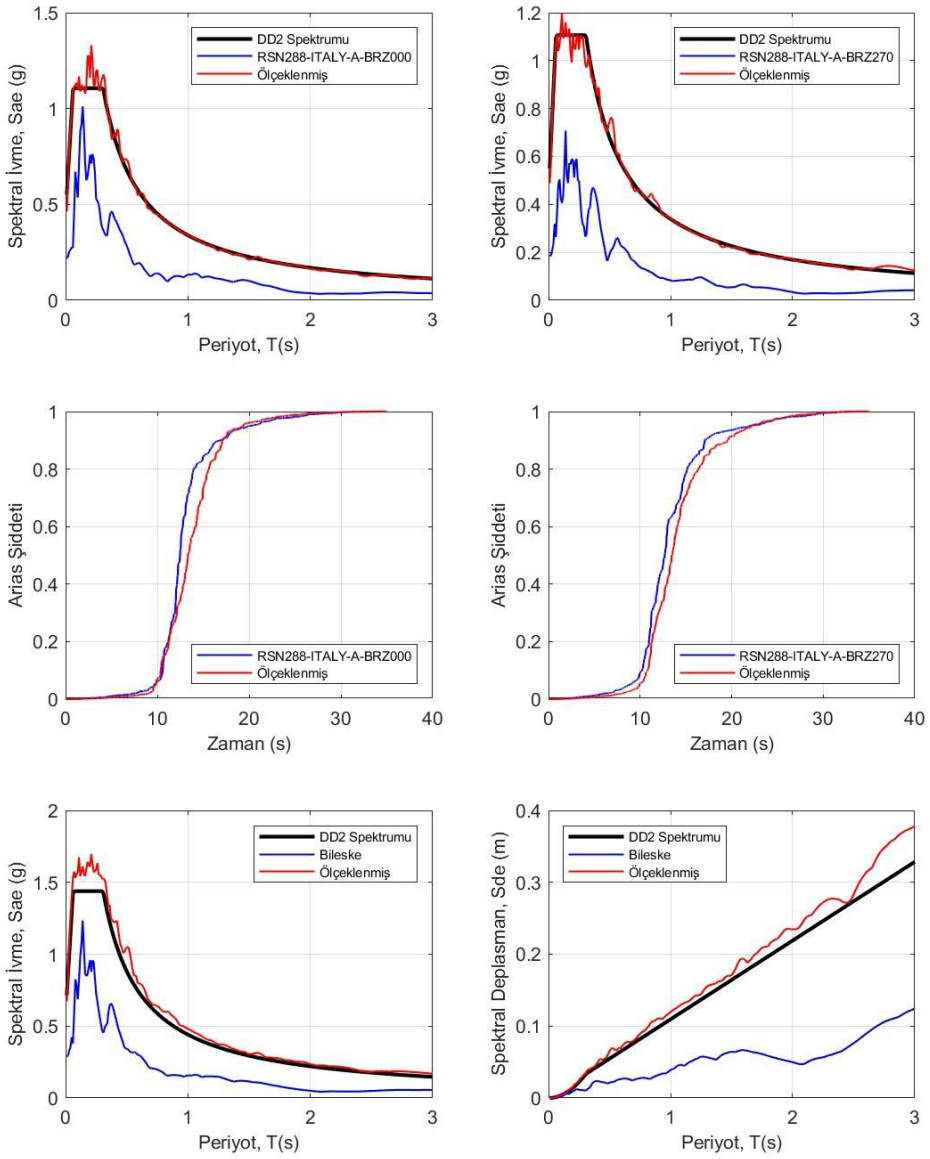
Şekil 24. Mammoth Lakes-01 Depremi, Long Valley Dam (Upr L Abut) İstasyonu RSN231_MAMMOTH.I_I-LUL000 ve RSN231_MAMMOTH.I_I-LUL090 Yatay

Şekil 23–25, Mammoth Lakes-01 Depremi'ne ait Long Valley Dam istasyonu RSN231_MAMMOTH.I_I-LUL000, LUL090 ve LUL-UP bileşenlerinin spektral ve zaman tanım alanındaki davranışlarını sunmaktadır. Grafiklerde, hem spektral ivme-deplasman hem de ivme, hız ve deplasman-zaman grafikleri detaylı biçimde yer almaktadır. (orijinal ve DD2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)

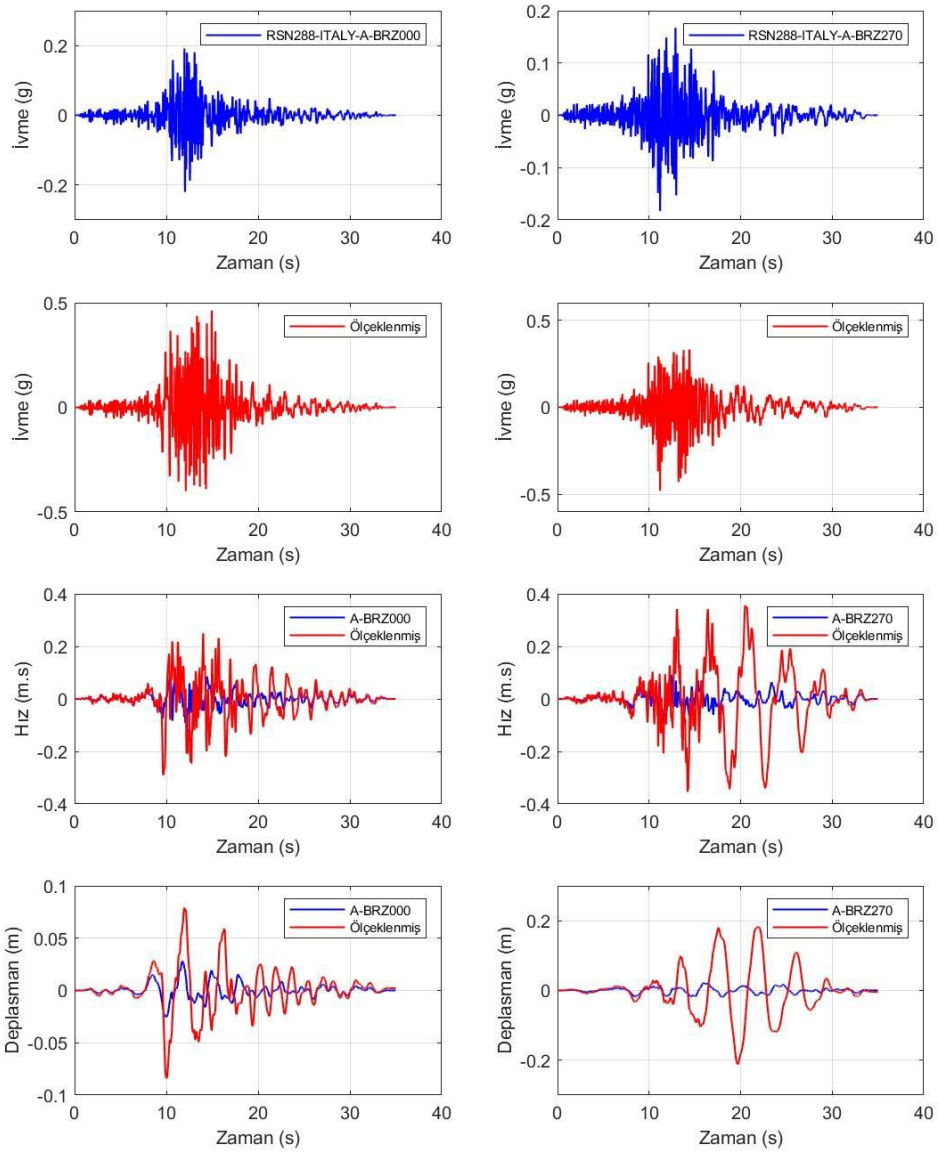


Şekil 25. Mammoth Lakes-01 Depremi, Long Valley Dam (Upr L Abut) İstasyonu RSN231_MAMMOTH.I_I-LUL-UP Düşey eksene ait deprem kayıtlarının (hem orijinal hem DD2 seviye için ölçeklendirilmiş) spektral ivme,

spektral yer değiştirme ve Arias şiddeti değerleri ile zaman ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafik gösterimleri (orijinal ve DD2 ölçekli)

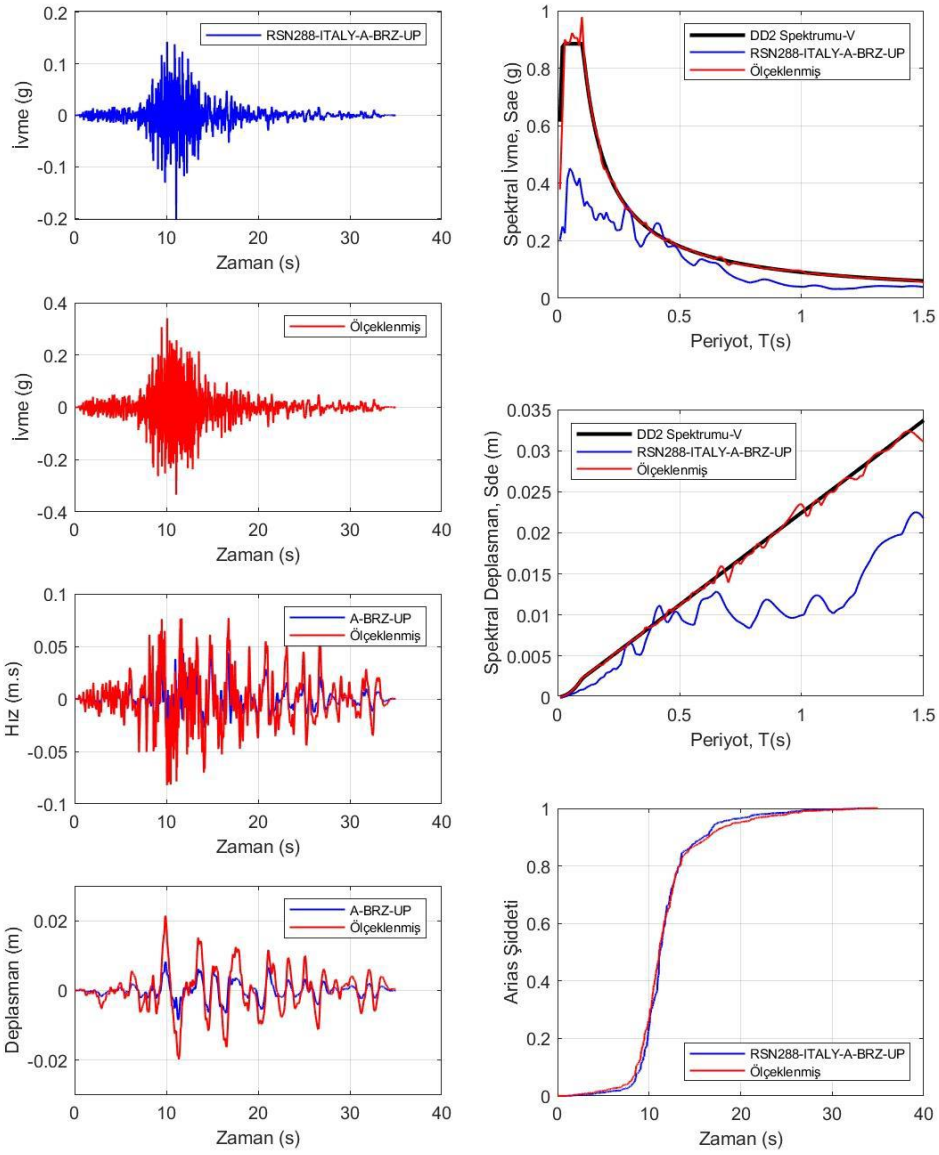


Şekil 26. Irpinia_Italy-01 Depremi, Brienza İstasyonu RSN288_ITALY_A-BRZ000 ve RSN288_ITALY_A-BRZ270

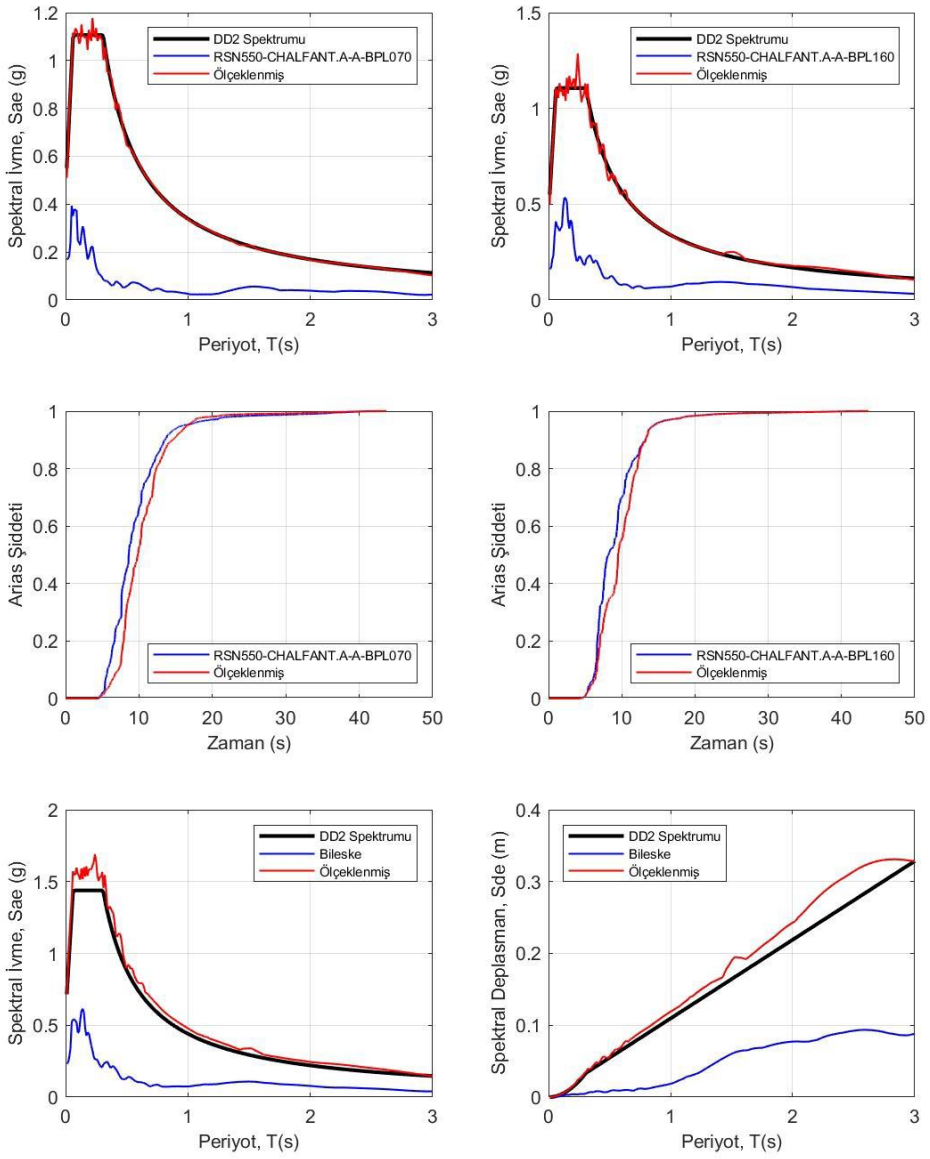


Şekil 27. Irpinia_Italy-01 Depremi, Brienza İstasyonu RSN288_ITALY_A-BRZ000 ve RSN288_ITALY_A-BRZ270 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait

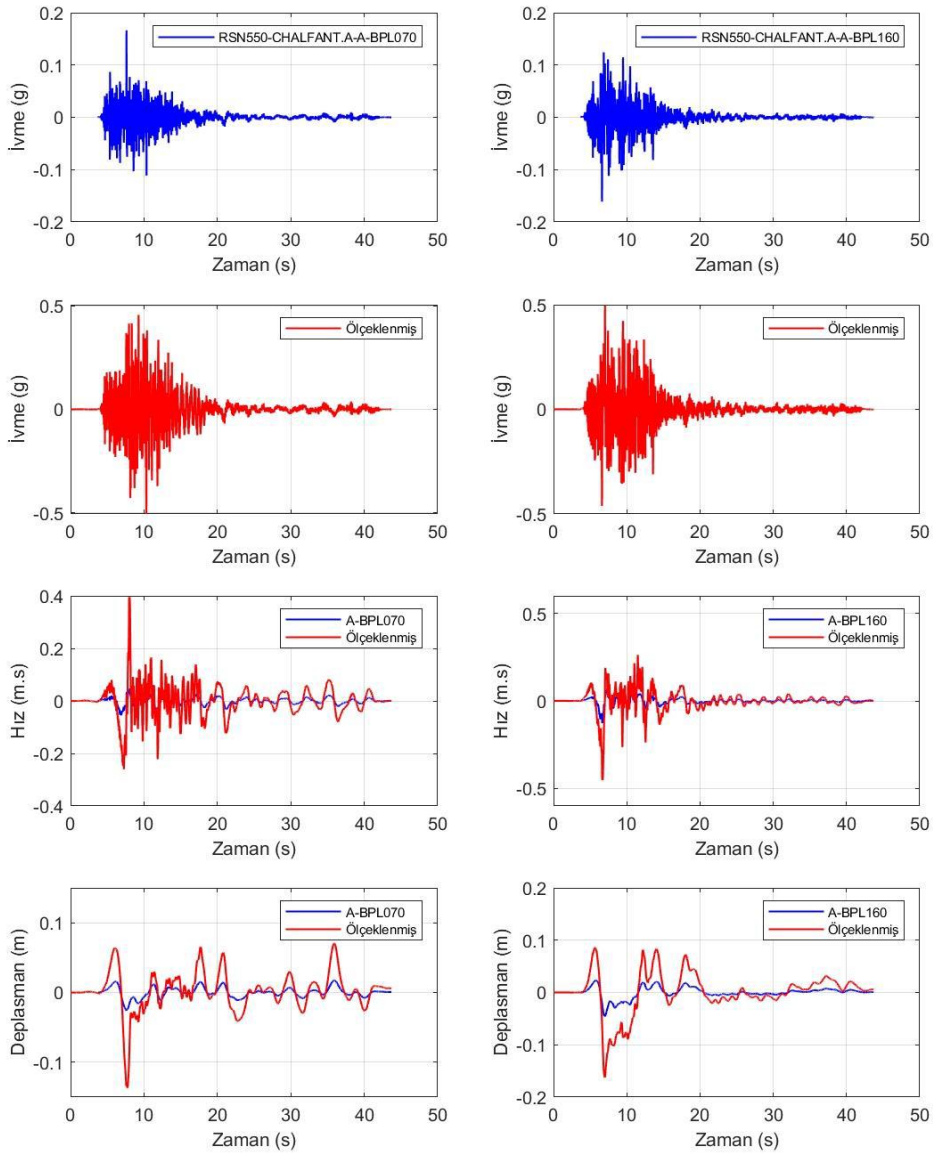
Şekil 26–28, Irpinia_Italy-01 Depremi için Brienza istasyonu verilerini kapsamaktadır. RSN288_ITALY_A-BRZ000 ve RSN288_ITALY_A-BRZ270 yatay bileşenlerinin yanı sıra RSN288_ITALY_A-BRZ-UP düşey bileşenine ait analizler yapılmıştır.



Şekil 28. Irpinia_Italy-01 Depremi, Brienza İstasyonu RSN288_ITALY_A-BRZ-UP Düşey bileşenin orijinal ve DD-2 deprem düzeyine göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketleri için spektral ivme, spektral deplasman, Arias şiddeti ile zaman tanım alanında ivme, hız ve deplasman grafikleri.

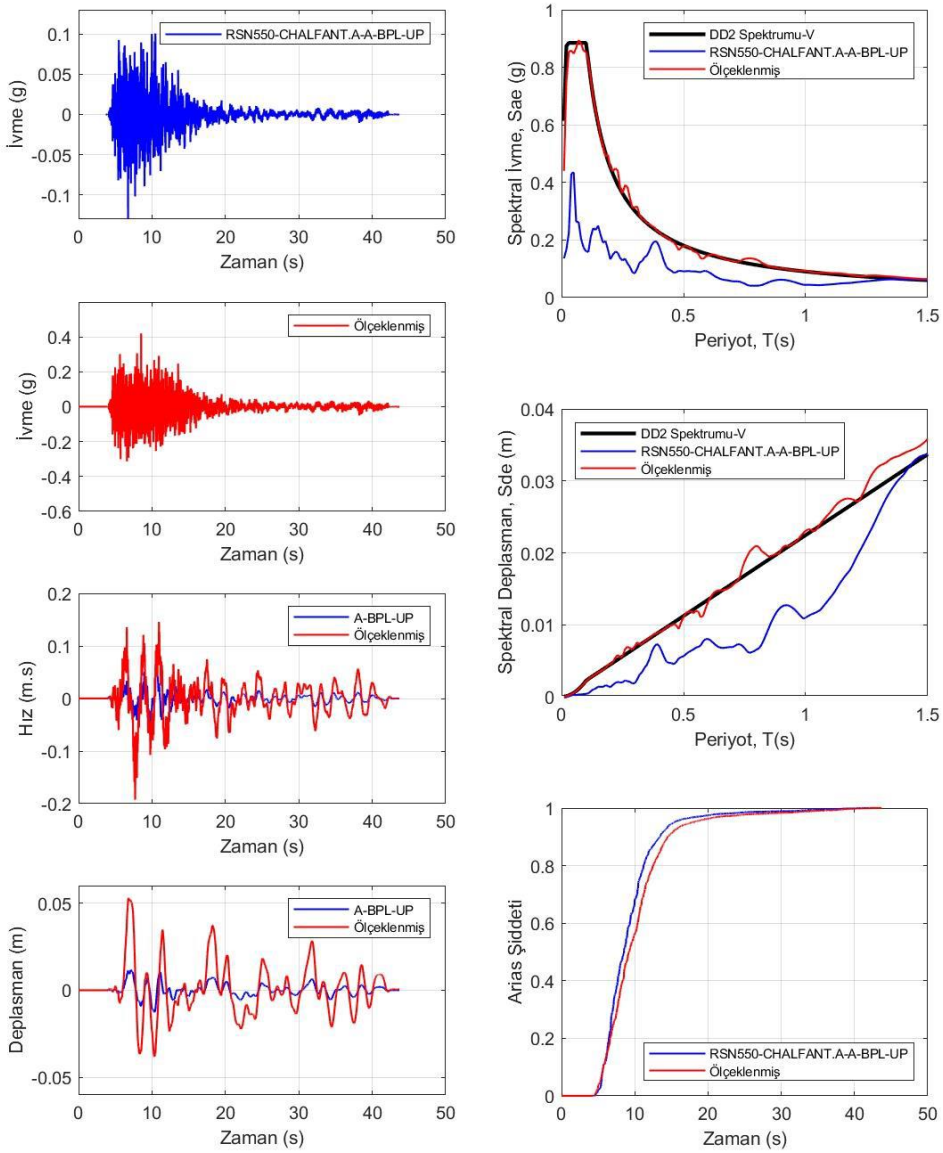


Şekil 29. Chalfant Valley-02 Depremi, Bishop - Paradise Lodge İstasyonu RSN550_CHALFANT.A_A-BPL070 ve RSN550_CHALFANT.A_A-BPL160 Deprem yer hareketlerinin bileşenleri (orijinal ve DD-2 düzeyinde ölçeklendirilmiş) için spektral ivme, Arias şiddeti, tasarım spektrumları ve bileşke spektrumlar.

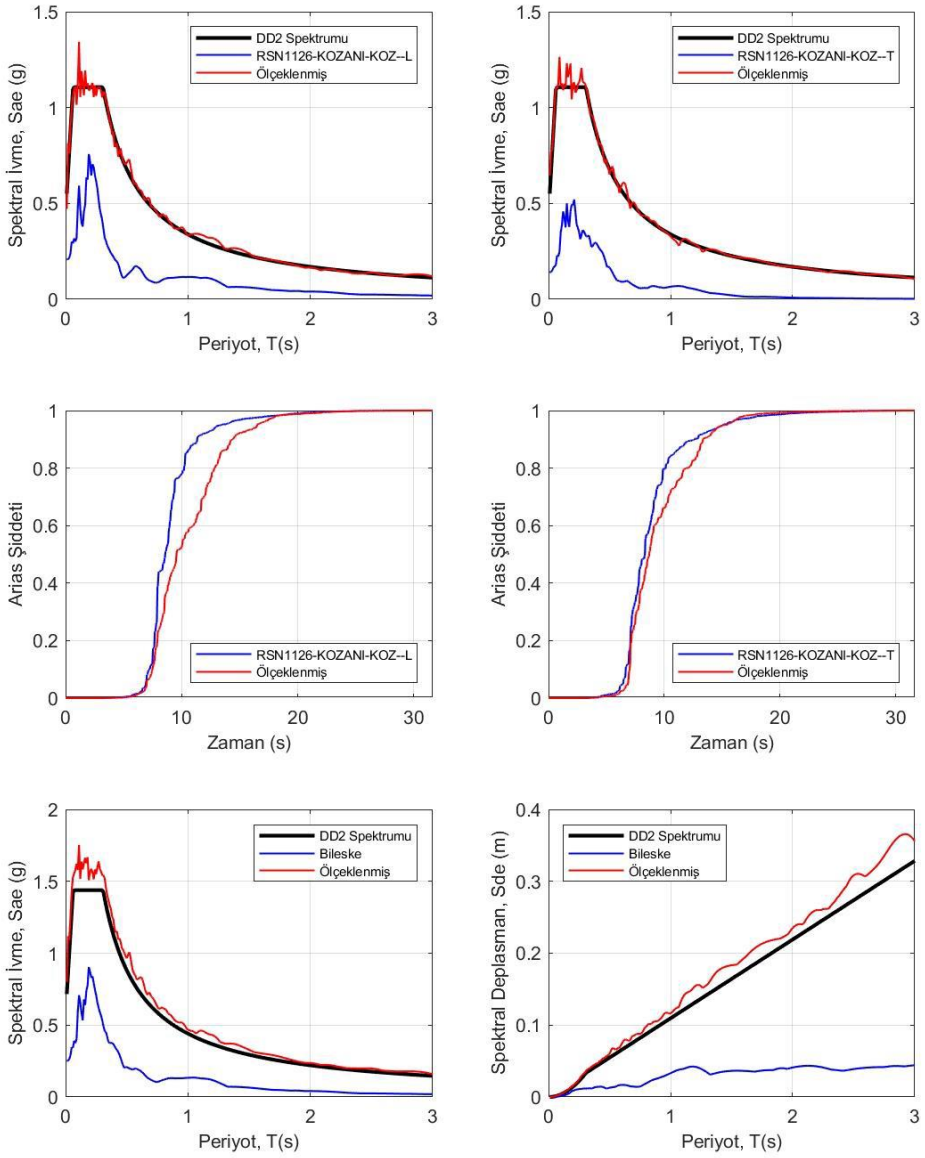


Şekil 30. Chalfant Valley-02 Depremi, Bishop - Paradise Lodge İstasyonu RSN550_CHALFANT.A_A-BPL070 ve RSN550_CHALFANT.A_A-BPL160 Yatay eksene ait deprem kayıtlarının orijinal ve DD2 seviyesine ölçeklendirilmiş haline ilişkin ivme, hız ve yer değiştirme grafik gösterimleri

Şekil 29–31, Chalfant Valley-02 Depremi kapsamında Bishop - Paradise Lodge istasyonuna ait RSN550_CHALFANT.A_A-BPL070, BPL160 ve BPL-UP bileşenlerinin hem ölçeklenmiş hem de orijinal grafik çıktıları yer almaktadır.



Şekil 31. Chalfant Valley-02 Depremi, Bishop-Paradise Lodge İstasyonu RSN550_CHALFANT.A_A-BPL-UP Düşey Bileşenin Deprem ve Yer Hareketleri (orijinal ve DD2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) Spektral İvme, Spektral Deplasman ve Arias Şiddeti ve Zaman Tanım Alanında İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)



Şekil 32. Kozani_Greece-01 Depremi, Kozani İstasyonu RSN1126_KOZANI_KOZ--L ve RSN1126_KOZANI_KOZ--T Deprem yer hareketlerinin bileşenleri (orijinal ve DD-2 düzeyinde ölçeklendirilmiş) Spektral ivme ve Arias şiddeti değerleri ile DD-2 deprem seviyesine yönelik tasarım ve birleşik spektrum grafikleri

Şekil 32–34, Kozani_Greece-01 Depremi'ne ait Kozani istasyonu RSN1126_KOZANI_KOZ--L, --T ve --UP bileşenlerinin, ivme, hız, deplasman ve spektral davranış analizlerine odaklanmaktadır. Özellikle düşey bileşen için Arias şiddeti değerlendirmeleri dikkat çekicidir.

Şekil 35–37, Chi-Chi_Taiwan-04 Depremi'ne ait CHY028 istasyonu verileri sunulmuştur. RSN2703_CHICHI.04_CHY028N, CHY028E ve CHY028V bileşenleri üzerinden yapılan analizlerde tasarım spektrumu ile uyum ve aşım durumları grafiklerle ortaya konmuştur.

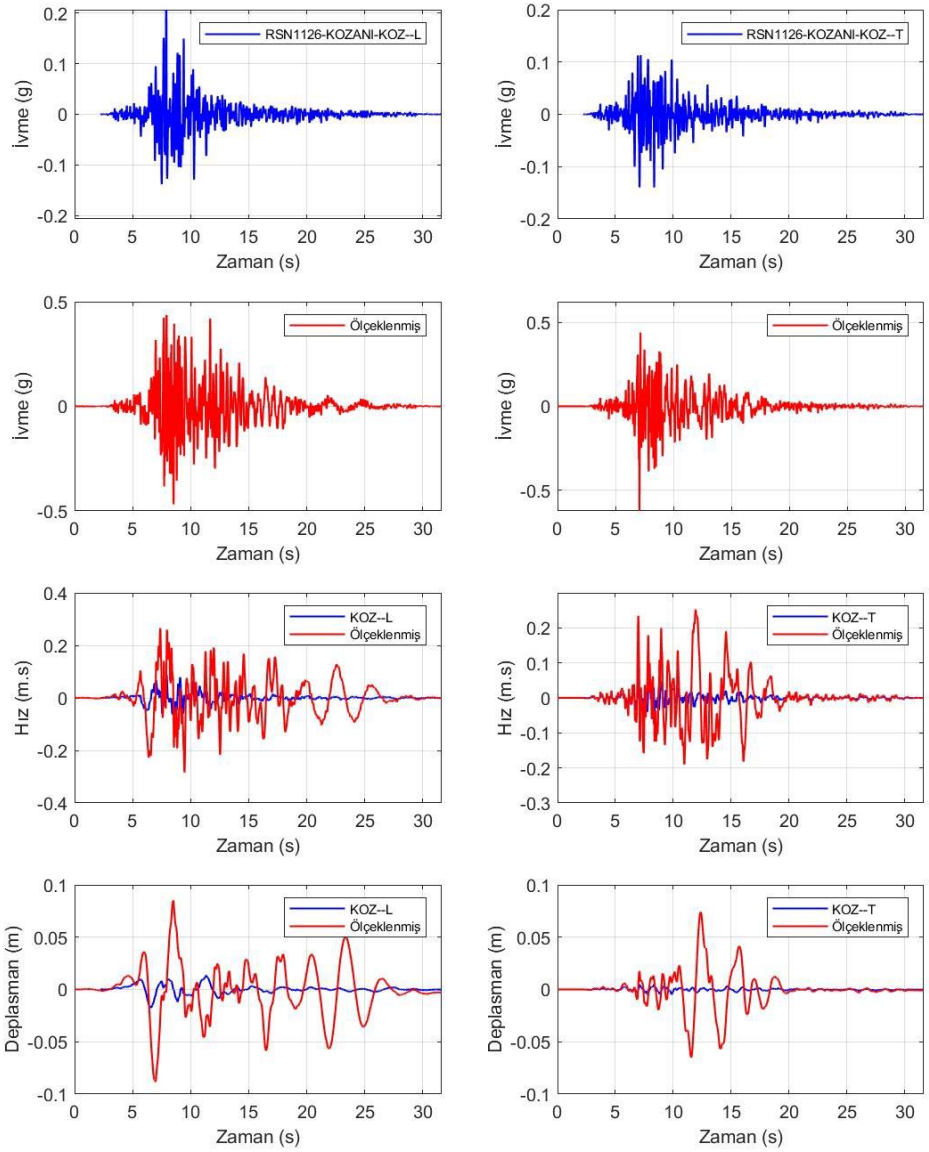
Şekil 38–40, Hector Mine Depremi'ne ait Big Bear Lake-Fire Station istasyonu RSN1770_HECTOR_BBL016, BBL106 ve BBL-UP bileşenlerinin spektral ivme, deplasman ve zaman tanım alanındaki tepkileri incelenmiştir.

Şekil 41–43, Landers Depremi kapsamında Forest Falls Post Office istasyonu RSN3752_LANDERS_FFP210, FFP300 ve FFP-UP bileşenlerinin spektral yanıtları detaylandırılmıştır.

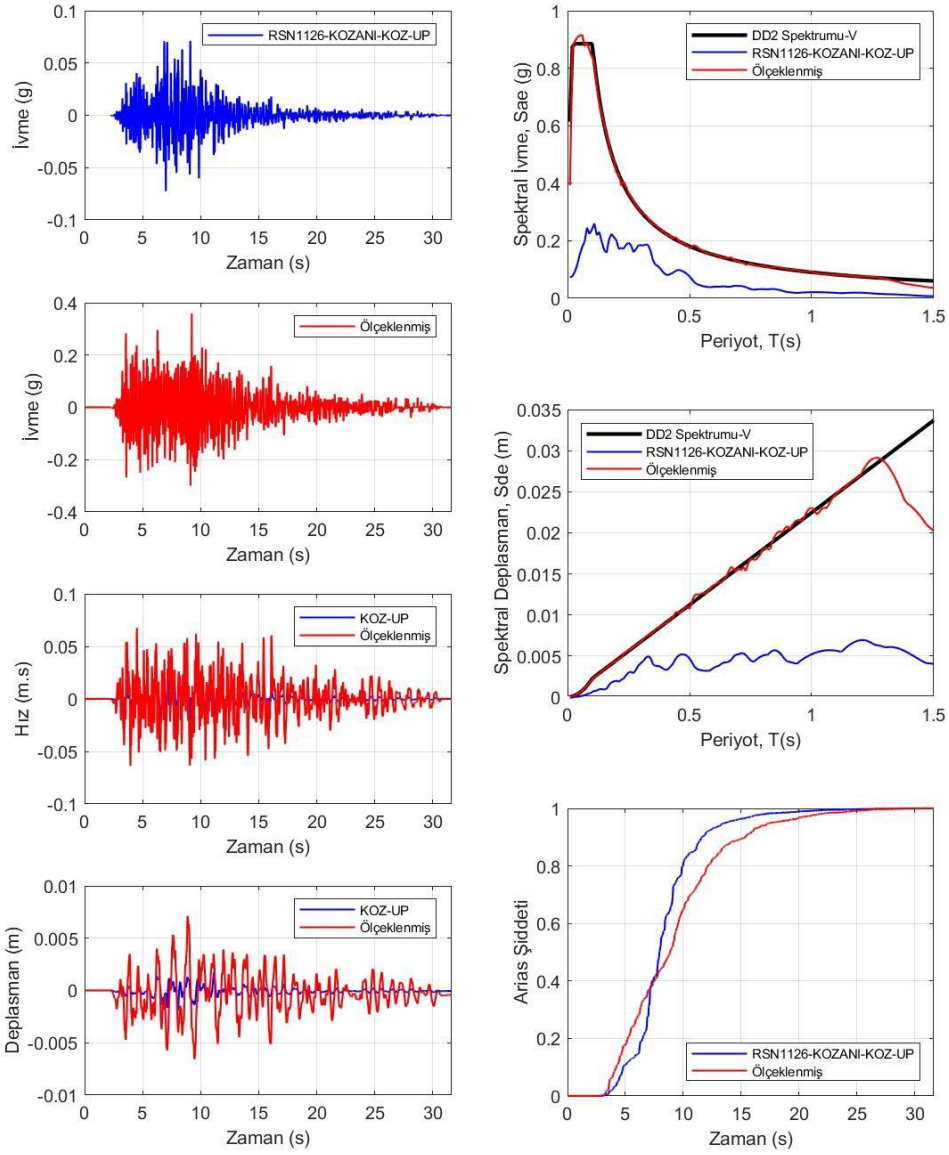
Şekil 44–46, yine Landers Depremi'ne ait bu kez Big Bear Lake - Civic Center istasyonu RSN3760_LANDERS_BLC360, BLC270 ve BLC-UP bileşenlerine yönelik analizleri içermektedir. Bu bölüm, aynı depremin farklı istasyonlardaki davranış farklılıklarını ortaya koymaktadır.

Şekil 47–49, Chuetsu-oki_Japan Depremi'ne ait Kawaguchi istasyonu RSN4869_CHUETSU_65042NS, 65042EW ve 65042UD bileşenleriyle analiz edilmiştir. Grafiklerde spektral ivme ve Arias şiddeti yanı sıra zemin etkisi de değerlendirilmiştir.

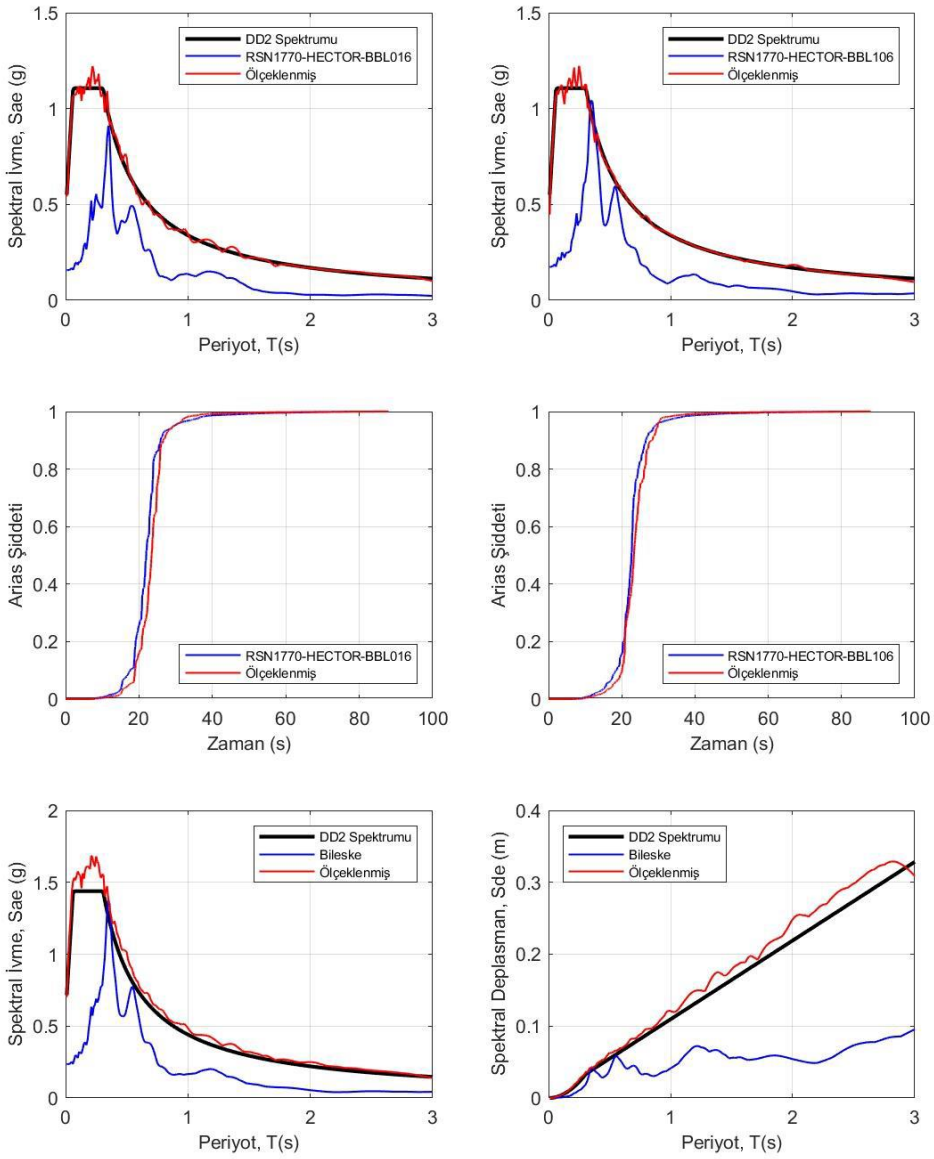
Şekil 50–51, Darfield_New Zealand Depremi kapsamında LPCC istasyonu RSN6928_DARFIELD_LPCCN80E ve LPCCS10E bileşenlerinin hem spektral hem de zaman tanım alanı davranışları verilmiştir.



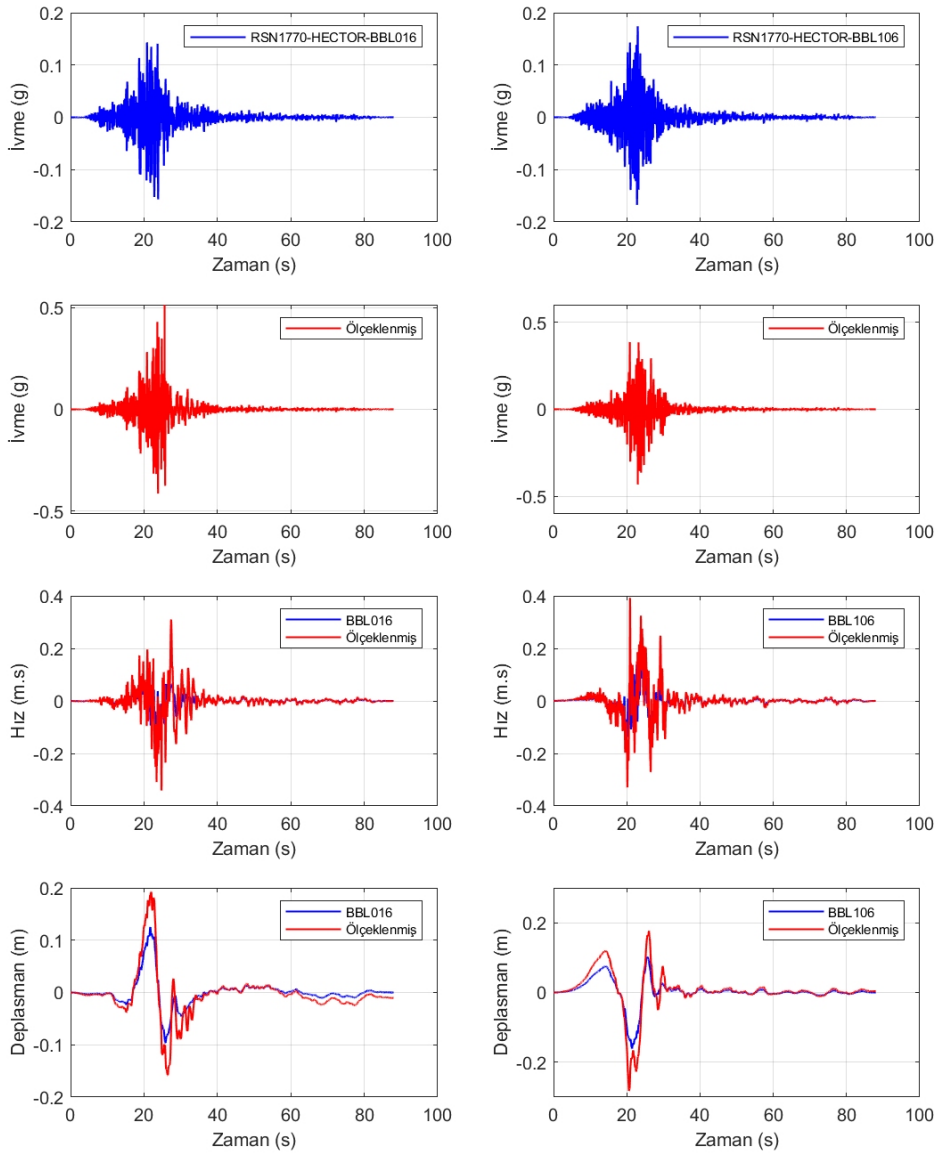
Şekil 33. Kozani_Greece-01 Depremi, Kozani İstasyonu RSN1126_KOZANI_KOZ--L ve RSN1126_KOZANI_KOZ—T Deprem yer hareketlerinin yatay bileşenlerine ilişkin ivmeyle birlikte, hız ile deplasman grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyine göre ölçeklendirilmiş).



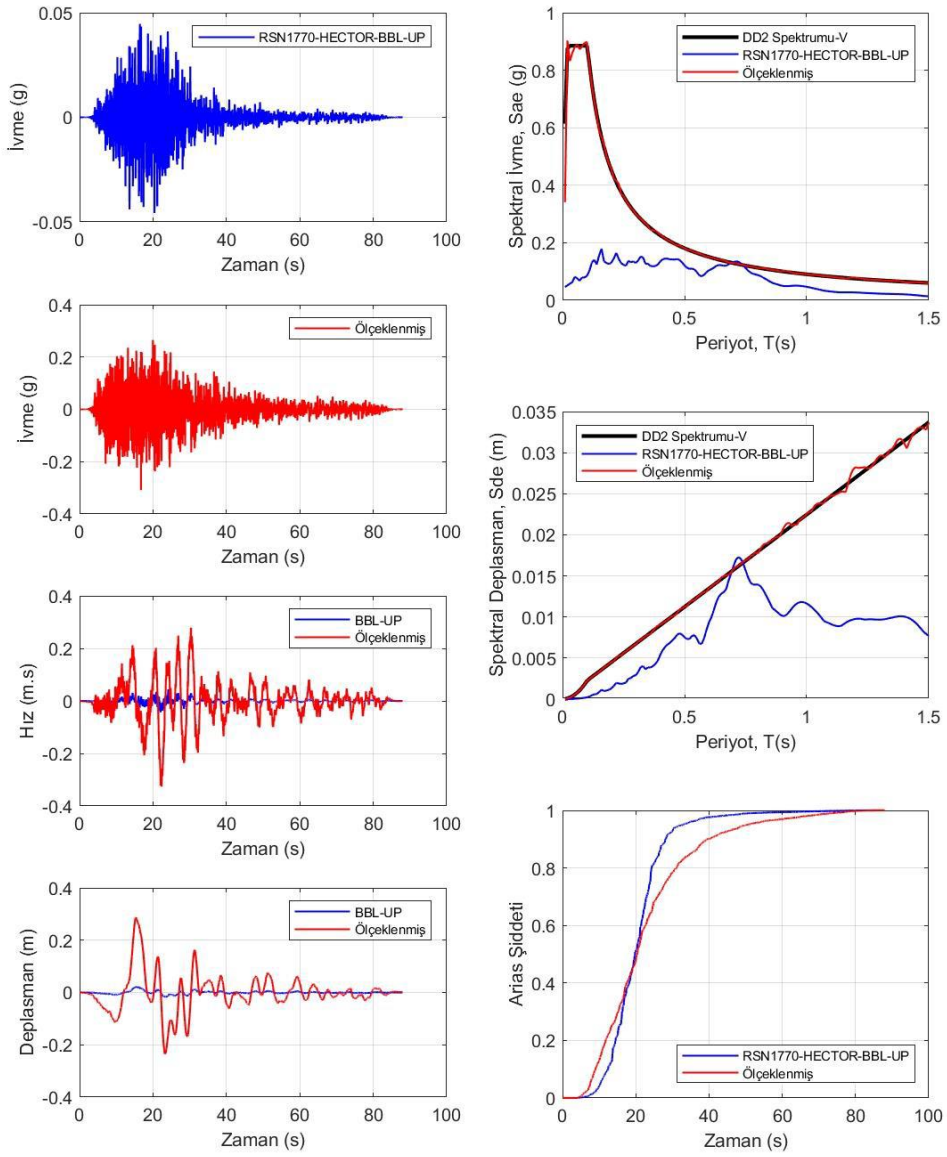
Şekil 34. Kozani_Greece-01 Depremi, Kozani İstasyonu RSN1126_KOZANI_KOZ-Düşey bileşene ait deprem yer hareketlerinin (orijinal ve DD-2 deprem düzeyine ölçeklendirilmiş) spektral ivme, spektral deplasman veArias şiddeti ile zaman tanım alanındaki ivme, hız ve deplasman grafikleri.



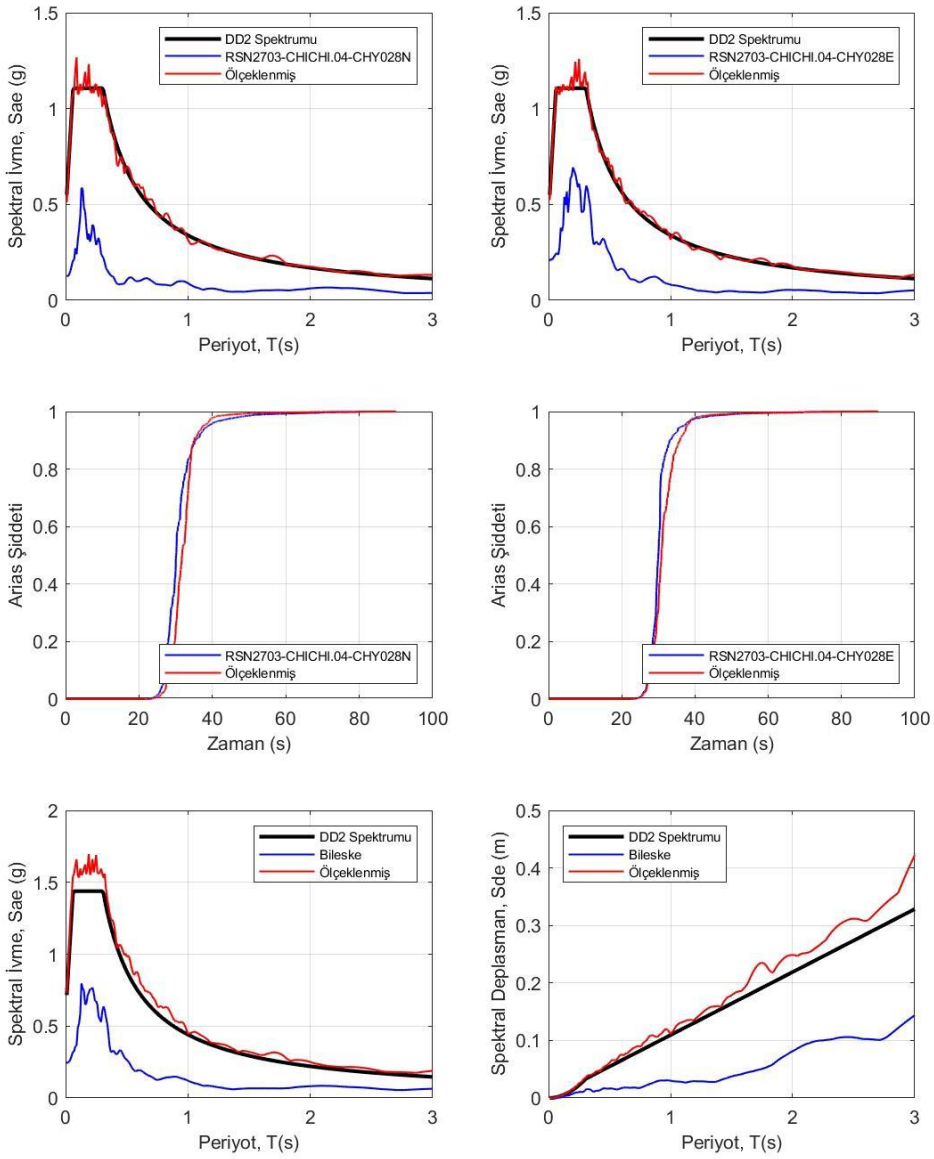
Şekil 35. 2004 Chi-Chi Tayvan Depremi, CHY028 kayıt noktası, RSN2703_CHICHI.04_CHY028N ve RSN2703_CHICHI.04_CHY028E Deprem bileşenlerine ait (orijinal ve DD-2 düzeyinde ölçeklendirilmiş) spektral ivme, Arias şiddeti, tasarım amaçlı spektrumlar ve bileşke spektrum grafikleri.



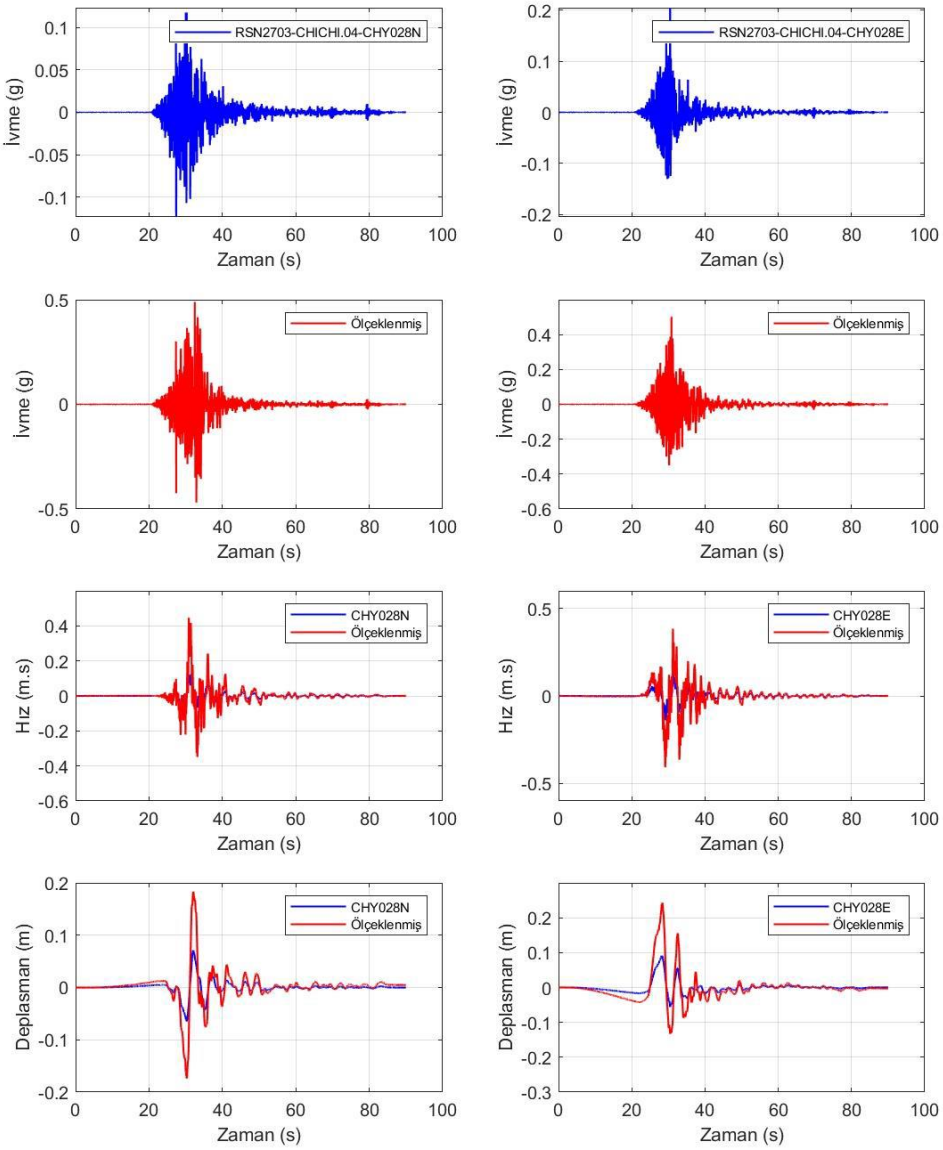
Şekil 36. 2004 Chi-Chi Tayvan Depremi, CHY028 kayıt noktası RSN2703_CHICHI.04_CHY028N ve RSN2703_CHICHI.04_CHY028E Yatay Depremin bileşenlerinin olduğu (orijinal ve DD-2 düzeyinde ölçeklendirilmiş) ivme, hız ve deplasman grafikleri.



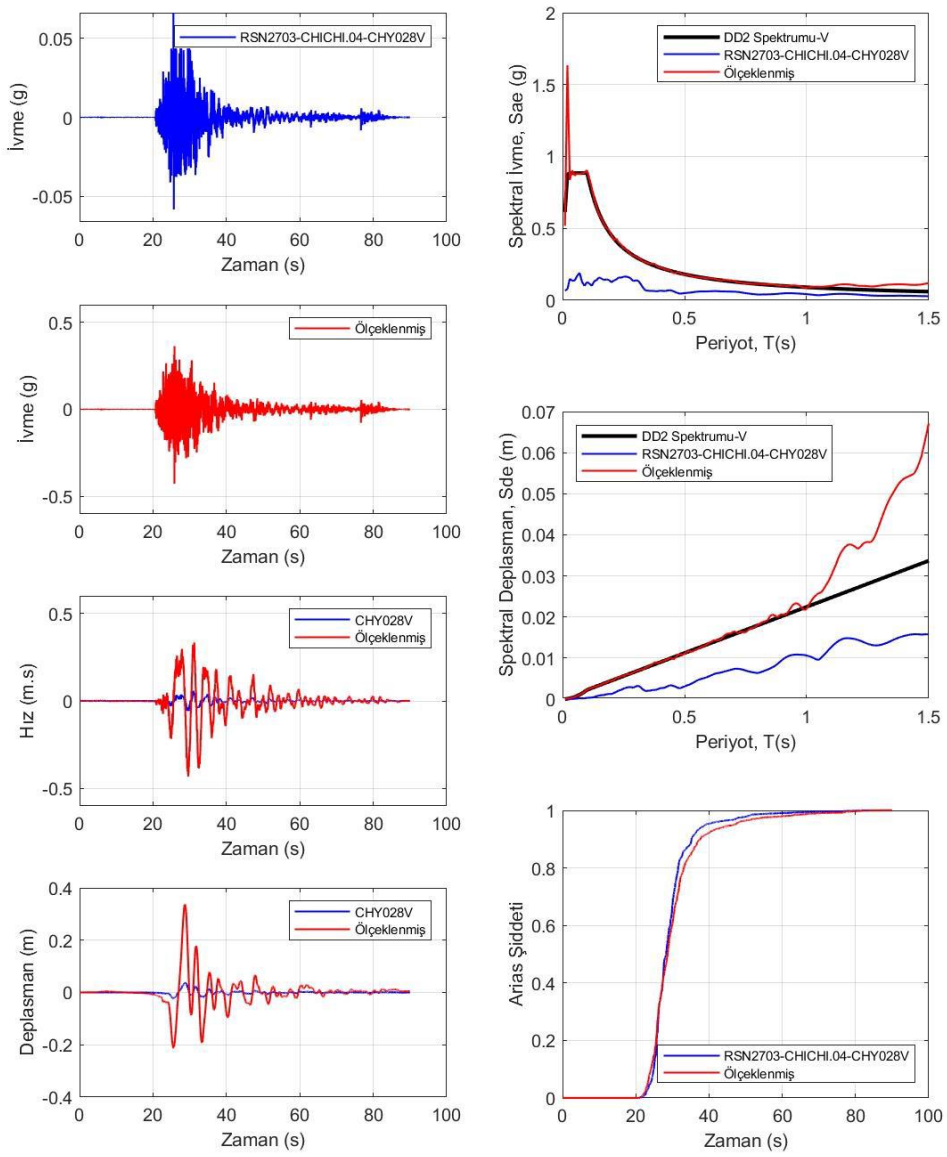
Şekil 37. 2004 Chi-Chi Tayvan Depremi, CHY028 kayıt noktası RSN2703_CHICHI.04_CHY028V Düşey Bileşenin Deprem Yer Hareketleri Deprem bileşenlerinin (orijinal ve DD-2 düzeyinde ölçeklendirilmiş)



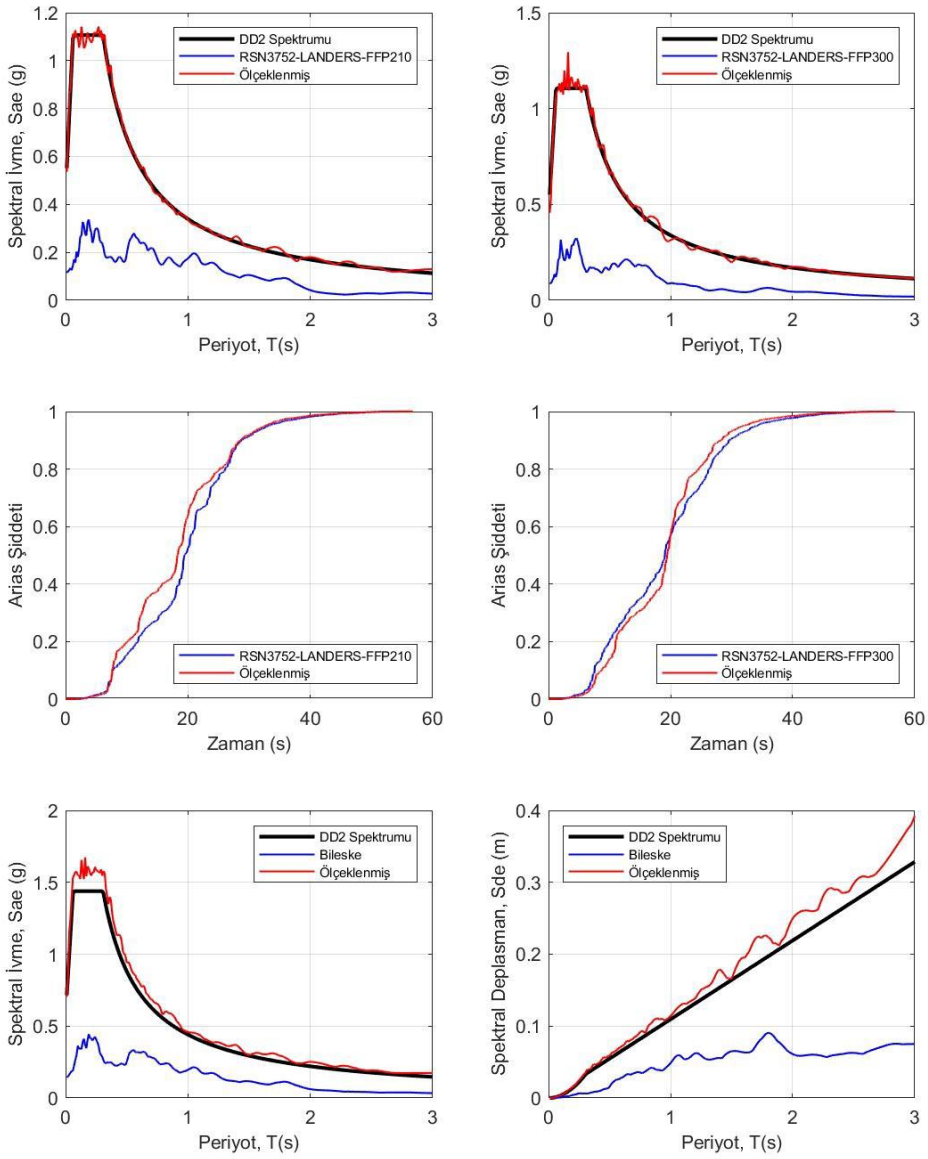
Şekil 38. Hector Mine Depremi, Big Bear Lake - Fire Station İstasyonu RSN1770_HECTOR_BBL016 ve RSN1770_HECTOR_BBL106 Orijinal ve DD-2 deprem düzeyine ölçeklendirilmiş bileşen deprem yer hareketleri için spektral ivme, Arias şiddeti, tasarım ve bileşke spektrumları.



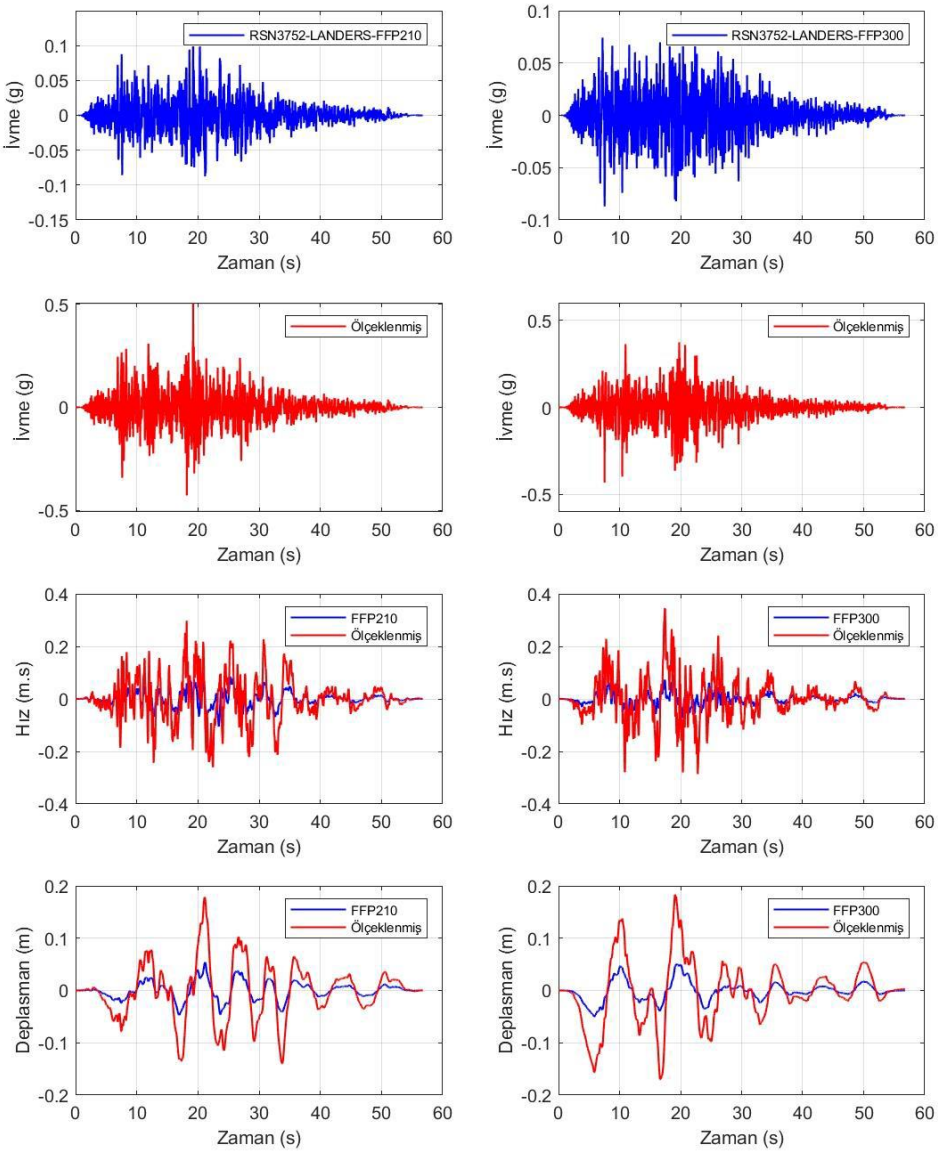
Şekil 39. Hector Mine Depremi, Big Bear Lake - Fire Station İstasyonu RSN1770_HECTOR_BBL016 ve RSN1770_HECTOR_BBL106 Yatay bileşenlere İlgili deprem yer hareketlerine ilişkin ivme, hız ve yer değiştirme eğrileri



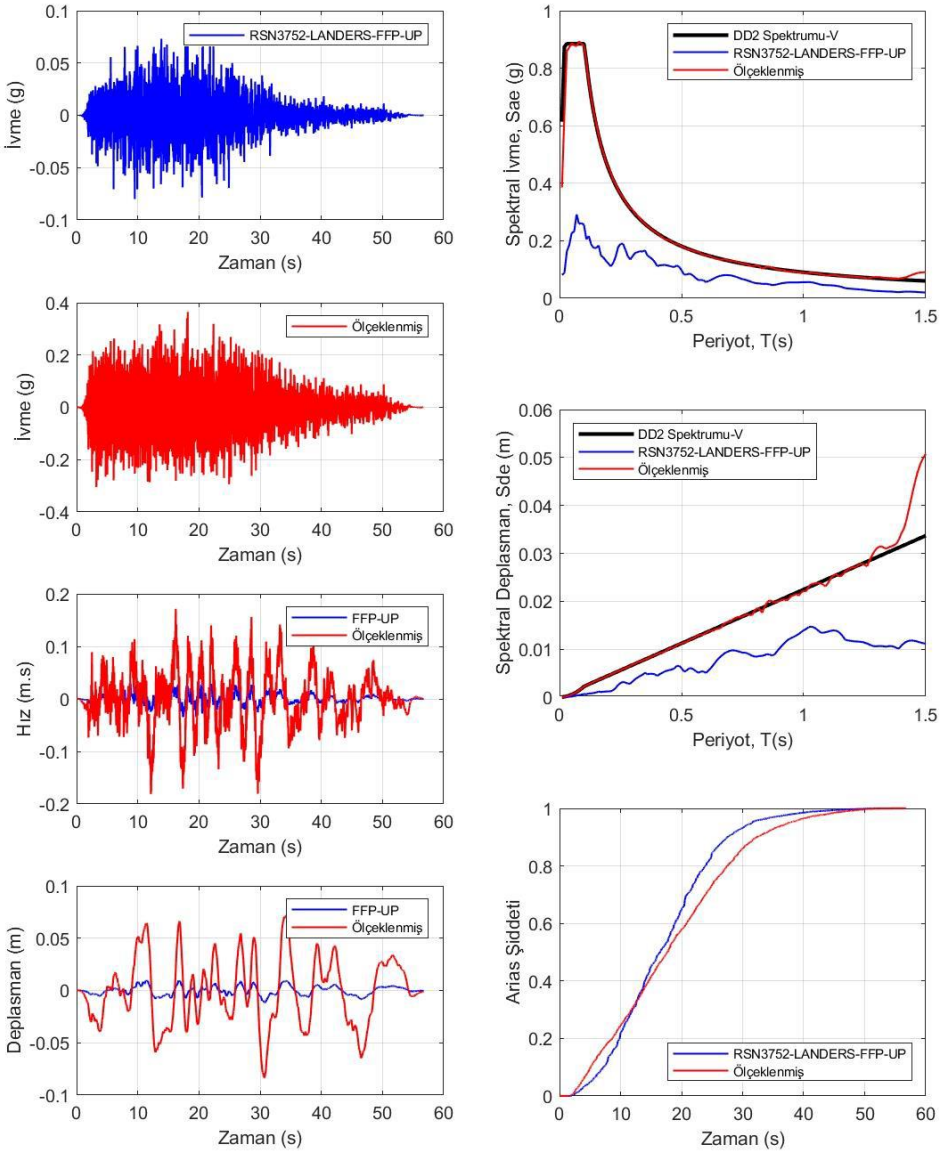
Şekil 40. Hector Mine Depremi, Big Bear Lake - Fire Station İstasyonu RSN1770_HECTOR_BBL-UP Düşey bileşene ait deprem yer hareketlerinin spektral ivme, spektral deplasman ve Arias şiddetine bağlı İlgili deprem yer hareketlerine ilişkin ivme, hız ve yer değiştirme eğrileri



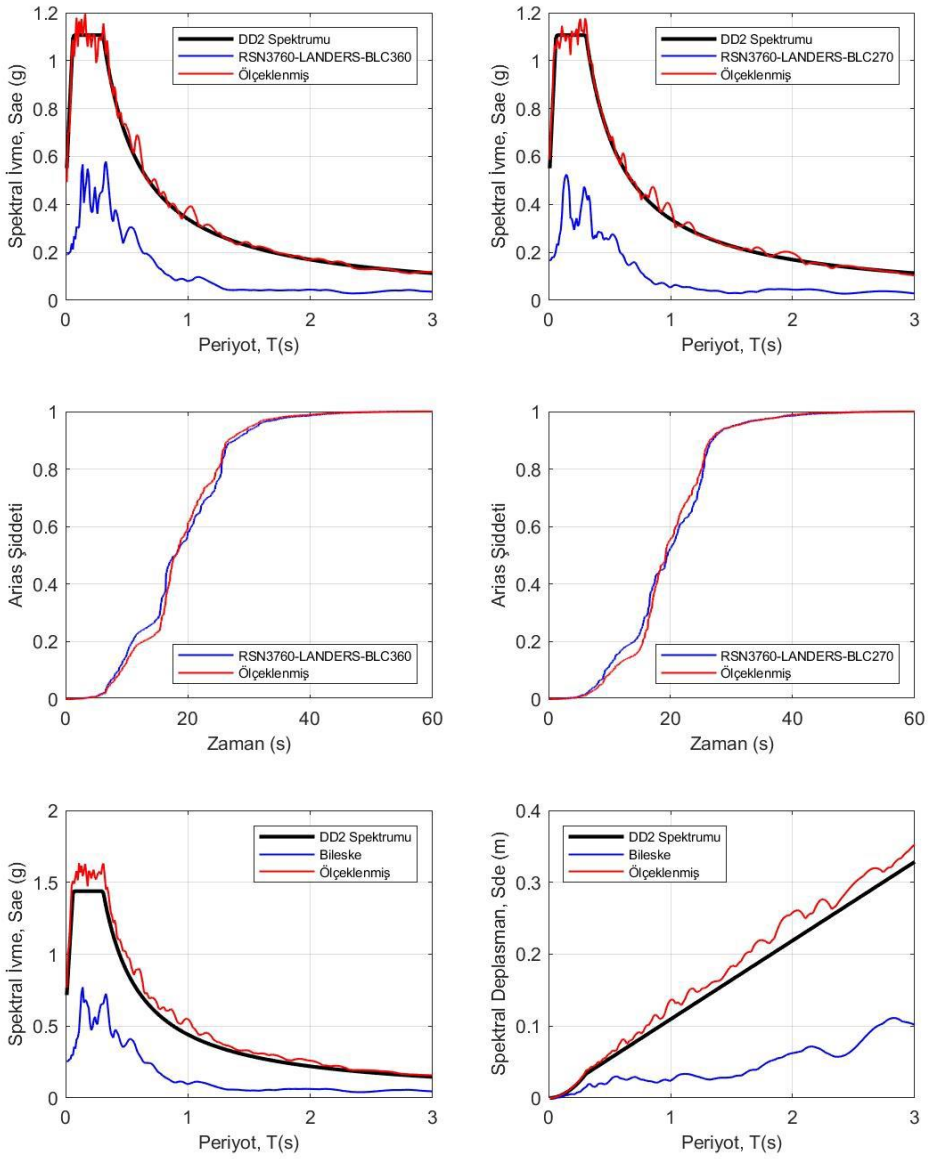
Şekil 41. Landers Depremi, Forest Falls Post Office İstasyonu RSN3752_LANDERS_FFP210 ve RSN3752_LANDERS_FFP300 Deprem yer hareketlerinin bileşenleri için, Orijinal ve DD-2 seviyesine göre ayarlanmış spektral ivme, Arias şiddeti ve DD-2 kriterlerine göre hazırlanmış tasarım ile bileşik spektrumlar.



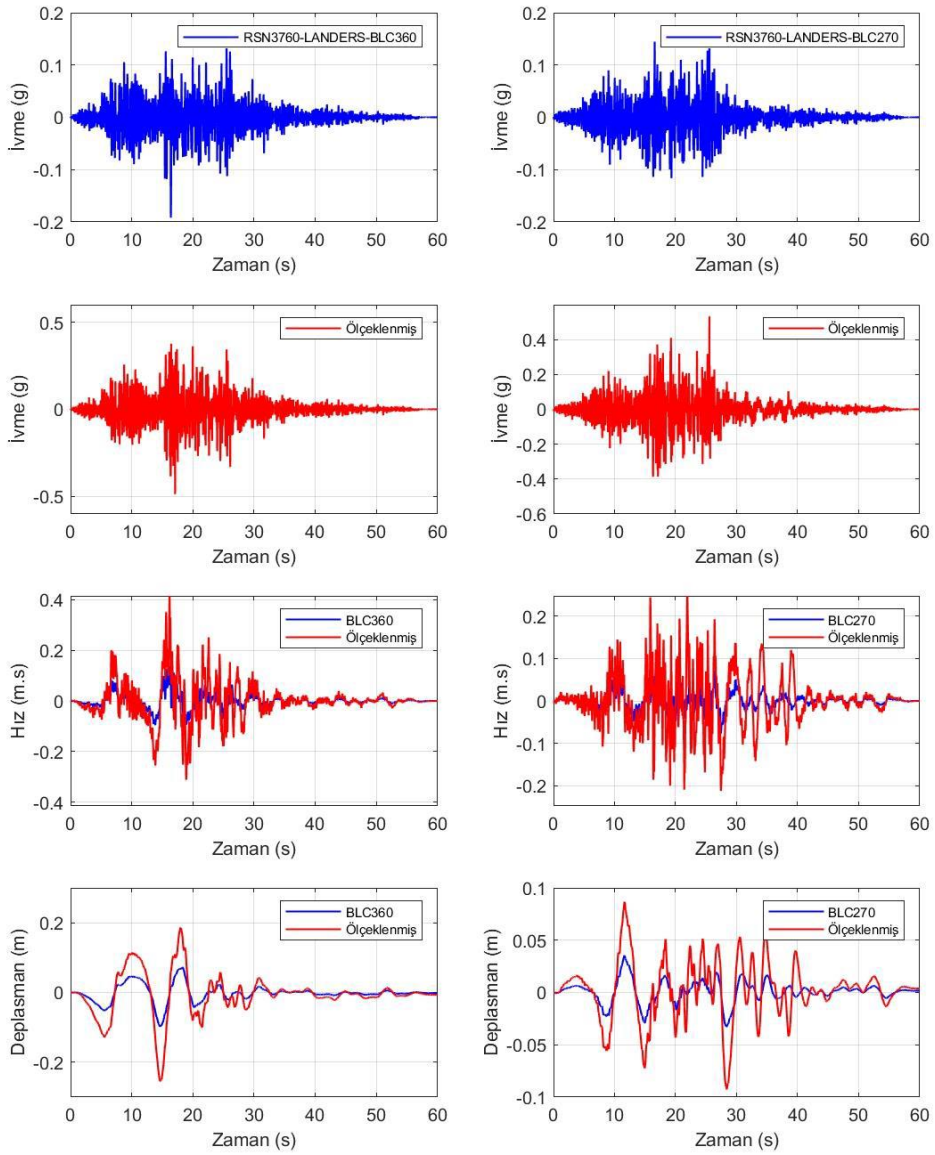
Şekil 42. Landers Depremi, Forest Falls Post Office İstasyonu RSN3752_LANDERS_FFP210 ve RSN3752_LANDERS_FFP300 Yatay bileşenlere ait deprem yer hareketlerinin orijinal olduğu DD-2 deprem düzeyine ölçeklendirilmiş ivme, hız ve deplasman grafik gösterimleri.



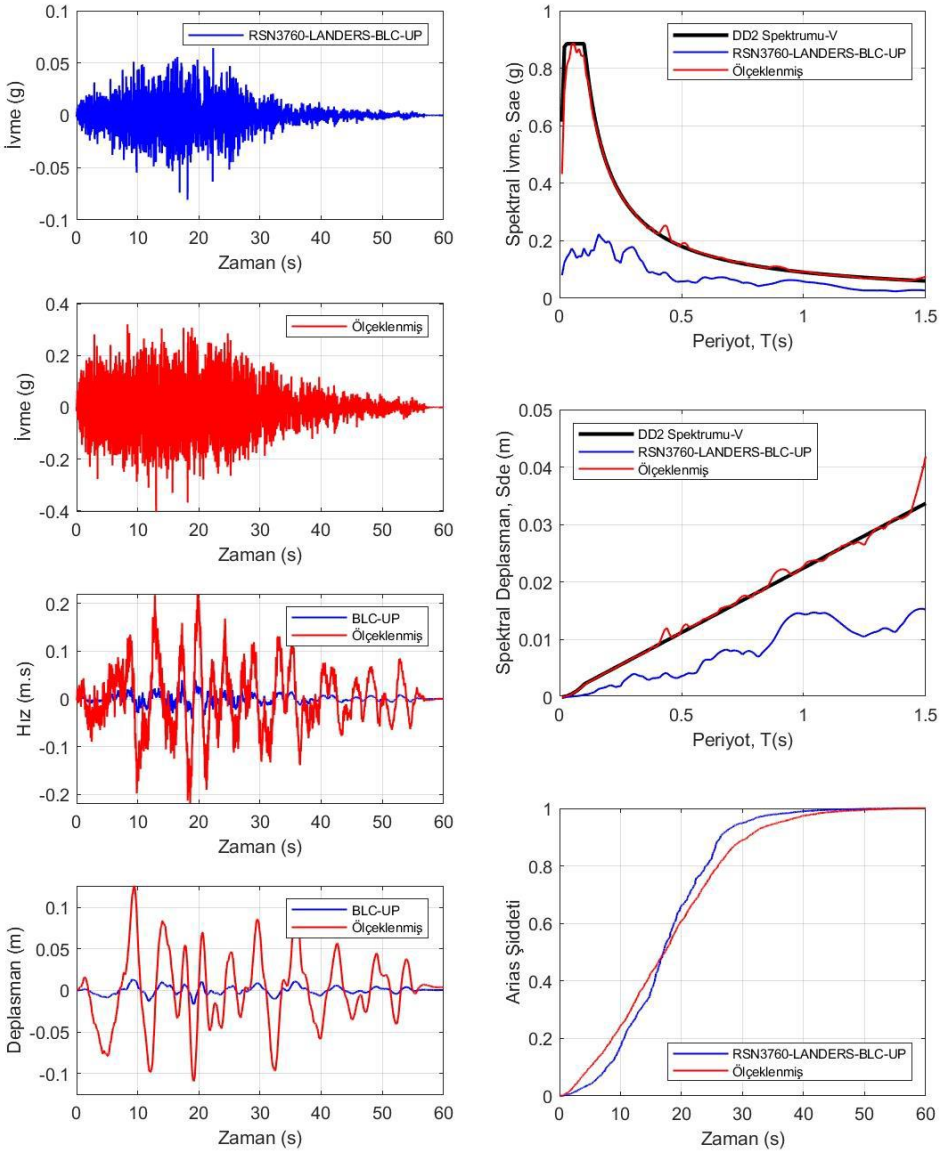
Şekil 43. Landers Depremi, Forest Falls Post Office İstasyonu RSN3752_LANDERS_FFP-UP Düşey bileşenine ait orijinal ve DD-2 düzeyine ölçeklenmiş ivme, deplasman, Arias şiddeti ile zaman tanım alanındaki ivme, hız ve deplasman grafikleri.



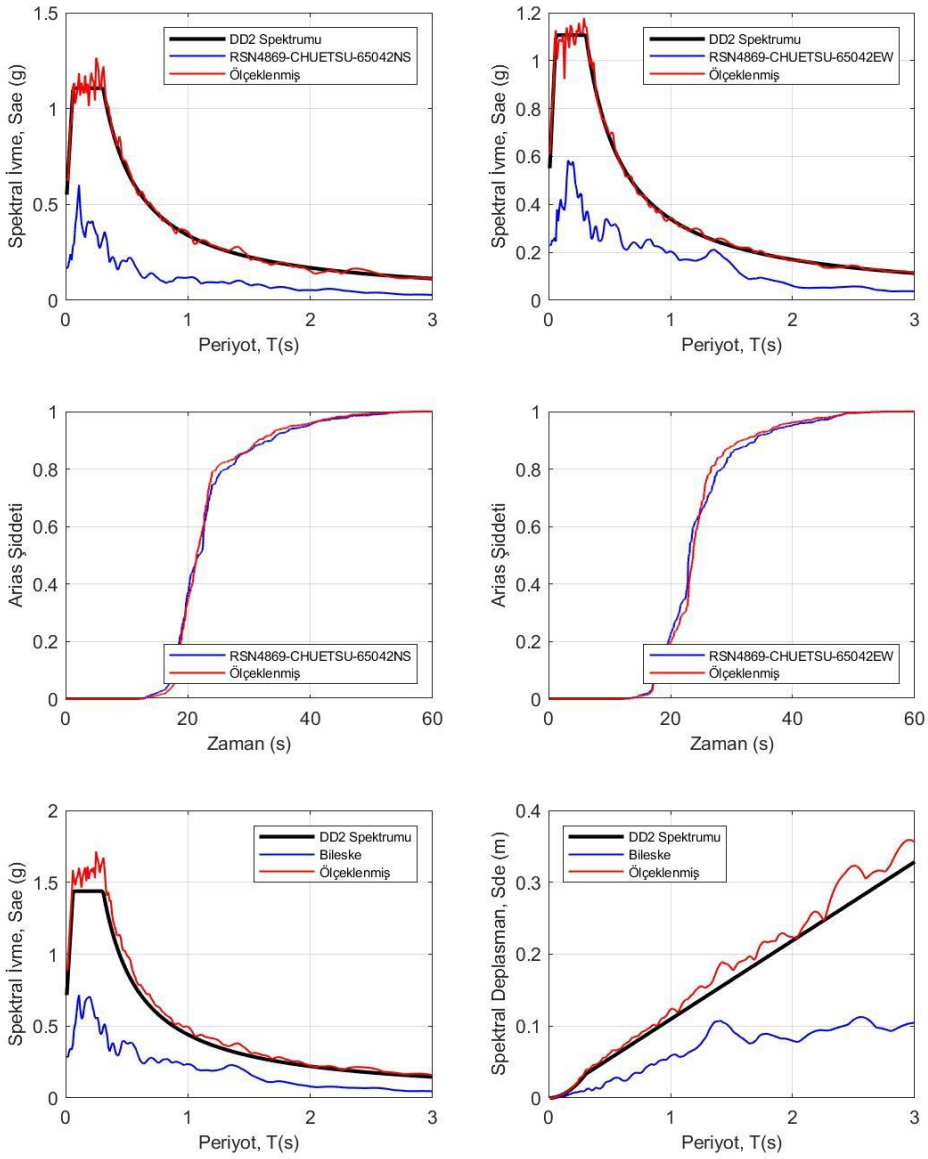
Şekil 44. Landers Depremi, Big Bear Lake - Civic Center İstasyonu RSN3760_LANDERS_BLC360 ve RSN3760_LANDERS_BLC270



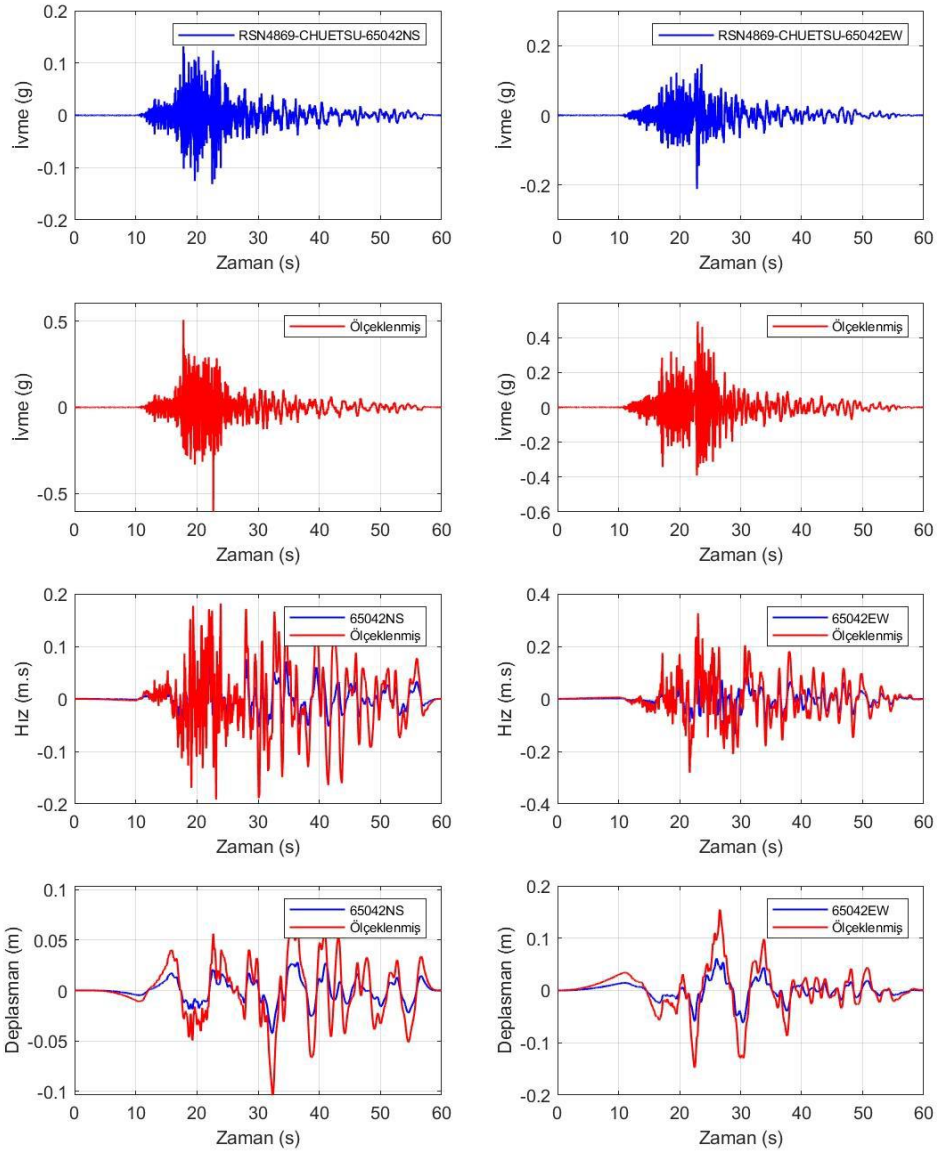
Şekil 45. Landers Depremi, Big Bear Lake - Civic Center İstasyonu RSN3760_LANDERS_BLC360 ve RSN3760_LANDERS_BLC270 Yatay bileşenlere ait (orijinal ve DD-2'ye ölçeklenmiş) deprem yer hareketlerinin ivme, hız ve deplasmanın zaman geçmişi grafikleri.



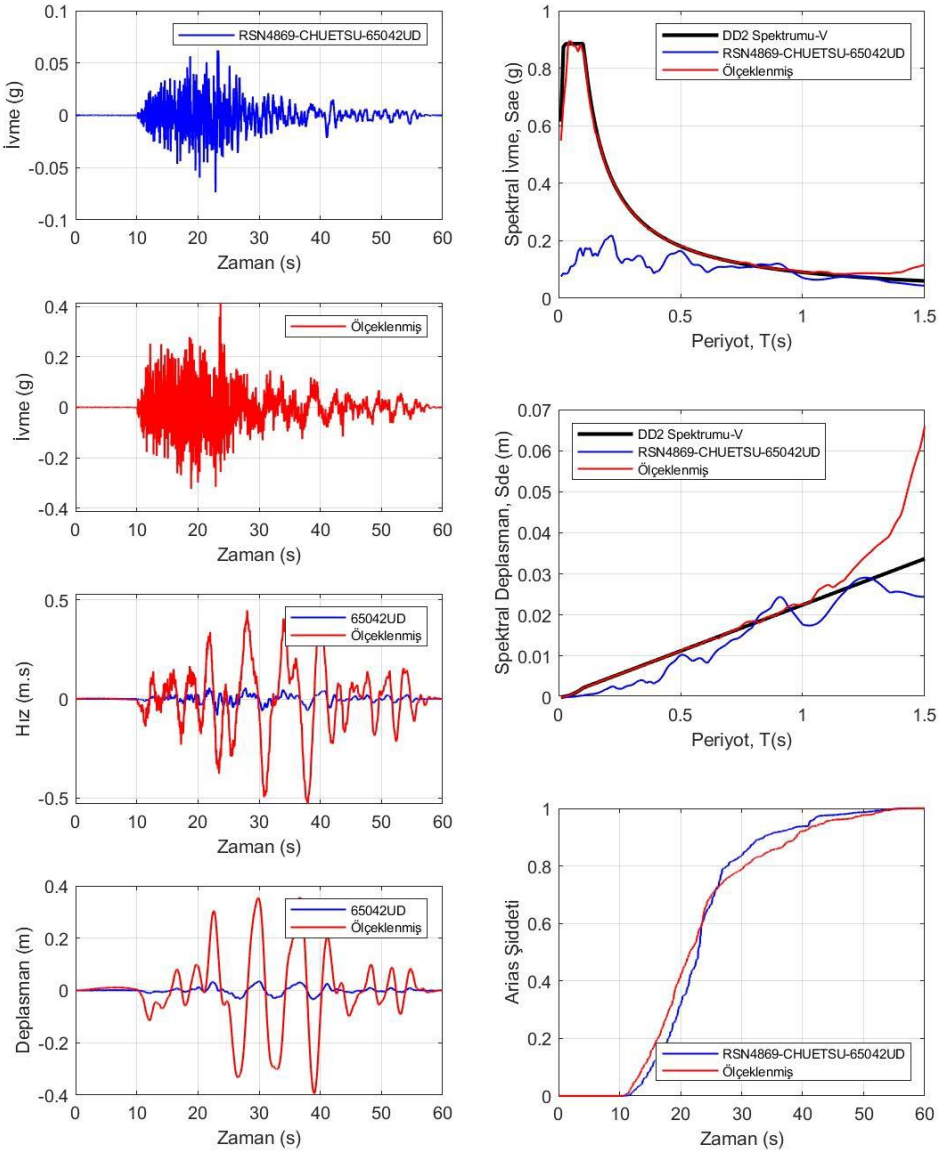
Şekil 46. Landers Depremi, Big Bear Lake - Civic Center İstasyonu RSN3760_LANDERS_BLC-UP Düşey bileşenlere ait (orijinal ve DD-2'ye ölçeklenmiş) deprem yer hareketlerinin ivme, hız ve deplasmanın zaman geçmişi grafikleri.



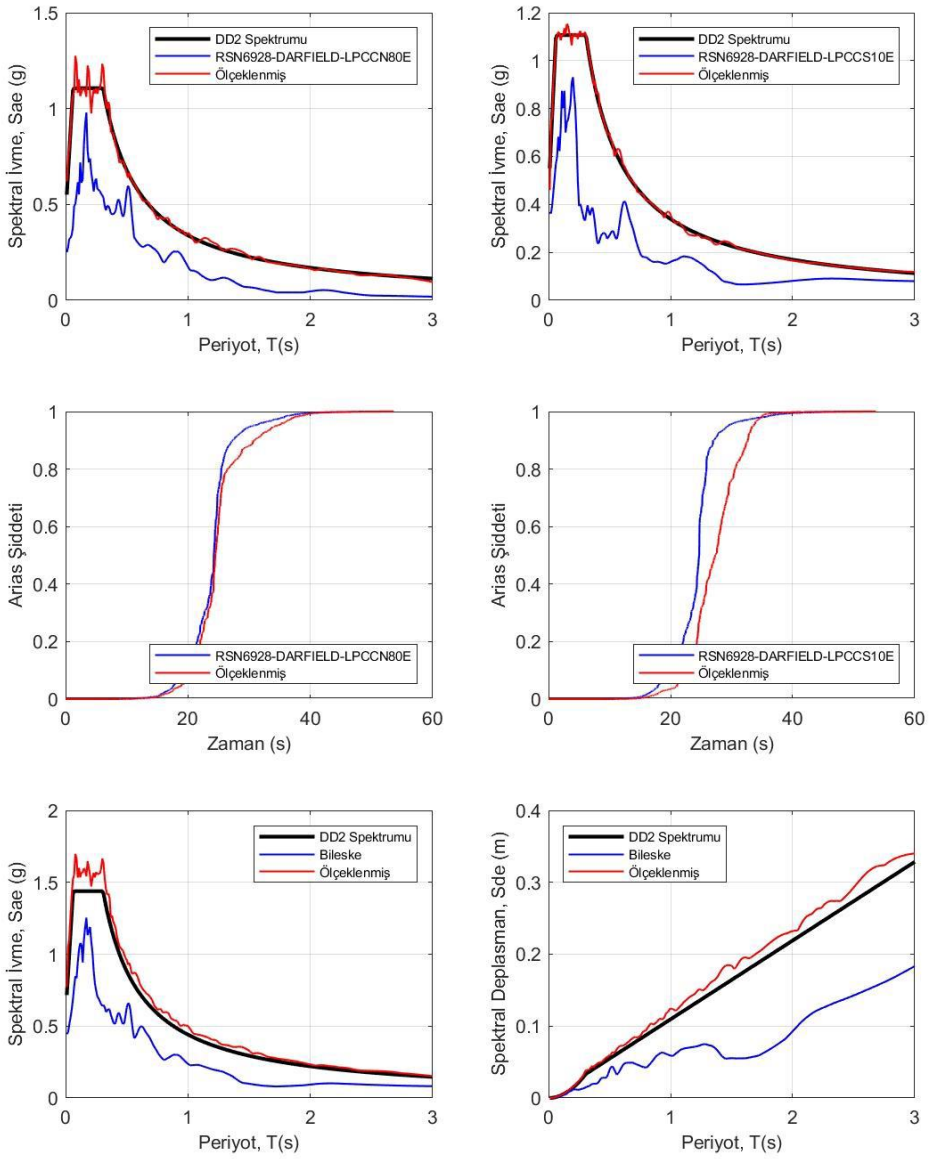
Şekil 47. Kawaguchi istasyonunda kaydedilen Chuetsu-oki deprem verileri: RSN4869_CHUETSU_65042NS ve RSN4869_CHUETSU_65042EW bileşenleri (Japonya) Yer Sismik Hareketlerinin Bileşenlerine ait (orijinal ve DD-2'ye ölçeklenmiş) deprem yer hareketlerinin ivme, hız ve deplasmanın zaman geçmişi grafikleri.



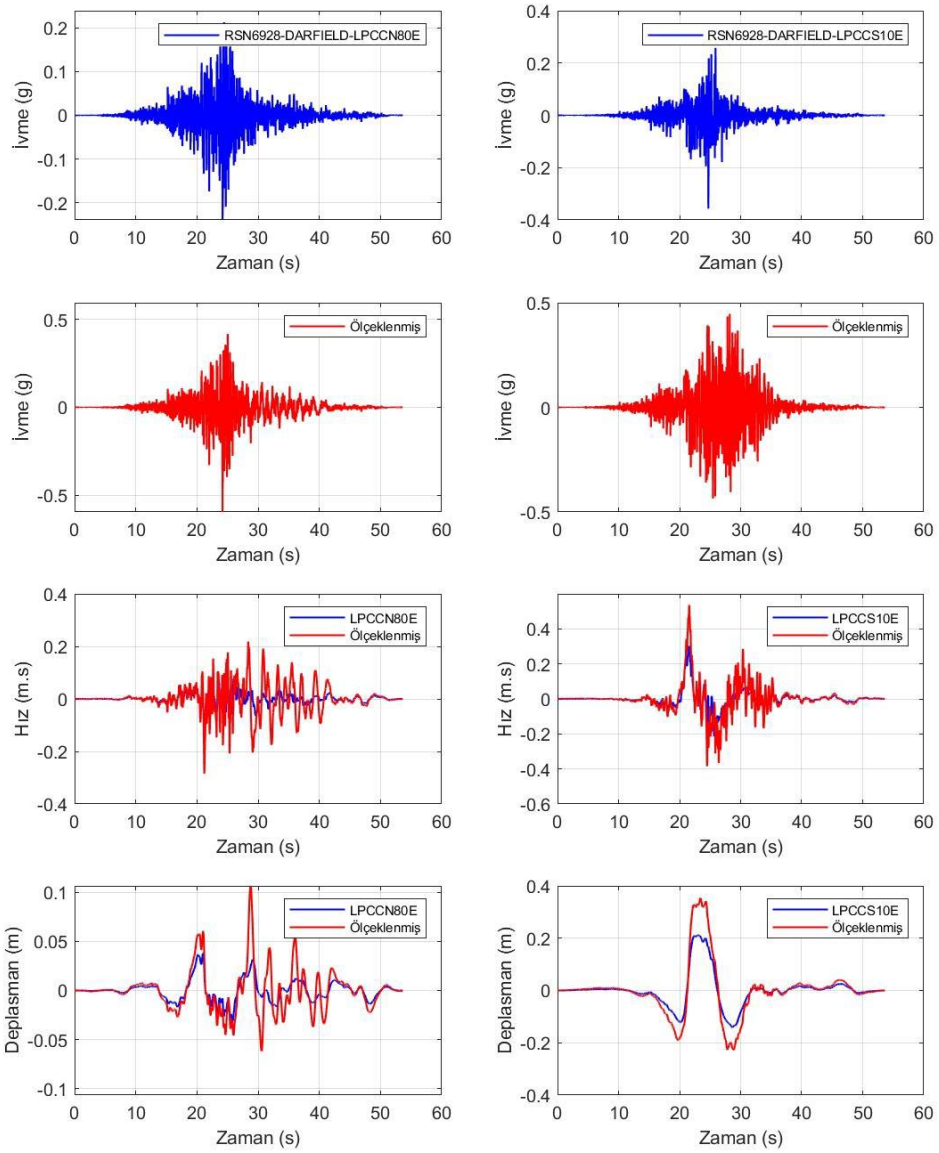
Şekil 48. Chuetsu-oki_Japan Depremi, Kawaguchi İstasyonu RSN4869_CHUETSU_65042NS ve RSN4869_CHUETSU_65042EW Yatay bileşenlere ait (orijinal ve DD-2'ye ölçeklenmiş) deprem yer hareketlerinin ivme, hız ve deplasmanın zaman geçmişi grafikleri.



Şekil 49. Chuetsu-oki_Japan Depremi, Kawaguchi İstasyonu RSN4869_CHUETSU_65042UD Düşey bileşene ait yer hareketlerinin (original olan ve DD-2'ye göre ölçeklenmiş) ivme, deplasman, Arias şiddeti ile zaman tanım alanındaki ivme, hız ve deplasman grafiklerinin karşılaştırması.



Şekil 50. Darfield_ New Zealand Depremi, LPCC İstasyonu RSN6928_DARFIELD_LPCCN80E ve RSN6928_DARFIELD_LPCCS10E Deprem yer hareketi bileşenlerine ait (orijinal ve DD-2 düzeyine ölçeklenmiş) spektral ivme, Arias şiddeti, tasarım spektrumları ve bileşke spektrumların karşılaştırmalı gösterimi.



Şekil 51. Darfield_ New Zealand Depremi, LPCC İstasyonu RSN6928_DARFIELD_LPCCN80E ve RSN6928_DARFIELD_LPCCS10E Yatay deprem bileşenlerine ilişkin ivme, hız ve deplasman zaman geçmişi grafikleri (orijinal ve DD-2 düzeyine ölçeklenmiş halleriyle).

2.13. Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtları Sonuçları

Muğla İli, Bodrum İlçesi, Ortakent Mahallesi, N18C18D4D Pafta, 223 Ada, 5 Parselde 37.055162° K enleminde ve 27.355001°D boylamında mevcut otel binasının yapısal performans değerlendirme projesinin yapılması planlanmaktadır. Saha için "Parsel Bazında Zemin ve Temel Etüdü Veri Raporu" hazırlanmıştır.

Deprem etkisinin tanımlanmasında 2018 yılının sonunda itibari ile kanunen kullanılmasına başlanmış olan yenilenmiş TBDY kurallarına göre DD-2 deprem düzeyi için, kısa doğal titreşim periyodu 0.2 s ve 1.0 s'lik doğal titreşim periyoduna karşılık gelen yatay deprem spektral ivme değerleri Ss ve S1, referans olarak alınan ZC zemin sınıfı için belirlenmiştir.

Belirlenen deprem tasarım spektrumu için, TBDY'de (2018) tanımlandığı şekilde DD-2 deprem düzeyi için ayrı ayrı 11 adet spektrum uyumlu deprem yer hareketi seçilmiştir. Şekil 14'de, her bir deprem kaydı için DD-2 düzeyine göre ölçeklenmiş spektral ivme ve deplasman bileşke spektrumları ile bunlara ait ortalama değerler sunulmuştur. Şekil 15 ve Şekil 16'da DD-2 deprem düzeyi için H1 ve H2 yönleri için, Şekil 17'de düşey bileşen için spektral ivme ve spektral deplasman grafikleri verilmiştir. Şekil 18'den Şekil 50'e kadar her iki yatay bileşen ve düşey bileşen dikkate alınarak hesaplanmış her bir deprem yer hareketi kaydına ait orijinal ve ölçeklenmiş ivme, hız, deplasman, spektral ivme, spektral deplasman, tasarım spektrumları ve bileşke spektrumlara ait grafikler verilmiştir. Ayrıca seçilen deprem yer hareketlerine ait kayıtlar elektronik olarak ekte sunulmuştur.

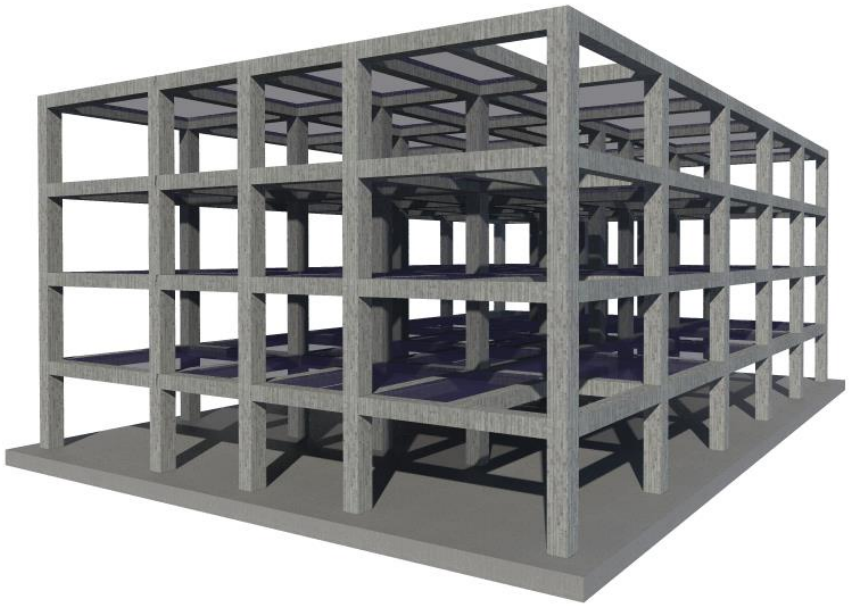
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

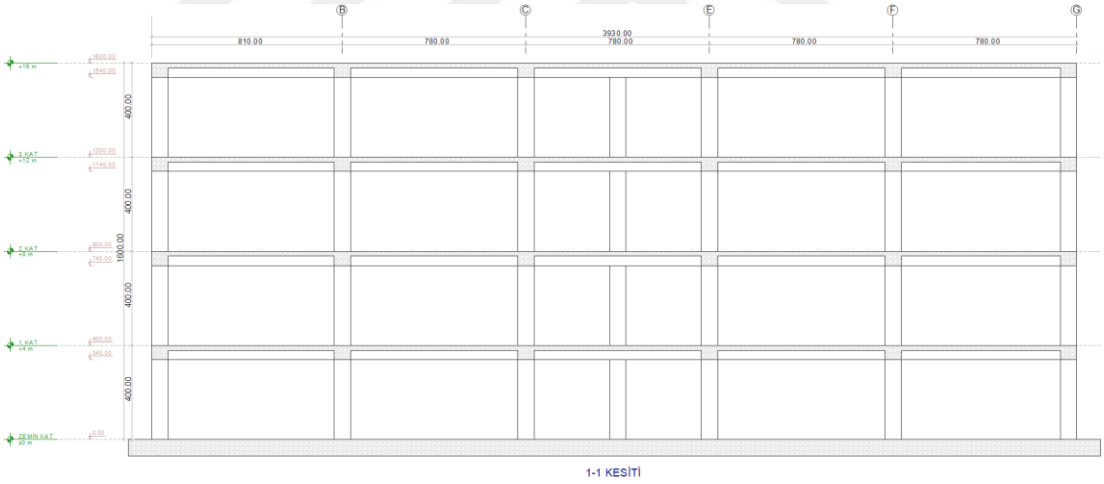
3.1. Yapı Genel Bilgileri

Bu çalışmada betonarme yapı ve kauçuk izolatörlü ve geleneksek betonarme yapı olarak İdecad V11 programı ile modellenmiş analizleri de bu programla yapılmıştır, analiz modeli oluşturulurken çubuk sonlu elemanlar, kabuk sonlu elemanlar ve bunları birbirine bağlayan link elemanlar (rijit linkler veya bağlantı elemanları) kullanılır. Kolon ve kirişler çubuk sonlu elemanlar ile perde ve döşemeler kabuk sonlu elemanlar ile modellenir.

- ideCAD'e girilen ivme kayıtlarının spektrum eğrisine dönüştürülmesi otomatik yapılmaktadır.
- İvme kaydı takımlarının spektrum eğrilerinin karelerinin toplamının karekökü alınarak (SSRS) bileşke spektrum eğrisine dönüştürüldükten sonra tasarım spektrumuna eşleştirilmesi için en küçük kareler tekniği yaklaşımı kullanılmaktadır ve ölçek katsayısı otomatik olarak belirlenmektedir.
- En küçük kareler tekniği yaklaşımı ile otomatik olarak ölçeklendirilen spektrum eğrilerinin ölçekleme katsayısı kullanıcı denetimine bağlı olarak değiştirilebilmektedir.
- İvme kaydı takımlarının ortalamasının 0.2Tp ve 1.5Tp periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3 'ten küçük olması kontrolü otomatik olarak yapılmaktadır.
- İvme kaydı takımlarının spektrumları, ölçek katsayıları, bileşke spektrumların ortalaması ve ivme kayıtlarının ölçeklendikten sonraki karşılaştırılmaları aşağıdaki resimde gösterildiği gibi bir arayüz ile yapılmaktadır.



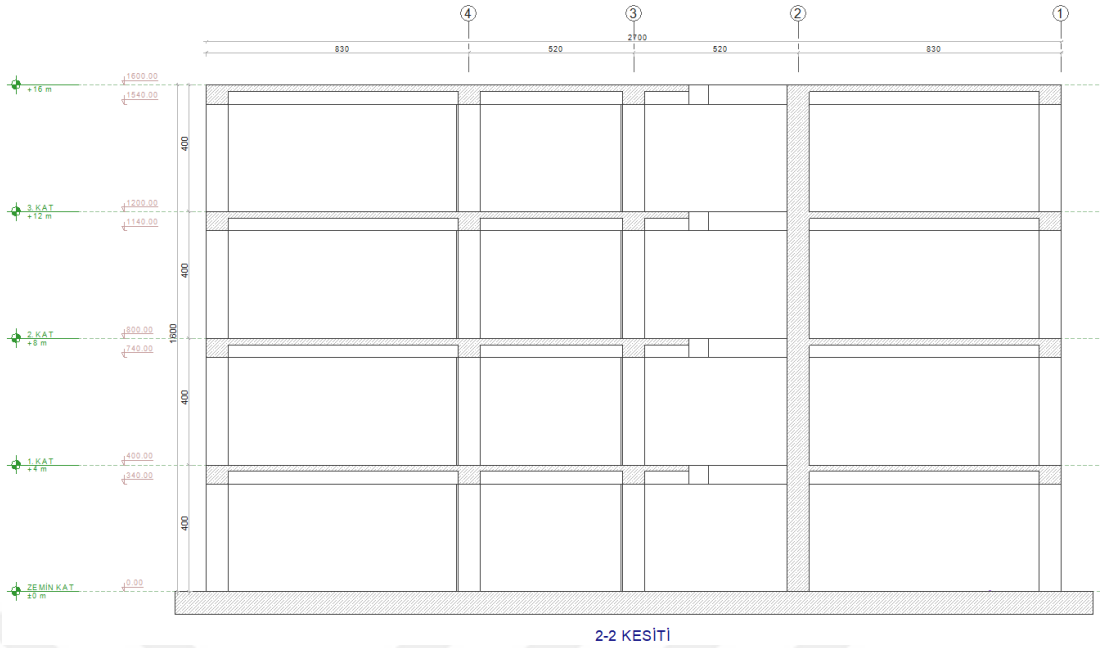
Şekil 52. Bina Perspektifi



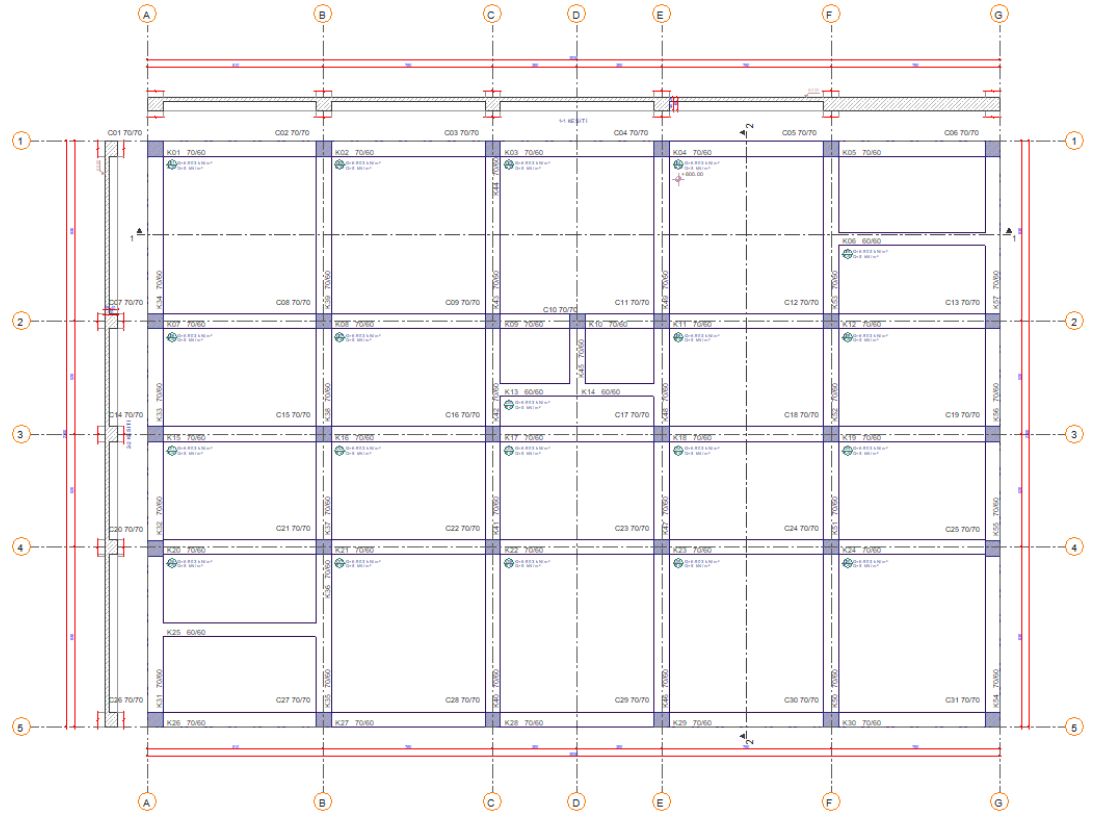
Şekil 53. 1-1 Kesiti

Modelleme kısmında kullanılan yapısal çizimler Şekil 52–56 arasında verilmiş olup, bina perspektifi, kesitler ve kalıp planları detaylı şekilde sunulmuştur. Bu bölüm, yapının taşıyıcı sistem geometrisini ve genel tasarım mantığını açıklamak açısından büyük önem taşımaktadır. Yapının TBDY 2018'e uygun şekilde modal analizleri

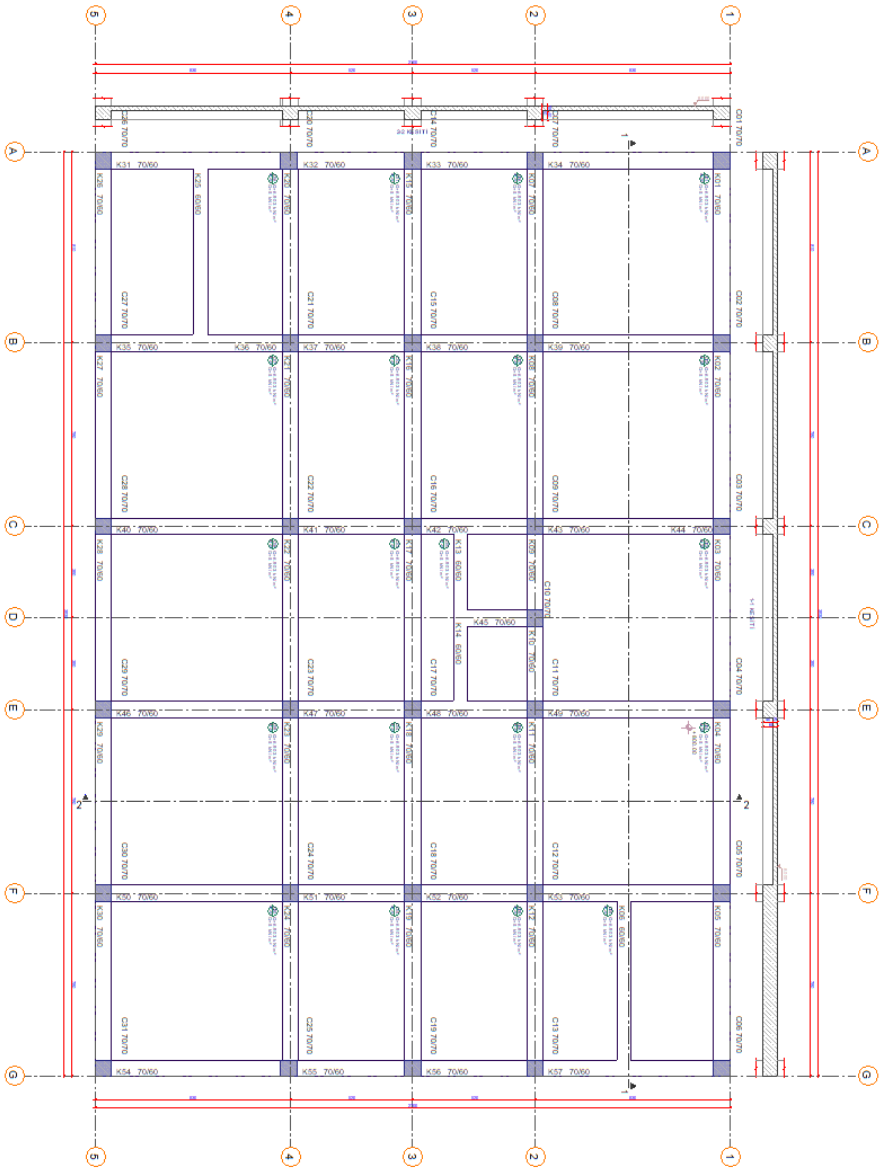
Şekil 57–71 arasında görsel olarak ifade edilmiş; bu kapsamda, periyotlar, deformasyon modları ve kütle dağılımı gibi veriler sunulmuştur.



Şekil 54. 2-2 Kesiti



Şekil 55. Kalıp Planı 1



Şekil 56. Kalıp Planı 2

Tablo 6. Yapı Bilgileri

Yapı Genel Bilgileri	
Başlık	**Değer**
Yapı İli	MUĞLA
Yapı İlçesi	BODRUM
Yapı Pafta No	–
Yapı Ada No	–
Yapı Parsel No	–
Enlem	37.055.260
Boylam	27.355.067
Yapı Geometrik Bilgileri	
Başlık	**Değer**
Kat Sayısı	4
Yapı Yüksekliği	16
Rijit Bodrum Üstü Yapı Yüksekliği	16
Rijit Bodrum Kat Sayısı	0
Rijit Bodrum Kat Numarası	-1
Maksimum Kat Yüksekliği	4
Maksimum Kiriş Açıklığı	7.25
Planlanan Kullanım	HASTANE
Rijit Diyafram Sayısı	4
Deprem Parametreleri	
Başlık	**Değer**
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (Girilen) (X / Y)	8 / 8
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (Seçilen) (X / Y)	8 / 8
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (X / Y)	3 / 3
Eksantrisite Oranı	0.15
Süneklik Düzeyi	Yüksek
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	6
Normal Performans Hedefi	Kontrollü Hasar
Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı	Dayanıma Göre Tasarım

Tablo 7. Zemin Parametreleri ve Spektrum Parametreleri

Zemin Parametreleri	
Başlık	**Değer**
Zemin Tipi	ZC
Spektrum Karakteristik Periyotları	Ta: 0.063, Tb: 0.317
Zemin Taşıma Gücü	686
Yatak Katsayısı	73549
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı (Ss)	0.923
1 sn Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı (S1)	0.234
Kısa-Periyot Yerel Zemin Etki Katsayısı (Fs)	1.2
1 sn İçin Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F1)	1.5
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SDS)	11.076
1.0 s Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SD1)	0.351
En Büyük Yer İvmesi (g) (PGA)	0.398
En Büyük Yer Hızı (PGV)	18.216
Katlar Arası Öteleme Kontrolü İçin Spektrum Parametreleri	
Başlık	**Değer**
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-3
Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı (Ss)	0.388
1 sn Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı (S1)	0.095
Kısa-Periyot Yerel Zemin Etki Katsayısı (Fs)	1.3
1 sn İçin Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F1)	1.5
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SDS)	0.5044
1.0 s Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SD1)	0.1425
En Büyük Yer İvmesi (g) (PGA)	0.169
En Büyük Yer Hızı (PGV)	7.199

Yapının mimari ve taşıyıcı sistem özellikleri, kullanım amacı, malzeme sınıfları ve rijitlik düzeltmeleri dikkate alınarak modellenmiş, mevcut yapı türleri ve sistem alternatifleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur (Tablo 3, Tablo 6, Tablo 8–9).

Yükleme durumları ve yükleme kombinasyonları ise TBDY 2018'in öngördüğü çerçevede oluşturulmuş ve yapısal modele uygulanmıştır (Tablo 10, Tablo 11)

Tablo 8. Malzeme Bilgileri

Malzeme Bilgileri	
Başlık	**Değer**
Kolonlar	C40 B420C
Kirişler	C40 B420C
Döşemeler	C40 B420C
Temeller	C40 B420C
Statik Malzeme Adı	C40 B420C
Betonun Karakteristik Basınç Dayanımı	40 MPa
Betonun Karakteristik Çekme Dayanımı	2213.594 kN/m²
k1 Sabit	0.76
Eğilme Donatısı Akma Dayanımı	420 MPa
Etriye Donatısı Akma Dayanımı	420 MPa
Elastisite Modülü	3523609.468 kN/m²
Kayma Modülü	1468170.612 kN/m²
Poisson Oranı	0.2
Birim Ağırlık	25 kN/m³
Isıl Genleşme Katsayısı	1E-05

Tablo 9. Rijitlik Çarpanlari İle Beton Çatlamiş Kesit Özellikleri Modellenmesi

Perde - Döşeme (düzlem içi)		
Eleman	**Eksenel**	**Kesme**
Perde	0.5	0.5
Bodrum Çevre Perdesi	0.25	0.25
Döşeme	0.25	0.25
Perde - Döşeme (düzlem dışı)		
Eleman	**Eğilme**	**Kesme**
Perde	0.25	1
Bodrum Çevre Perdesi	0.25	1
Döşeme	0.25	1
Çubuk Eleman		
Eleman	**Eğilme**	**Kesme**
Bağ Kirişi	0.15	1
Kiriş	0.35	1
Kolon	0.7	1

Tablo 10. Yüklemeler Ve Kombinasyonlar

YÜKLEMELER VE KOMBİNASYONLAR	
Yükleme Durumları	
Yükleme	**Açıklama**
G	Sabit yük
Q	Hareketli yük
G’	Sabit yük (Etkin kesit rijitlikleri kullanıldı)
Q’	Hareketli yük (Etkin kesit rijitlikleri kullanıldı)
Ez(G)	Düşey deprem (4.4.3.2)
Ex	X yönünde ek dışmerkezlikli deprem yüklemesi (Tam rijit diyafram çözüm)
Ey	Y yönünde ek dışmerkezlikli deprem yüklemesi (Tam rijit diyafram çözüm)

Tablo 11 Yükleme Kombinasyonları

Yükleme Kombinasyonları			
Yükleme Kombinasyonları	**Betonarme Dizaynında Kullan**	**Çelik Dizaynda Kullan**	**Taban Basıncı Kontrolünde Kullan**
1.4·G+1.6Q	✓		✓
G+Q	✓		✓
G'+Q'+Ex+0.30Ez+0.30Ez	✓		✓
G'+Q'–Ex+0.30Ez+0.30Ez	✓		✓
G'+Q'+Ey+0.30Ez+0.30Ez	✓		✓
G'+Q'–Ey+0.30Ez+0.30Ez	✓		✓
0.9G'+Ex+0.30Ez+0.30Ez	✓		✓
0.9G'–Ex+0.30Ez+0.30Ez	✓		✓
0.9G'+Ey+0.30Ez+0.30Ez	✓		✓
0.9G'–Ey+0.30Ez+0.30Ez	✓		✓
0.9G'+0.3Ez	✓		✓
0.9G'–0.3Ez	✓		✓

Tablo 12. Yapı Analizleri Yönetmeliğe Uygunluk Özet Raporu

Malzeme ve Kesit Kontrolleri		
Kontrol Adı	Açıklama	Sonuç
Kullanılan Beton Sınıfı	C40 (Projede en az C25 veya daha kaliteli beton kullanılmış)	✓
Kesit Kontrolü	Projede tüm elemanların kesitleri yeterlidir	✓
Öteleme ve Düzensizlik Kontrolleri		
Kontrol Adı	Açıklama	Sonuç
Göreli Kat Ötelemesi (X yönü)	$\Delta i/h(i-1) = 0.0033 \leq 0.008$ - (1. KAT)	✓
Göreli Kat Ötelemesi (Y yönü)	$\Delta i/h(i-1) = 0.0035 \leq 0.008$ - (1. KAT)	✓
2. Mertebe Etkileri	Etkiler sınırlarda, kontrol sağlanmıştır	✓
A1 Burulma Düzensizliği (X yönü)	$\eta b(max) = 0.016 < 0.09$ - (1. KAT)	✓

A1 Burulma Düzensizliği (Y yönü)	ηb(max) = 1.09 ≤ 1.2 - (ZEMİN KAT)	✓
A2 Döşeme Süreksizlikleri	Tüm katlarda A2 düzensizliği koşulu sağlanmıştır	✓
A3 Planda Çıkıntılar	Tüm katlarda A3 düzensizliği koşulu sağlanmıştır	✓
B1 Zayıf Kat (X yönü)	ρ(i)/ρ(i+1) = 1.00 > 0.8 - (2. KAT)	✓
B1 Zayıf Kat (Y yönü)	ρ(i)/ρ(i+1) = 1.00 > 0.8 - (2. KAT)	✓
B2 Yumuşak Kat (X yönü)	η(i)/η(i+1) = 1.54 < 2.0 - (2. KAT)	✓
B2 Yumuşak Kat (Y yönü)	η(i)/η(i+1) = 1.53 < 2.0 - (2. KAT)	✓
B3 Düşey Eleman Süreksizliği	Bütün katlarda B3 düzensizliği koşulu sağlanmıştır	✓
Devrilme Momenti Kontrolü (X yönü)	3269.46 / 159068.61 = 0.021 < 0.5	✓
Devrilme Momenti Kontrolü (Y yönü)	3296.88 / 111673.28 = 0.030 < 0.5	✓
Hesap Yöntemi ve R Katsayısı Seçimi		
Kontrol Adı	Açıklama	Sonuç
R Katsayısı (X yönü)	Girilen R uygundur. Seçilen R = 8.00	✓
R Katsayısı (Y yönü)	Girilen R uygundur. Seçilen R = 8.00	✓
Hesap Yöntemi	Tepki spektrum yöntemi kullanılmıştır	✓
Bina Yükseklik Sınıfı (X yönü)	BYS kontrolü yapılmış, uygundur	✓
Bina Yükseklik Sınıfı (Y yönü)	BYS kontrolü yapılmış, uygundur	✓
Süneklik Düzeyi (X yönü)	Süneklik Düzeyi: Yüksek - Sistem Tipi: A11	✓
Süneklik Düzeyi (Y yönü)	Süneklik Düzeyi: Yüksek - Sistem Tipi: A11	✓
Yapıya Etkiyen Deprem Yükleri Hesabı		
Kontrol Adı	Açıklama	Sonuç
Yapı Toplam Kütlesi	5439.08	✓
Hareketli Yük Katsayısı	Hareketli yük katsayısı = 0.6000	✓
Toplam Deprem Yükü - X	Vt = 2745.41 – (Dinamik Yöntem)	✓
Toplam Deprem Yükü - Y	Vt = 2753.88 – (Dinamik Yöntem)	✓
Yapı Doğal Titreşim Periyodu	Ta = 0.06 ≤ Tb = 0.32 ≤ Tr = 0.78 – (UY)	✓
Spektrum Katsayısı	S(T) = 0.45	✓
Yapıya Etkiyen Deprem Yüklerinin Hesabı		
Kontrol Adı	Açıklama	Sonuç
Hesaba Katılan Mod Sayısı	Hesaba katılan mod sayısı yeterlidir	✓

	Hesaba 36 mod katılmıştır	✓
Döşeme Özet Raporu		
Kontrol Adı	Açıklama	Sonuç
Döşeme Yük Analizi	TS498'e göre detaylı döşeme yük analizi yapılmıştır	✓
Döşeme Kalınlık Kontrolü	TS500'e göre döşeme kalınlık kontrolü sağlandı	✓
Döşeme Statik Sonuçları	Sonlu elemanlar yöntemiyle statik çözüm yapılmıştır	✓
	M11(max) = 32.80	
	M22(max) = 26.18	
	Döşeme tasarımında deprem etkileri dikkate alınmıştır	✓
Döşeme Betonarme Donatı Hesabı	Tüm döşemelerde gereken donatı koşulları sağlanmıştır	✓
	MdMax : 80.21 - (D17)	
	AsMax : 12.99 - (D17)	
Döşeme Sehim Kontrolü	Beton döşemelerde sehim koşulları sağlanmıştır	✓
	Sürekli Sehim - zgj max = 4.809 - (D01)	
	Ani Sehim - zgj max = 2.183 ve 20.001 - (D01)	
	Toplam Sehim - zg max = 8.996 < 0.833 - (D01)	✓
Kiriş Özet Raporu		
Kontrol Adı	Açıklama	Sonuç
Kiriş Yük Analizi	TS498'e göre detaylı kiriş yük analizi yapılmıştır	✓
Kiriş Yükleri	Kiriş yükleri sonlu elemanlar yöntemiyle aktarılmıştır	✓
Kiriş Statik Sonuçları	Kiriş Statik Çözümü Yapılmıştır	
	Tmax : 71.96 - (K35), Vmax : 278.15 - (K10), Mmax : 173.25 - (K43)	
Kiriş Betonarme Donatı Hesabı	Tüm kirişlerde gereken donatı koşulları sağlanmıştır	✓
	MdMax : 493.95 - (K53), AsMax : 21.29 - (K43)	
Dengeli Donatı Oranı Kontrolü	Dengeli donatı oranı kontrolü (TS500 Denklem 7.4) tüm kirişlerde sağlandı	✓
Kiriş Burulma Hesabı	T(d/s) < (Vd/bwd) < 0.22Td koşulu tüm kirişlerde sağlanmıştır	✓
Kiriş Kesme Güvenliği	Aot / Ao = 1.00	✓
	Ve ≤ 0.85 bwd fck koşulu tüm kirişlerde sağlanmıştır	✓
	Ve ≤ Vd koşulu tüm kirişlerde sağlanmıştır	✓
	TS500 ve 1.00 bwd fck koşulu tüm kirişlerde sağlanmıştır	✓
	Ani Kesme : 188.22 - (K01)	✓

Kiriş Sehim Kontrolü	Sehim koşulları tüm kirişlerde sağlanmıştır	✓
	Sürekli Sehim – zlg max = 2.086 - (K53)	
	Ani Sehim – zg max = 0.498 < 20.139 - (K04)	
	Toplam Sehim – zg max = 6.368 < 20.208 - (K53)	✓
Kiriş Çatlak Kontrolü	εcm < εmaks koşulu tüm kirişlerde sağlanmıştır	✓
Kiriş Çatlak Donatısı	ρ = 0.279 < 0.004 koşulu sağlanmıştır	✓
	Tüm çatlak donatısı gereken kirişler mevcuttur ve eksik donatısı için yapılmıştır	✓
TBDY 7.4.3.1 Kiriş Kenetleme Boyu	K53 - K57 - K24 - K52 - K43 - K12 - K61 kenetleme boyu sağlanmıştır	✓
Eksenel Kuvvet Sınırı	Eksenel kuvvet sınırını aşan kirişlerde donatı bulunmamaktadır	✓
Kolon Özet Raporu		
Kontrol Adı	Açıklama	Sonuç
Kolon Statik Sonuçları	Mmax : 330.70 – (C07)	✓
	Tmax : 5.87 – (C10)	
	Vmax : 378.28 – (C14)	
	Nmax : 2181.59 – (C08)	
Kolon Betonarme Donatı Hesabı	Tüm kolonlarda gereken donatı koşulları sağlanmıştır	✓
	Nd : -415.29 – (C20), M2 : 215.30, M3 : 378.43, As : 49.00	
Kolon Burkulma Hesabı (X Yönü)	Burkulma TS500 moment büyütme yöntemi ile hesaba katılmıştır	✓
Kolon Burkulma Hesabı (Y Yönü)	Burkulma TS500 moment büyütme yöntemi ile hesaba katılmıştır	✓
Kontrol Adı	Açıklama	Sonuç
TS500 7.6 Narinlik Kontrolü	X yönünde ∑Nd ≤ 0.45 ∑Nk koşulu tüm katlarda sağlanmıştır.	✓
	Y yönünde ∑Nd ≤ 0.45 ∑Nk koşulu tüm katlarda sağlanmıştır.	
Kolon Kesme Güvenliği	Ve ≤ Vd koşulu tüm kolonlarda sağlanmıştır.	✓
	Ve ≤ 0.85 Aw·fck koşulu tüm kolonlarda sağlanmıştır.	
TBDY 7.3.5 Güçlü Kolon Kontrolleri	Vls / Vlk oranı 0.70'den büyük	✓
TBDY 7.3.1.2 Maksimum Eksenel Kuvvet Kontrolü	0.4·fcd·Ac ≥ Ndm koşulu tüm kolonlarda sağlanmıştır.	✓
	NdMax = 3602.98	

TS500 7.4.1 Maksimum Eksenel Kuvvet Kontrolü	0.9·fcd·Ac ≥ NdMax koşulu tüm kolonlarda sağlanmıştır.	✓
	NdMax = 4416.10	
Poligon Kolon Bilgileri	Projede poligon kolon bulunmamaktadır	✓
Radye Temel Özet Raporu		
Kontrol Adı	Açıklama	Sonuç
Radye Temel Sonlu Eleman Bilgileri	Grafiksel ve tablo biçiminde verilmiştir	✓
Radye Temel Statik Sonuçları	Sonlu elemanlar yöntemiyle statik çözüm yapılmıştır	✓
	Üst Yapı Temel Etkileşimli Analiz Yapıldı	
	M11(max) = 334.31, M22(max) = 289.65	
Radye Temel Betonarme Donatı Hesabı	Tüm radye temellerde gereken donatı koşulları sağlandı	✓
	MdMax = -567.22 – (RD01)	
	AsMax = 25.30 – (RD01)	
Radye Temel Taban Basıncı	Bütün temellerde taban basıncı güvenlidir	✓
	Min. taban basıncı = 239.99 < 686.00 (0.9G'+Ey+0.3Ex+0.3Ez)	
	Ort. taban basıncı = 110.69 < 686.00 (1.4G+1.6Q)	
	Maks. taban basıncı = 163.30 < 686.00 (1.4G+1.6Q)	
TBDY 7.11.7 Radye Döşeme Zımbalama Kontrolü	Tüm radye döşemelerde TBDY 7.11.7 Zımbalama kontrolü koşulları sağlanmıştır.	✓
	Radye döşeme zımbalamaya dayanım yeterli. Zımbalama donatısı kullanılmamıştır.	
Birleşim Bölgesi Özet Raporu		
Kontrol Adı	Açıklama	Sonuç
TBDY 7.5 Kolon Kiriş Birleşim Kesme	Birleşim bölgelerinde kesme güvenliği sağlanmıştır	✓

3.2. TBDY 2018 Deprem Parametreleri Raporu

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

BKS : Bina kullanım sınıfı

BYS : Bina yükseklik sınıfı

D : Dayanım Fazlalığı Katsayısı

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

I : Bina önem katsayısı

KH : Kontrollü hasar performans düzeyi

SH : Sınırlı hasar performans düzeyi

DGT : Dayanıma göre tasarım

ŞGDT : Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım

Tablo 13. Zemin Tipi ve Harita Spectrum İvme Katsayıları

Zemin Tipi: ZC			
Enlem	37.055260		
Boylam	27.355067		
Harita Sp. İvme Katsayıları			
Parametre	Değer	Parametre	Değer
Ss	0.923	S1	0.234
Fs	1.200	F1	1.500
Sds	1.108	Sd1	0.351
PGA	0.398	PGV	18.216

Ayrıca, deprem tasarım sınıfları, bina önem katsayıları ve kullanım sınıflarına göre performans hedefleri belirlenmiş; taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ile dayanım fazlalığı katsayısı (D) ilgili yönetmeliklere göre değerlendirilmiştir (Tablo 14, Tablo 15, Tablo 17–19)."

Tablo 14. Bina Kullanım sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	**Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar** **a)** Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) **b)** Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. **c)** Müzeler **d)** Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	**İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar** Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	**Diğer binalar** BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Tablo 15. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \le S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \le S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \le S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Tablo 16. Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Tablo 17. Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Yeni Yapılacak veya Mevcut Binalar İçin Performans Hedefleri ve Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları

(a) Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar Dışında – BYS ≥ 2)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1,1a[1], 2, 2a[1], 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a[2], 2a[2])	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT[5]	KH	DGT[3,4]
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

Yapı sistemine ilişkin yönetmelik uyum kontrolleri, yatay yük aktarımı, kesit iç kuvvetleri ve ikinci mertebe etkileri doğrultusunda yapı analizi gerçekleştirilmiş, sonuçlar özet raporlar halinde sunulmuştur (Tablo 12, Tablo 20–22). Modal analiz kapsamında serbestlik derecelerine bağlı doğal titreşim modları, periyotlar ve modal kütle katılım oranları değerlendirilmiştir (Tablo 25–28). Deprem etkileri altında yapının göreli ötelemeleri, planda düzensizlikleri ve ikinci mertebe etkileri incelenmiş, sistem davranış katsayısının uygunluğu Tablo 34–36 arasında gerekçelendirilmiştir.

Tablo 18. Deprem Tasarım Girdileri

Deprem Tasarım Girdileri	
Parametre	Değer
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Normal Performans Hedefi	Kontrollü Hasar
Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı	Dayanıma Göre Tasarım
Diyafram Tipi	Rijit
Bina Sistemi	Betonarme
Döşeme Tipi	Kirişli ya da Kaset Döşeme
Süneklik Düzeyi	Yüksek

Tablo 19. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı D

X Yönü

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı *R*	Dayanım Fazlalığı Katsayısı *D*	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3

Y Yönü

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı *R*	Dayanım Fazlalığı Katsayısı *D*	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3

3.3. Kat Kesme Kuvvetleri

Semboller ve Açıklamalar

- h : Kat yüksekliği
- Vx, Vy : X ve Y doğrultusundaki deprem etkisi altında modal birleştirme yöntemi ile Ek 4B.2'ye göre hesaplanan modal kat kesme kuvvetleri

- $(V_n - V_{n+1})x$, $(V_n - V_{n+1})y$: X ve Y doğrultusundaki deprem etkisi altında Ek 4B.2'ye göre hesaplanan n'inci kattaki birleştirilmiş modal kat kuvvetleri farkı
- Ex (±%5), Ey (±%5) : Statik/Dinamik ek dışmerkezlik ile hesaplanan X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri
- Ex′ , Ey′ : Ek dışmerkezlik etkisi olmaksızın hesaplanan X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri
- ExB (±%5), EyB (±%5) : Statik/Dinamik ek dışmerkezlik ile hesaplanan bodrum katlardaki X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri
- ExB′ , EyB′ : Ek dışmerkezlik etkisi olmaksızın hesaplanan bodrum katlardaki X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri
- ¦Ex (±%5), ¦Ey (±%5) : Kolonlar mafsallı alınarak statik/dinamik ek dışmerkezlik ile hesaplanan X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri
- ¦Ex′ , ¦Ey′ : Kolonlar mafsallı alınarak ek dışmerkezlik etkisi olmaksızın hesaplanan X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri
- ¦ExB (±%5), ¦EyB (±%5) : Kolonlar mafsallı alınarak statik/dinamik ek dışmerkezlik ile hesaplanan bodrum katlardaki X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri
- ¦ExB′ , ¦EyB′ : Kolonlar mafsallı alınarak ek dışmerkezlik etkisi olmaksızın hesaplanan bodrum katlardaki X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri

Tablo 20. Katlara Göre Kesme Kuvveti Tablosu

Katlara Göre Kesme Kuvveti Tablosu					
Katlar	h [m]	Vx [kN]	$(V_n–V_{n+1})x$ [kN]	Vy [kN]	$(V_n–V_{n+1})y$ [kN]
3. KAT	4	1.829.331	1.829.331	1.837.604	1.837.604
2. KAT	4	2.740.945	911.614	2.747.907	910.303
1. KAT	4	3.376.470	635.525	3.384.936	637.029
ZEMİN KAT	4	4.093.933	717.463	4.105.357	720.421

3.4. Deprem Devrilme Kontrolü

Semboller ve Tanımlar

- $\mathbf{w_1}$: Binanın 1. katının hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
- $\mathbf{H_1}$: Binanın 1. katının temel üzerinden itibaren oluşan yüksekliği
- $\mathbf{F_x}$: Kullanılan yönteme göre hesaplanan 1. kata ait X yönü deprem kuvveti
- $\mathbf{F_\gamma}$: Kullanılan yönteme göre hesaplanan 1. kata ait Y yönü deprem kuvveti
- $\mathbf{d_x, d_\gamma}$: Katın moment alınan noktaya göre kütle merkezi koordinatları
- $\mathbf{M_{(devirici)}}$: Deprem yüklemelerinden dolayı oluşan X ve Y yönleri için devirmeci moment
- $\mathbf{M_{(koruyucu)}}$: Düşey yüklemelerden dolayı oluşan X ve Y yönleri için koruyucu moment

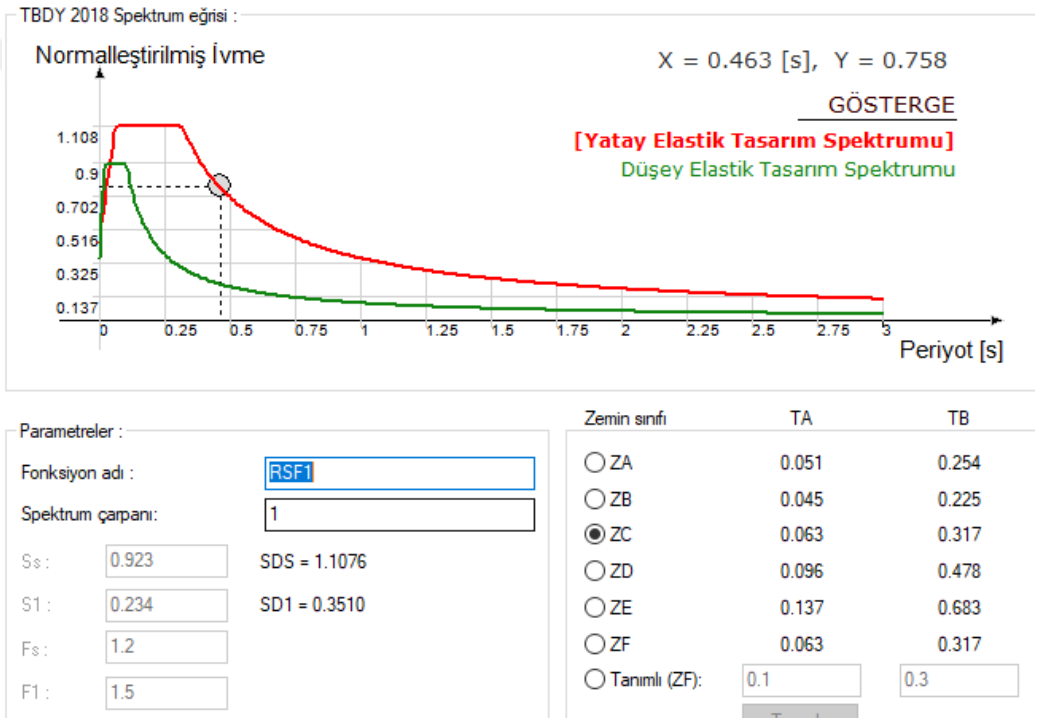
Tablo 21. Deprem Momentleri ve Düşey Yük Momentleri

Deprem Momentleri					
Kat	h [m]	F_x [kN]	F_γ [kN]	M_x [kNm]	M_γ [kNm]
3. KAT	16	1829.33	1837.6	29269.3	29401.66
2. KAT	12	911.61	910.3	10939.36	10923.64
1. KAT	8	635.53	637.03	5084.2	5096.23
ZEMİN KAT	4	717.46	720.42	2869.85	2881.68
Toplam				48162.72	48303.21
Düşey Yük Momentleri					
Kat	Kat Ağırlığı [kN]	d_x [m]	d_γ [m]	M_x [kNm]	M_γ [kNm]
3. KAT	12948.4	20.63	20.63	267129.08	187464.6
2. KAT	11691.4	14.49	14.49	261828.17	183907.2
1. KAT	12394.5	14.49	14.49	286586.92	200254.5
ZEMİN KAT	36143.7	14.48	14.48	745551.87	523337.9
Toplam				1560127.8	1095234

Tablo 22. Devrilme Kontrolü

Kontrol Sonuçları		
Kontrol	Sonuç	Durum
X yönü devrilme kontrolü	49121.25 / 159093.88 = **0.031** < 0.5	✓
Y yönü devrilme kontrolü	49255.56 / 111682.81 = **0.044** < 0.5	✓

3.5. Dinamik Analiz Giriş Bilgileri Raporu



Şekil 57. TBDY 2018 Spektrum Eğrisi

Tablo 23. Periyot - S(T)

Periyot [s]	S(T)		Periyot [s]	S(T)
0.10	0.44		1.00	0.35
0.20	1.11		1.10	0.32
0.30	1.11		1.20	0.30
0.40	1.00		1.50	0.25
0.50	0.79		2.00	0.23
0.60	0.68		3.00	0.21
0.70	0.50		5.00	0.20
0.80	0.43		8.00	0.19
0.90	0.39		1.90	0.18

Tablo 24. Deprem Parametreleri – X/Y Yönü

Deprem Parametreleri – X Yönü		
Açıklama	**Simge**	**Değer**
Sönüm oranı	ξ	5%
Hareketli yükler dahil yapı toplam ağırlığı	W	53340.67
Yapı toplam serbest kütlesi	m	5439.23
Yapı yüksekliği (Rijit bodrum varsa o kattan ölçülen yükseklik)	Hn	16.00
Madde 4.7.3.2 kontrolü için ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı	Ct	0.10
Madde 4.7.3.2 kontrolü için ampirik olarak hesaplanan doğal titreşim periyodu	TpA	0.80
Eşdeğer deprem yükü yöntemi için hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu	Tp′ (X)	0.77
Eşdeğer deprem yükü yöntemi için kullanılan hâkim doğal titreşim periyodu (Madde 4.7.3.2)	Tp (X)	0.77
X yönünde, yapı tepesinde uygulanan ekstra eşdeğer deprem yükü	ΔFn (X)	136.27
X yönünde uygulanan toplam eşdeğer deprem yükü	VtE (X)	4542.33
X yönünde uygulanan toplam deprem yükü (modal kombinasyon)	Vt (X)	4093.93
Bina önem katsayısı	I	1.50
X yönü için VtE/Vt oranı	VtE/Vt (X)	1.11

Hesaplanan büyüklüklere ilişkin alt sınır değeri	γ	0.80
X yönü için deprem kuvvetleri büyütme katsayısı	γ·VtE/Vt (X)	1.00

Deprem Parametreleri – Y Yönü		
Açıklama	**Simge**	**Değer**
Sönüm oranı	ξ	5%
Hareketli yükler dahil yapı toplam ağırlığı	W	53340.67
Yapı toplam serbest kütlesi	m	5439.23
Yapı yüksekliği (Rijit bodrum varsa o kattan ölçülen yükseklik)	Hn	16.00
Madde 4.7.3.2 kontrolü için ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı	Ct	0.10
Madde 4.7.3.2 kontrolü için ampirik olarak hesaplanan doğal titreşim periyodu	TpA	0.80
Eşdeğer deprem yükü yöntemi için hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu	Tp′ (Y)	0.78
Eşdeğer deprem yükü yöntemi için kullanılan hâkim doğal titreşim periyodu (Madde 4.7.3.2)	Tp (Y)	0.78
Y yönünde, yapı tepesinde uygulanan ekstra eşdeğer deprem yükü	ΔFn (Y)	135.83
Y yönünde uygulanan toplam eşdeğer deprem yükü	VtE (Y)	4527.83
Y yönünde uygulanan toplam deprem yükü (modal kombinasyon)	Vt (Y)	4105.36
Bina önem katsayısı	I	1.50
Y yönü için VtE/Vt oranı	VtE/Vt (Y)	1.10
Hesaplanan büyüklüklere ilişkin alt sınır değeri	γ	0.80
Y yönü için deprem kuvvetleri büyütme katsayısı	γ·VtE/Vt (Y)	1.00

3.6. Modal Analiz Raporu

Dinamik analizde mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır.

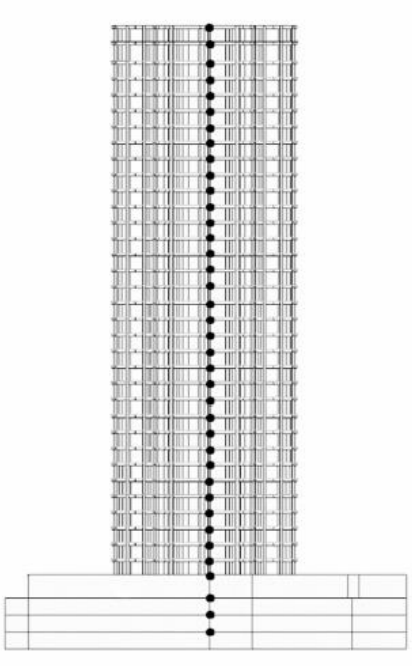
Modal’ : Yarı rijit diyafram çözümü ile taşıyıcı sistemin tümü dikkate alınarak yapılan dinamik analiz sonuçlarıdır.

Modal : Tam rijit diyafram çözümü ile taşıyıcı sistemin tümü dikkate alınarak yapılan dinamik analiz sonuçlarıdır.

!Modal' : Kirişsiz döşemeli binalarda, kolonların iki ucunun mafsallı olduğu ve yarı rijit diyafram çözümü ile taşıyıcı sistemin tümü dikkate alınarak yapılan dinamik analiz sonuçlarıdır.

!Modal : Kirişsiz döşemeli binalarda, kolonların iki ucunun mafsallı olduğu ve tam rijit diyafram çözümü ile taşıyıcı sistemin tümü dikkate alınarak yapılan dinamik analiz sonuçlarıdır.

Not: Tüm Modal analizlerde bodrumlu binalarda üst bölüm ve alt bölüm kütlelerinin tümü birlikte göz önüne alınır.



Şekil 58. Tüm Modal analizlerde bodrumlu binalarda üst bölüm ve alt bölüm kütlelerinin tümü birlikte göz önüne alınır.

3.7. TBDY Madde 4.3.6.2 (b) Kontrolü

$R_{alt} < R_{üst}$ olan rijit bodrumlu binalarda, bütün titreşim modları için, daima daha elverişsiz sonuç veren $v_{n,üst} = 0$ varsayımı yapılabilir. Bu durumda, alt bölüm için n'inci modda aşağıdaki birleştirmeler yapılmaktadır.
Bodrumlar için $D_{alt} = 1.5$ alınmaktadır.

Tablo 25. Serbestlik Derecelerinde Doğal Kütleler

Ux [t]	Uy [t]	Uz [t]	Rx [tm²]	Ry [tm²]	Rz [tm²]
5439.23423	5439.23423	0	0	0	1139604.80116

Tablo 26. Modal Periyot ve Frekansları

Modal Periyot ve Frekansları				
Mod	Periyot [s]	Frekans [Hz]	Açısal Frek. [°/s]	Eigen Değ. [°²/s²]
1	0.77531	128.980	81.041	65.676
2	0.77284	129.391	81.300	66.097
3	0.69639	143.598	90.225	81.405
4	0.22565	443.107	278.444	775.313
5	0.22487	444.707	279.418	780.743
6	0.20494	487.960	306.594	939.999

Modal Kütleler							
Mod	Periyot [s]	Ux [t]	Uy [t]	Uz [t]	Rx [tm²]	Ry [tm²]	Rz [tm²]
1	0.77531	75.43281	4331.91404	0	0	0	2810.81934
2	0.77284	4286.30626	81.92966	0	0	0	11724.04433
3	0.69639	63.45322	9.64996	0	0	0	911834.23434
4	0.22565	7.97629	16.18953	0	0	0	456.18946
5	0.22487	755.43759	8.85471	0	0	0	2132.73858
6	0.20494	10.68457	1.22442	0	0	0	158442.30736

Tablo 27 Modal Kütle Katılım Oranları

Mod	Periyot [s]	Ux	Uy	Uz	Top Ux	Top Uy	Rz	Top Rx	Top Ry	Top Rz
1	0.77531	0.01387	0.79642	0	0.01387	0.79642	0.00247	0	0	0.00247
2	0.77284	0.78803	0.01506	0	0.8019	0.81148	0.01029	0	0	0.01275
3	0.69639	0.01167	0.00128	0	0.81357	0.81276	0.80013	0	0	0.81289
4	0.22565	0.00147	0.14086	0	0.81504	0.95362	0.00187	0	0	0.81329
5	0.22487	0.13889	0.00163	0	0.95392	0.95525	0	0	0	0.81516
6	0.20494	0.00196	0.00023	0	0.95589	0.95548	0.13903	0	0	0.95419

Tablo 28 Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabı – (Modal)

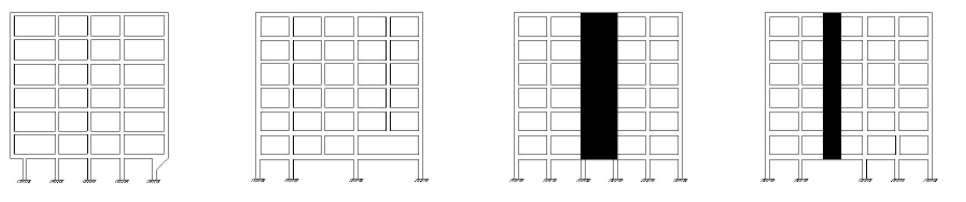
Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabı – (Modal)							
Deprem Parametreleri	Birim	1. Mod (UY)	2. Mod (UX)	3. Mod (RZ)	4. Mod (UY)	5. Mod (UX)	6. Mod (RZ)
Serbest Titreşim Frekansı (w)	[Hz]	1.2898	1.2939	1.4360	4.4316	4.4471	4.8796
Doğal Titreşim Periyodu (Tr)	[s]	0.7753	0.7728	0.6964	0.2257	0.2249	0.2049
Spektrum Katsayısı S(T)		0.4527	0.452	0.5040	1.1076	1.1076	1.1076
Deprem Yükü Azaltma Katsayısı Ra(T)		5.3333	5.3333	5.3333	4.6615	4.6557	4.5089
Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi Sae(T)	[m/s²]	0.4527	0.452	0.5040	1.1076	1.1076	1.1076
Modal Katkı Çarpanı – X	[t]	–8.6852	65.4699	–7.9658	–2.8242	27.4852	–3.2687
Modal Katkı Çarpanı – Y	[t]	65.8173	9.0515	2.6361	27.6801	2.9757	1.1066
Modal Katkı Çarpanı – R	[tm²]	–53.0172	108.2776	954.9001	–21.3586	46.1816	398.0481
Modal Etkin Kütle – X	[t]	75.4328	4286.3063	63.4532	7.9763	755.4376	10.6846
Modal Etkin Kütle – Y	[t]	4331.9140	81.9297	6.9490	766.1895	8.8547	1.2245
Modal Etkin Kütle – R	[tm²]	2810.8193	11724.0443	911834.2343	456.1895	2132.7386	158442.3074

Toplam Modal Kütle – X	[t]	75.4328	4361.7391	4425.1923	4433.1686	5188.6062	5199.2907
Toplam Modal Kütle – Y	[t]	4331.9140	4413.8437	4420.7927	5186.9822	5195.8369	5197.0614
Toplam Modal Kütle – R	[tm²]	2810.8193	14534.8637	926369.0980	926825.2875	928958.0260	1087400.3334
Toplam Modal Etkin Kütle Oranı – X	[%]	1.39%	80.19%	81.36%	81.5%	95.39%	95.59%
Toplam Modal Etkin Kütle Oranı – Y	[%]	79.64%	81.15%	81.28%	95.36%	95.53%	95.55%

Tablo 29. Titreşim Modu Sayısı Yeterlik Kontrolü

Açıklama	Değer	Durum
Yapı Toplam Kütlesi	5439.234 t	
Yapı Toplam Kütlesi (95%)	5167.273 t	
Taban Kesme Kuvveti Modal Etkin Kütlesi (X)	5199.291 t (%96)	Mod sayısı yeterli.
Taban Kesme Kuvveti Modal Etkin Kütlesi (Y)	5197.061 t (%96)	Mod sayısı yeterli.

3.8. Göreli Öteleme ve İkinci Mertebe Etkileri



Tablo 30. Göreli Öteleme

Göreli Öteleme		
Kat	**δi(max)/hi**	**Durum**
3. KAT	0.002 <= 0.008	✓
2. KAT	0.003 <= 0.008	✓
1. KAT	0.0035 <= 0.008	✓
ZEMİN KAT	0.0025 <= 0.008	✓

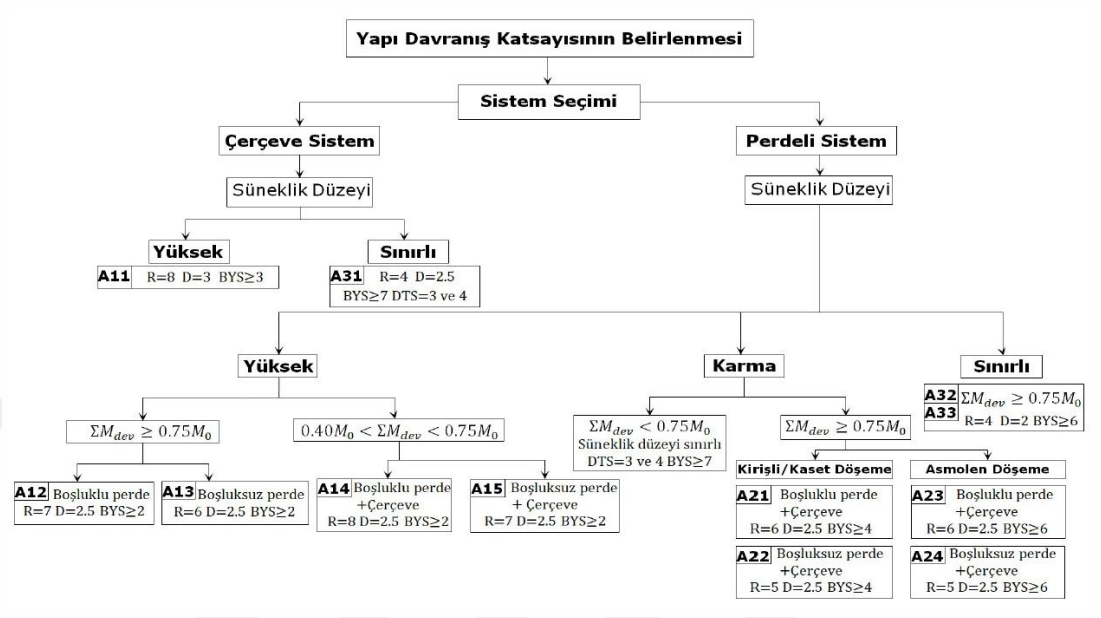
Tablo 31. İkinci Mertebe Etkileri

İkinci Mertebe Etkileri		
Kat	**θ**	**Koşul**
3. KAT	0.0065 <= 0.09	✓
2. KAT	0.0116 <= 0.09	✓
1. KAT	0.0159 <= 0.09	✓
ZEMİN KAT	0.0137 <= 0.09	✓

Tablo 32. Planda Düzensizlik Kontrolü

Planda Düzensizlik Kontrolü			
Kat	**A1(ηb)**	**A2**	**A3**
3. KAT	1.16 <= 1.2	Yok	Yok
2. KAT	1.16 <= 1.2	Yok	Yok
1. KAT	1.16 <= 1.2	Yok	Yok
ZEMİN KAT	1.16 <= 1.2	Yok	Yok

Dinamik yöntem kullanılarak hesaplar yapılmıstır. A1 ve B2 düzensizliginin önemi yoktur. (TBDY 2018 - 3.6.2.1)



Şekil 59. R Katsayısının Seçim Nedeni

Tablo 33. Bina Bilgileri

Parametre	**Değer**
Bina Sistemi	Betonarme
Döşeme Tipi	Kirişli ya da Kaset Döşeme
Diyafram Tipi	Rijit
Süneklik Düzeyi	Yüksek
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	6 (DTS = 1a ve Hn = 16.00 m için BYS = 6 seçilmiştir.)
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1a

Tablo 34. X Yönü R Katsayısı ve Sistem Seçimi

Parametre	Değer
Girilen R Katsayısı	8
Seçilen R Katsayısı	8

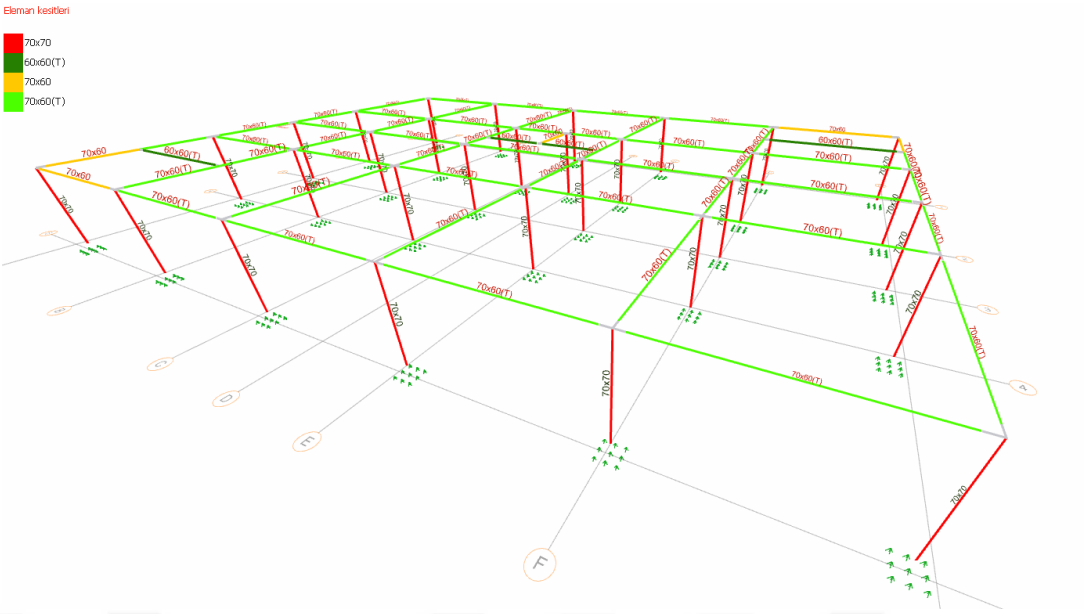
Taşıyıcı Sistem Tipi	Çerçeve sistem (A11) ✓
Bina Yükseklik Sınıfı Kontrolü	BYS ≥ 3 ✓
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	3
Rijit Bodrum	Yok

Tablo 35. Y Yönü R Katsayısı ve Sistem Seçimi

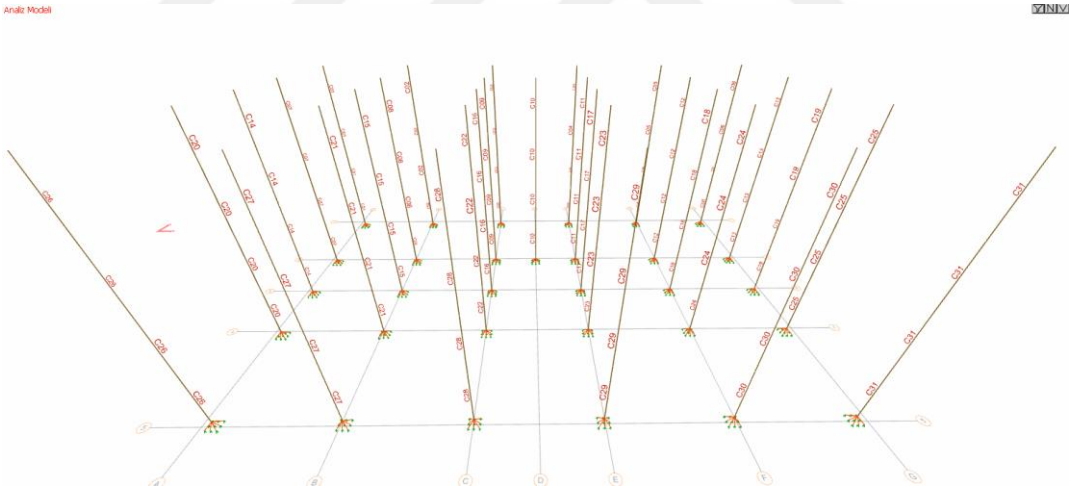
Parametre	Değer
Girilen R Katsayısı	8
Seçilen R Katsayısı	8
Taşıyıcı Sistem Tipi	Çerçeve sistem (A11) ✓
Bina Yükseklik Sınıfı Kontrolü	BYS ≥ 3 ✓
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	3
Rijit Bodrum	Yok

Tablo 36. R Katsayısı ve Hesap Yönteminin Seçim Nedeni

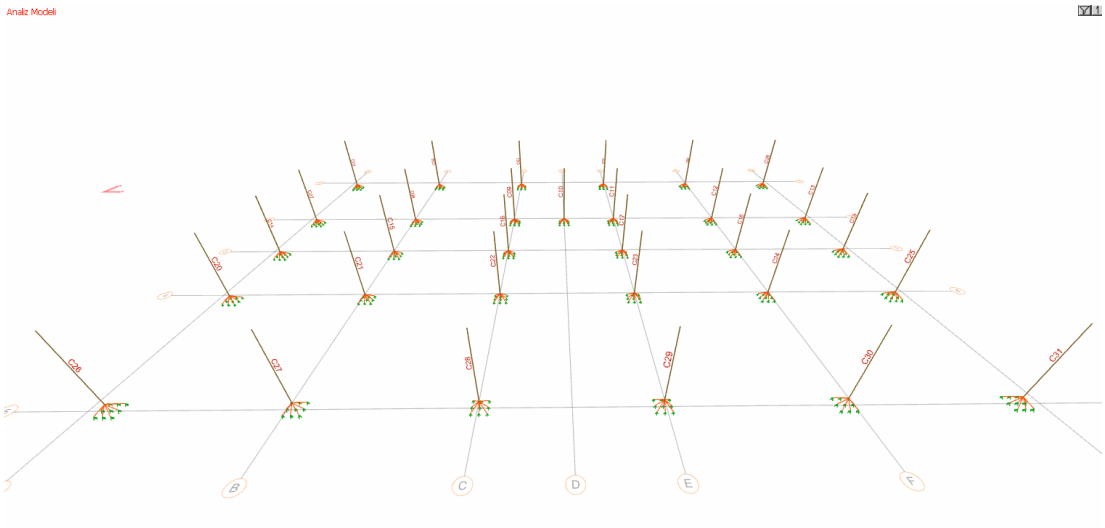
Parametre	**Değer**
Bina Toplam Yüksekliği	16.00 m
A1 Düzensizliği	Yok
$\eta^{ci(min)}$	1
B1 Düzensizliği	Yok
B2 Düzensizliği	Yok
Kullanılan Hesap Yöntemi	Tepki Spektrumu



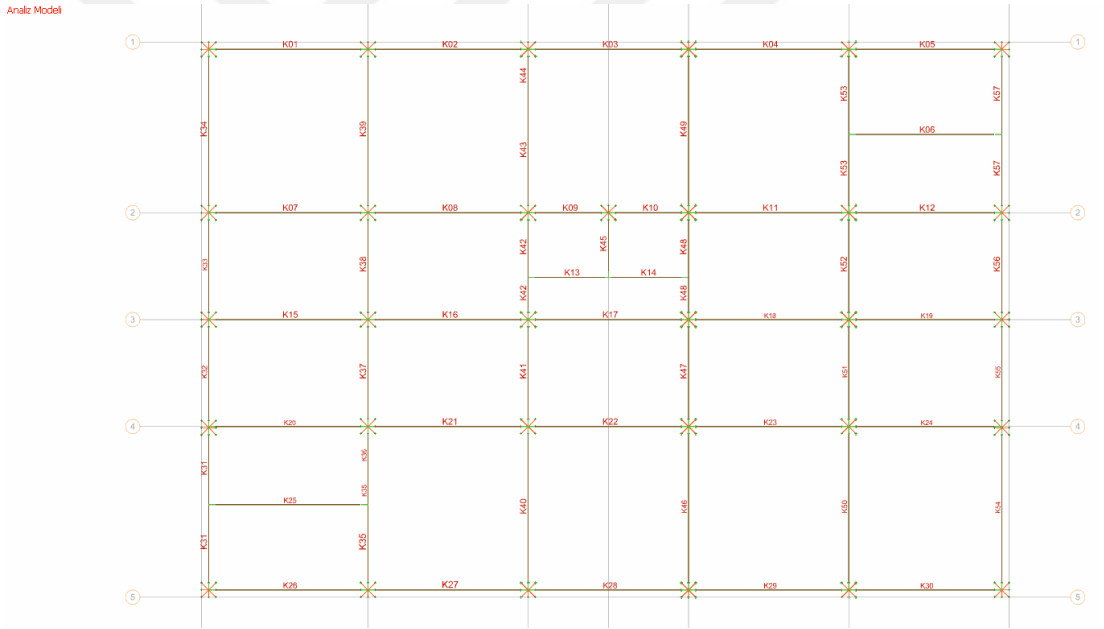
Şekil 60. Eleman Kesitleri



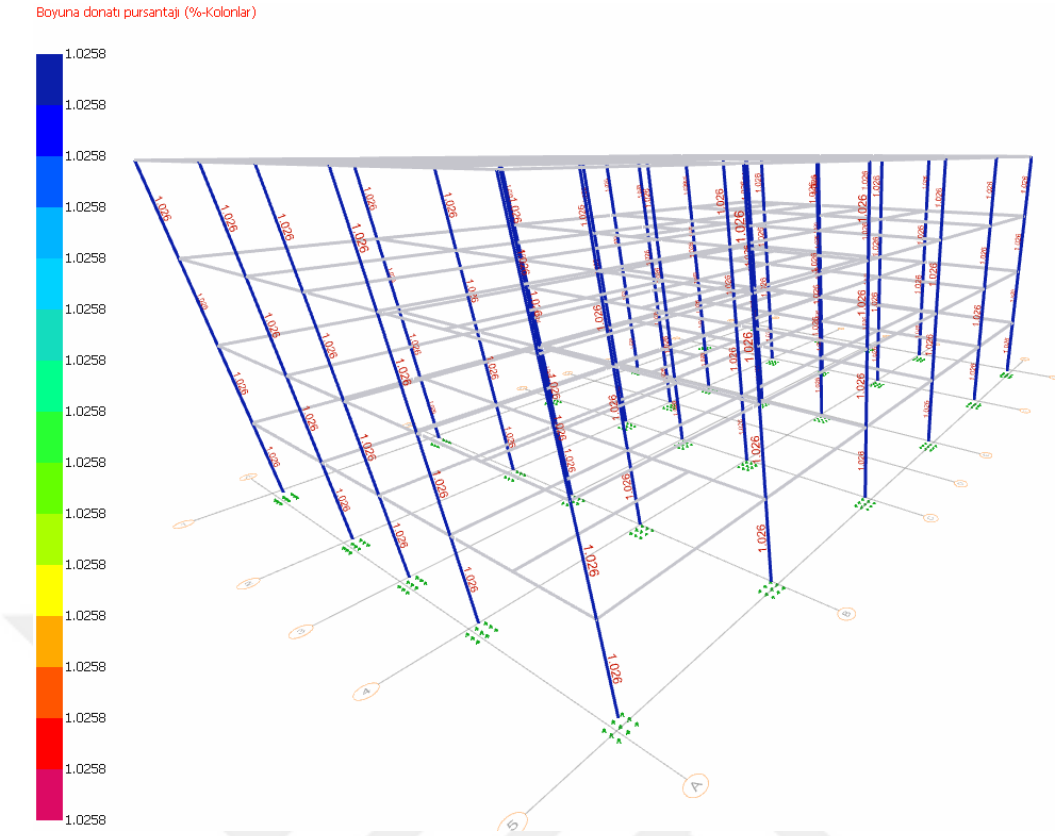
Şekil 61. Kolon Analiz modeli



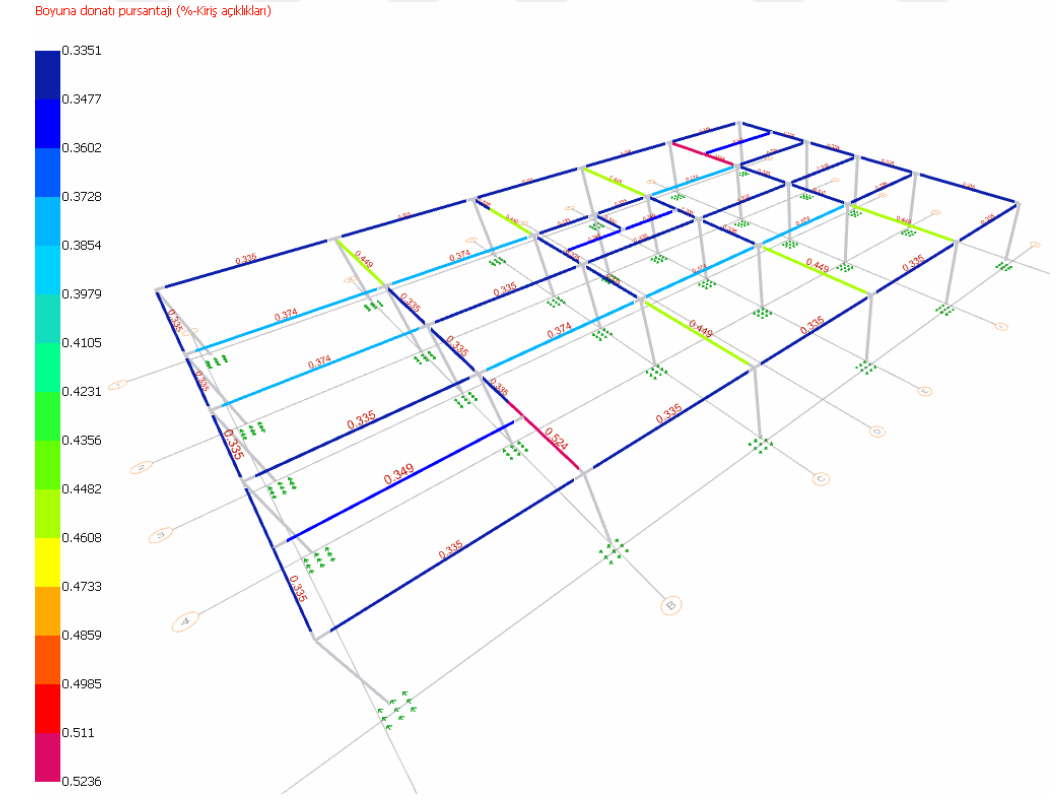
Şekil 62. Kolon Analiz modeli Tek Kat



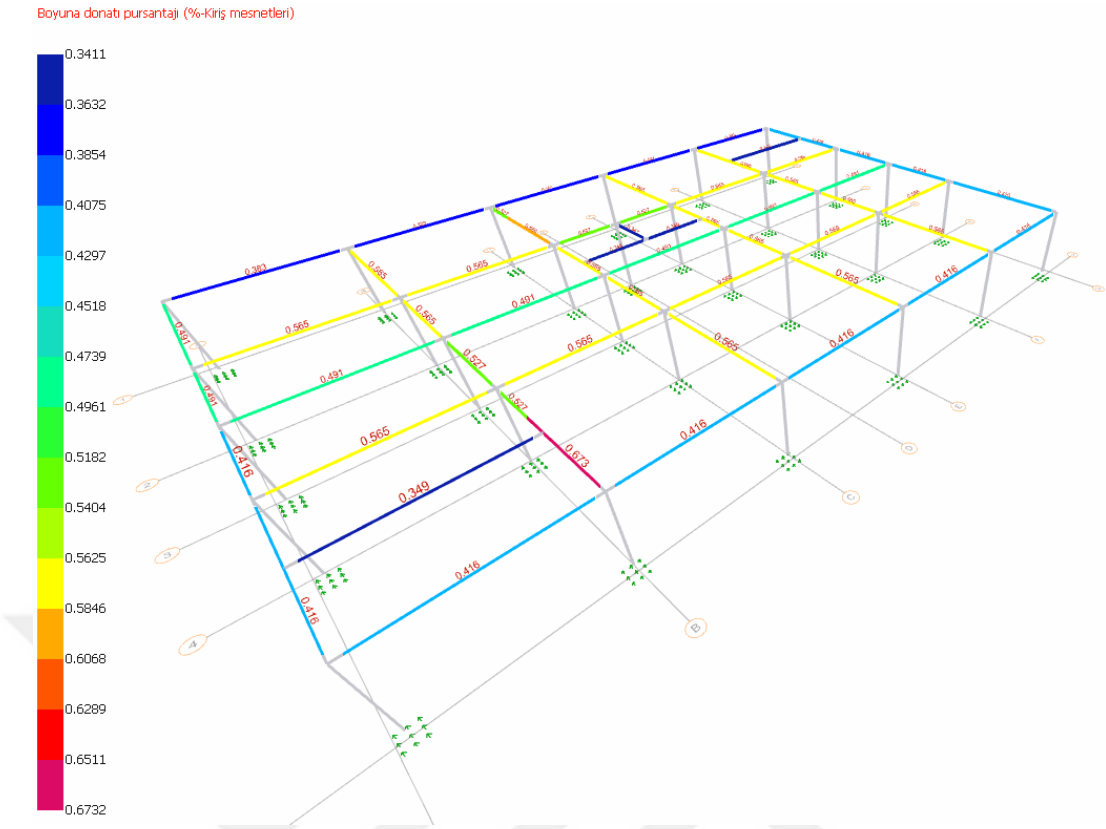
Şekil 63. Kiriş Eleman İsimleri



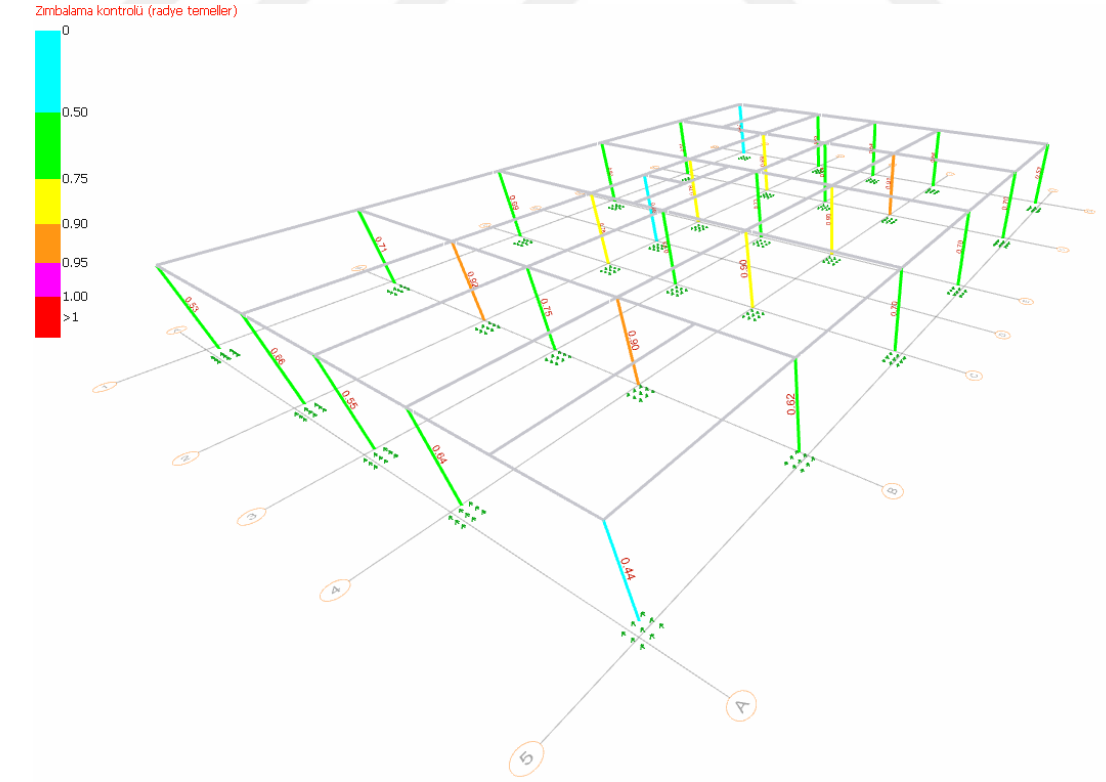
Şekil 64. Boyuna Donatı Pursantajı



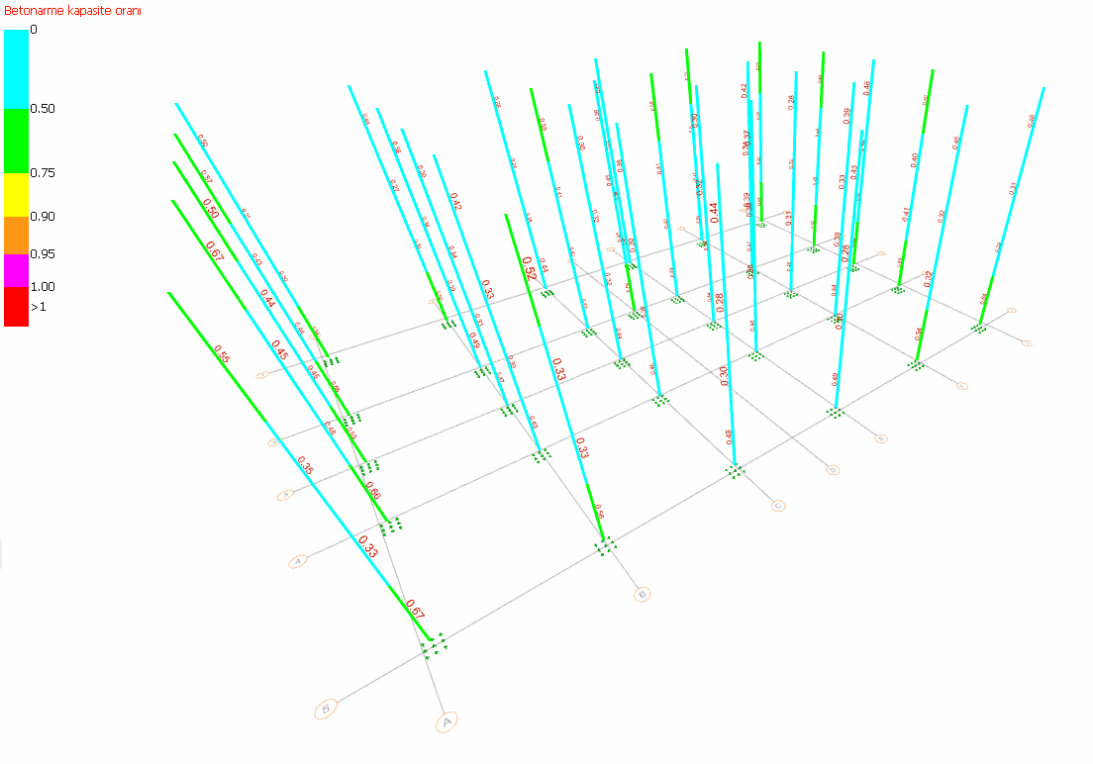
Şekil 65. Kiriş Boyuna Donatı Pursantajı (Açıklık)



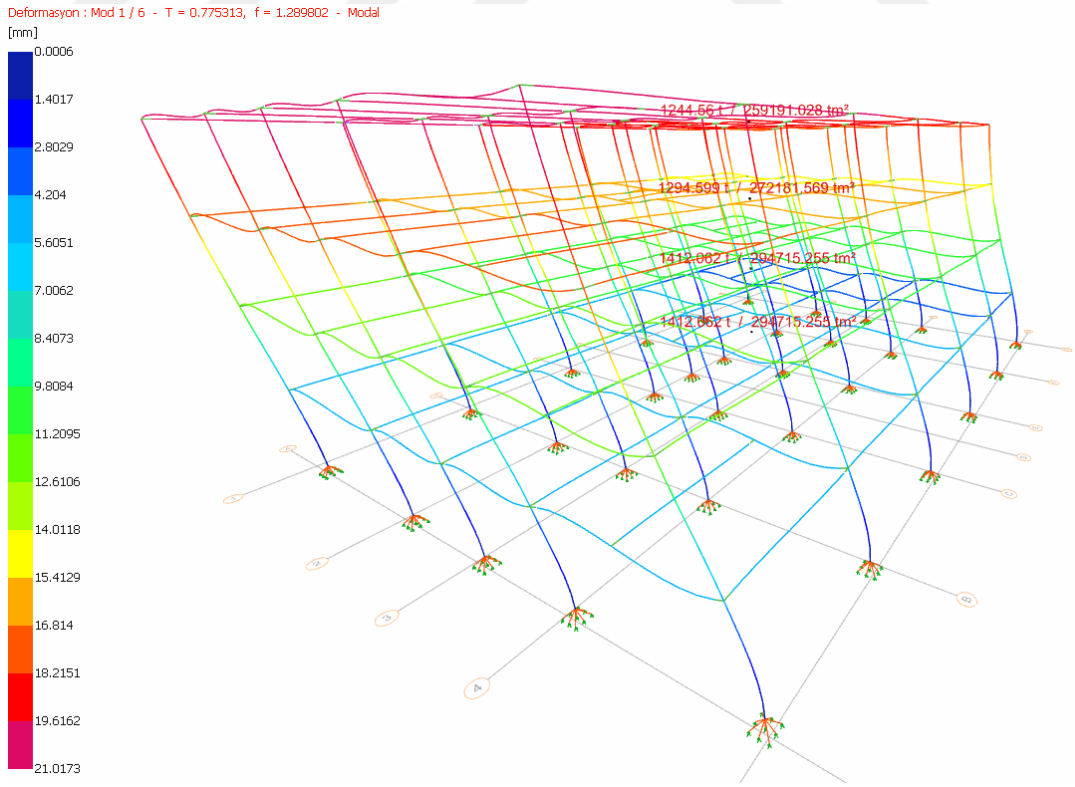
Şekil 66. Boyuna Donatı Pursantajı (Mesnetlerde)



Şekil 67. Zımbalama Kontrolü



Şekil 68. Betonarme Kolon Kapasite Oranı



Şekil 69. Deformasyon Mod1/6 (y)

Modellenen yapıya ait mimari ve taşıyıcı sistem özellikleri, Şekil 52–56 arasında detaylandırılmış olup, yapı perspektifi (Şekil 52), tipik kesit görünüşleri (Şekil 53–54) ve kat planlarına ait kalıp çizimleri (Şekil 55–56) görsel olarak sunulmuştur. Bu şekiller, taşıyıcı sistem elemanlarının yerleşimini ve yapının genel geometrik konfigürasyonunu tanımlamak açısından temel öneme sahiptir.

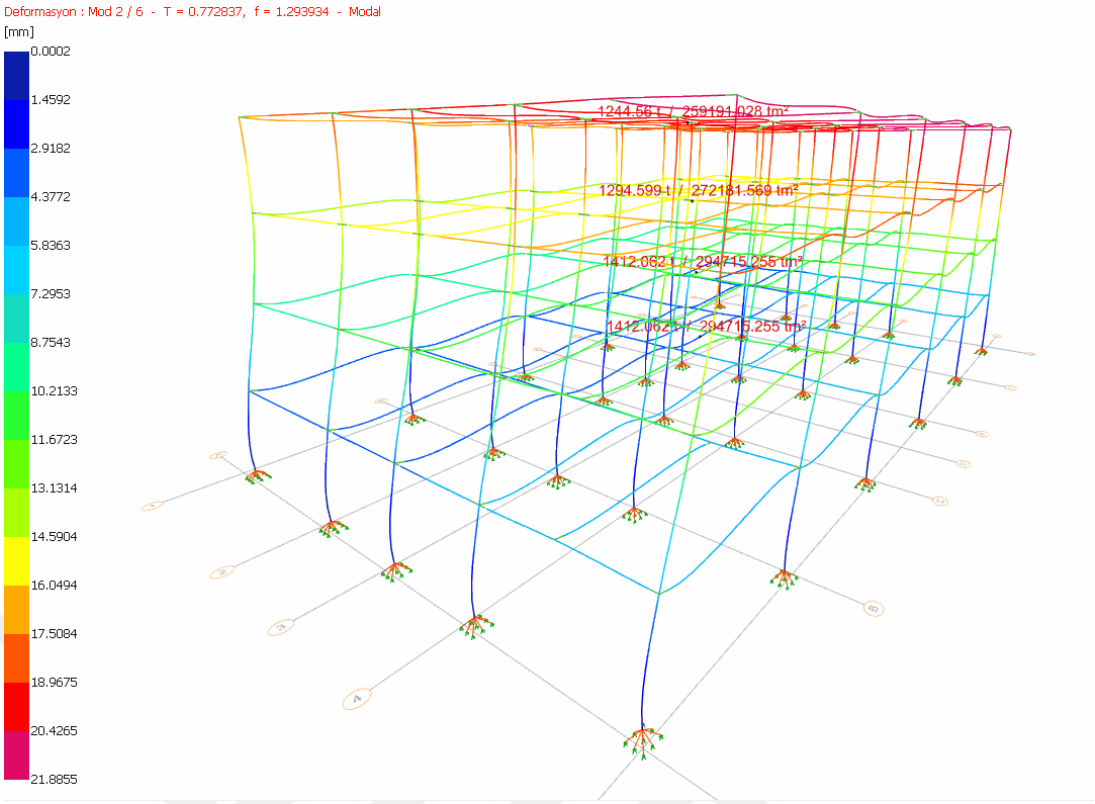
Şekil 57'de, TBDY 2018'e uygun şekilde tanımlanan tasarım spektrumu eğrisi gösterilmiştir. Devamında, yapı sisteminin dinamik analizlerinde dikkate alınan mod şekillerine ilişkin bilgiler Şekil 58–60 arasında verilmiştir. Özellikle Şekil 58, bodrumlu binalarda üst bölüm ve alt bölüm kütlelerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgularken, Şekil 59 R katsayısının seçim gerekçesini grafiksel olarak açıklamaktadır. Şekil 60 ise yapının eleman kesitlerinin tiplerini ve boyutlarını göstermektedir.

Yapıya ait kolon ve kiriş sistemlerinin analiz modelleri Şekil 61–63 arasında yer almakta; Şekil 61–62 kolon analiz modelinin tüm katlar ve tek kat düzeyindeki detaylarını sunarken, Şekil 63'te kirişlerin isimlendirme sistemi ve boyutları açıklanmıştır.

Şekil 64–66 arası, kiriş ve kolonlarda kullanılan boyuna donatı oranlarının açıklık ve mesnet bölgeleri için ayrı ayrı analiz edildiği grafikler sunmaktadır. Bu oranların dağılımı, hem kapasite değerlendirmesi hem de yönetmelik uyumu açısından değerlendirilmiştir. Ardından, Şekil 67–68'de zımbalama kontrolleri ve betonarme kolon kapasite oranları görselleştirilmiş; bu kontroller, temelde ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde güvenliğin sağlanması açısından kritik rol oynamaktadır.

Yapının mod şekillerine ilişkin deformasyon grafikleri Şekil 69–71 arasında yer almaktadır. Bu kapsamda, Mod 1/6 (yönü) (Şekil 69), Mod 2/6 (x yönü) (Şekil 70) ve Mod 3/6 (burulma etkisi) (Şekil 71) analiz edilmiştir. Bu şekiller, yapının doğal titreşim davranışını belirleyen temel modları ortaya koymakta ve modal analiz sonuçlarının görsel ifadesini sağlamaktadır.

Bu kapsamlı şekil grubu, modelin fiziksel ve analitik boyutta nasıl kurulduğunu ayrıntılı şekilde göstererek, yapı davranışının hem geometrik hem de dinamik yönleriyle değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.



Şekil 70. Deformasyon Mod2/6 (x)

Yapının taşıyıcı sistemine ait donatı detayları, kapasite oranları ve performans değerlendirmesiyle ilgili analiz çıktıları, Şekil 72–108 aralığında kapsamlı bir şekilde sunulmuştur. Öncelikle Şekil 72'de genel boyuna donatı oranlarının tüm sistem üzerinde dağılımı verilirken, Şekil 73–74'te bu oranlar kiriş açıklıkları ve mesnet bölgeleri özelinde ayrı ayrı analiz edilmiştir. Donatı kullanımındaki verimlilik ve yönetmelik limitleri bu grafiklerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Şekil 75, taşıyıcı sistemde kesit yetersizliği gözlemlenen elemanları göstermekte, Şekil 76 ise belirli elemanlarda donatı alanı açısından oluşan eksiklikleri işaret etmektedir. Bununla bağlantılı olarak, Şekil 77'de sehime ilişkin sınır değerlerin aşıldığı bölgeler tespit edilmiştir. Aynı şekilde, Şekil 78 maksimum donatı oranının aşıldığı elemanları grafiksel biçimde ifade etmekte, Şekil 79 ise kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki güvenli olmayan durumları göz önüne sermektedir.

Şekil 80, radye temelde yapılan zımbalama kontrolüne ilişkin grafiksel değerlendirmeyi sunarken, Şekil 81'de betonarme kapasite oranlarının genel yapıya dağılımı gösterilmiştir. Kesit tesirlerine ilişkin ayrıntılar ise Şekil 82–85 arasında yer almakta olup; bu kapsamda X yönü kesme kuvvetleri (Şekil 82), Y yönü kesme

kuvvetleri (Şekil 83) ve ilgili moment bileşenleri (M3: Şekil 84, M2: Şekil 85) ayrı ayrı görselleştirilmiştir.

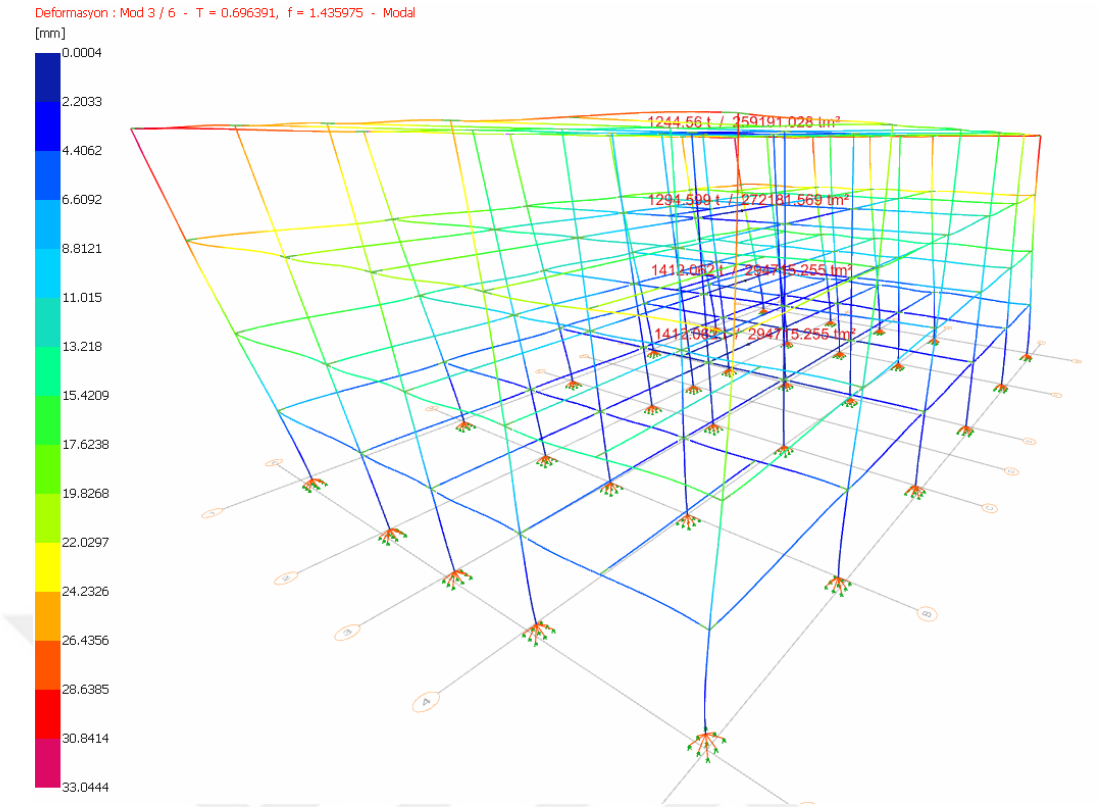
Yapıda kullanılan donatının açılım ve metraj detayları, Şekil 86–91 arasında sunulmuştur. Bu kapsamda kolon donatı açılımları (Şekil 86) ve metrajı (Şekil 87), kirişlere ait açılımlar ise üç ayrı planda sırasıyla Şekil 88, Şekil 89 ve Şekil 90'da yer almaktadır. Ayrıca zemin kata ait kiriş donatı düzeni Şekil 91, radye temele ait donatı yerleşimi ise Şekil 92 ile ifade edilmiştir.

İzolatörlü sistemin yapıya entegrasyonunu desteklemek amacıyla, Şekil 93'te izolatörün geometrik özellikleri sunulmuştur. Kolon kapasite oranlarının katlara göre karşılaştırmalı dağılımı Şekil 94'te gösterilirken, izolatörlü durumda gözlemlenen yetersizliklerin grafiksel kontrolü Şekil 95'te yer almaktadır. Ardışık modlara ilişkin deformasyon grafikleri ise Şekil 96 (Mod 1/15) ve Şekil 97 (Mod 2/15)'de sunularak yapının ileri mod davranışı ortaya konmuştur.

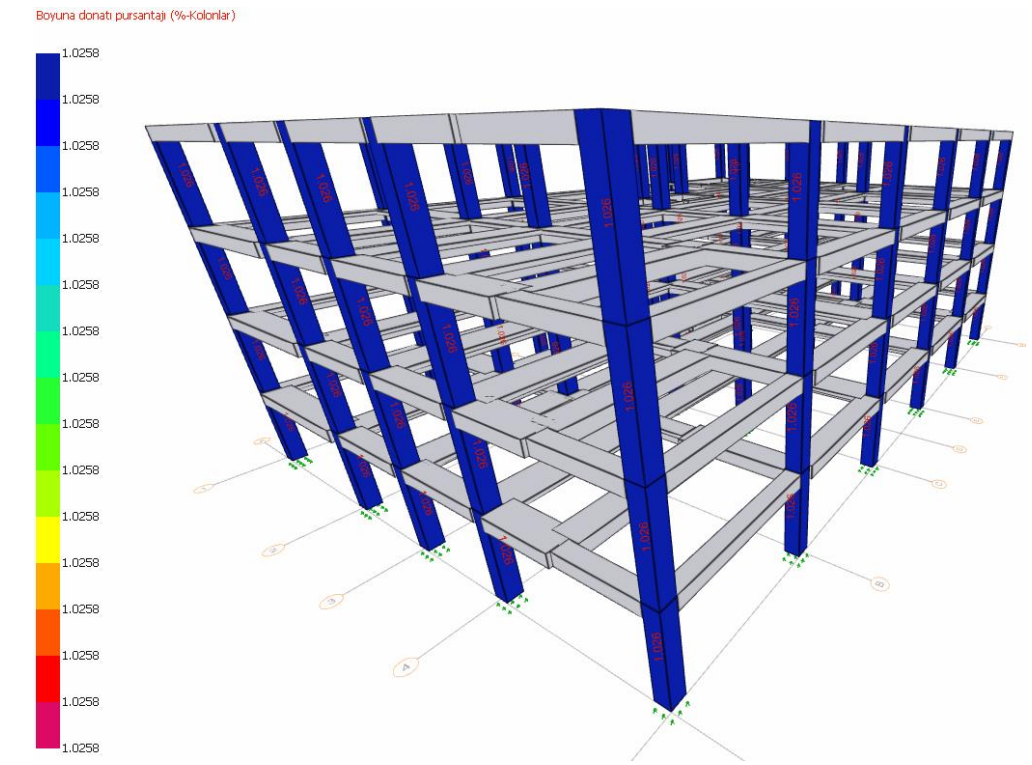
Dışmerkezli tepki spektrumu analizine dair deformasyon değerlendirmeleri, Şekil 98–99 arasında verilmiş olup; X yönü (Ex) için Şekil 98, Y yönü (Ey) için ise Şekil 99 kullanılmıştır. Bu analizler, asimetrik davranış riskinin değerlendirilmesinde temel veri sunmaktadır.

Ağır yük kombinasyonlarına ait kesit tesirleri Şekil 100'de (G+Q etkisi altında F1), kolonlar için boyuna donatı oranı Şekil 101, kiriş açıklıkları ve mesnetleri için ise sırasıyla Şekil 102 ve Şekil 103'te gösterilmiştir. Yapının genel betonarme kapasite dağılımı Şekil 104'te özetlenirken, Şekil 105 zımbalama kontrolünün temel düzeyindeki sonuçlarını grafiksel olarak yansıtmaktadır.

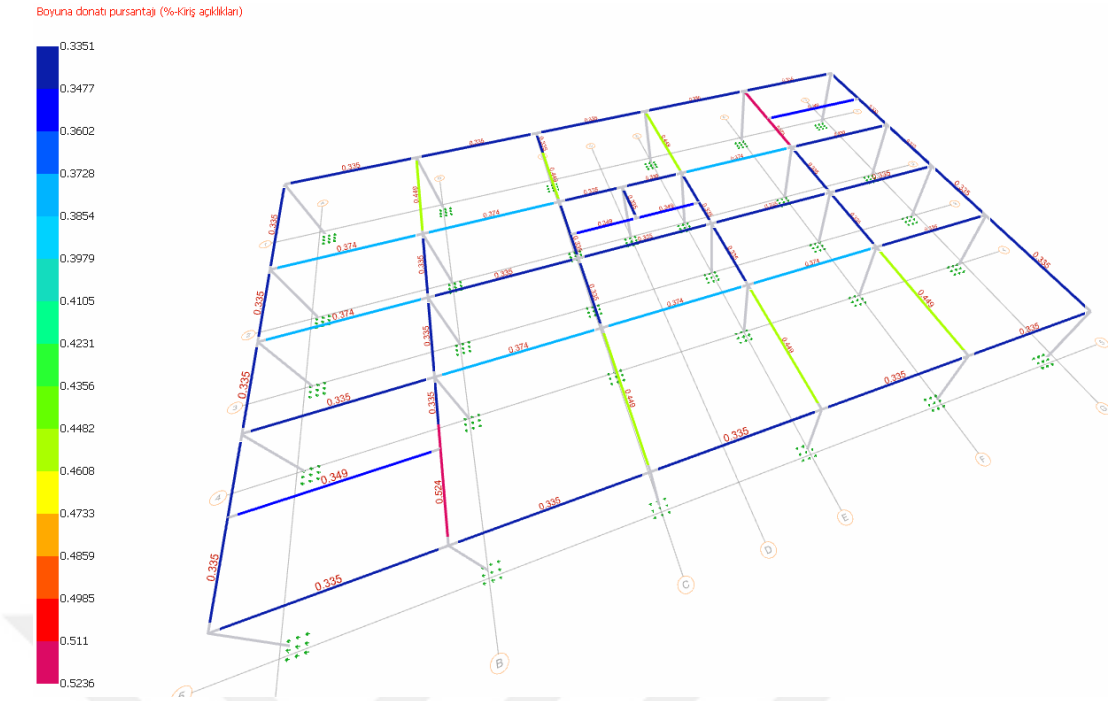
Son olarak, izolatörlü ve izolatörsüz sistemlerin yapısal davranış farklarını karşılaştırmalı biçimde gösteren grafikler Şekil 106–108 arasında sunulmuştur. Bu kapsamda, temel üstü donatı kıyaslaması Şekil 106, radye temel karşılaştırması Şekil 107, ve toplam donatı miktarı analizi Şekil 108'de verilmiş, izolatör uygulamasının hem yapısal hem de ekonomik etkileri sayısal ve görsel olarak değerlendirilmiştir.



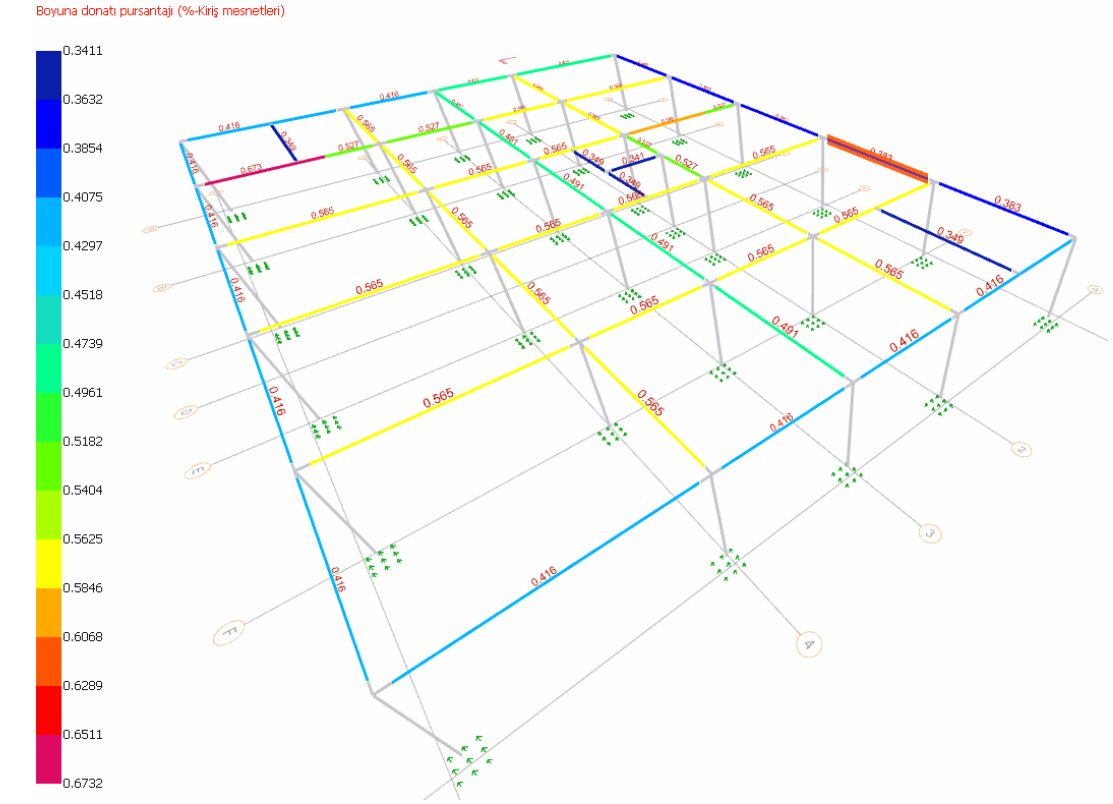
Şekil 71. Deformasyon Mod3/6 (burulma)



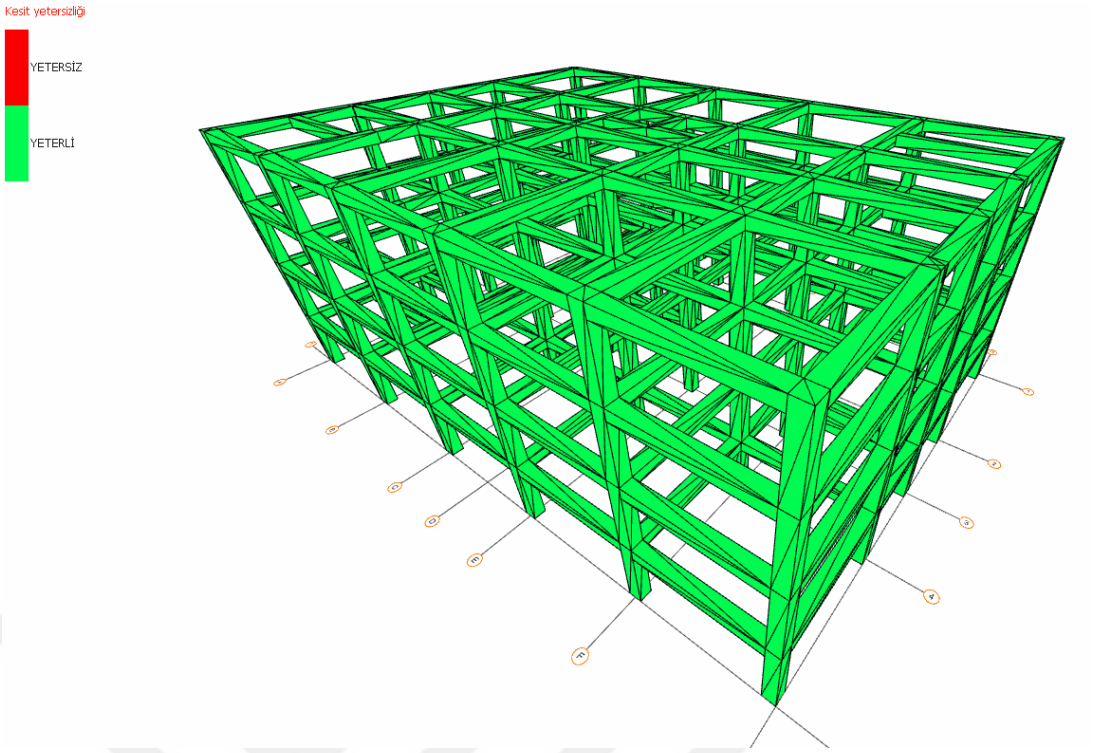
Şekil 72. Boyuna Donatı Pursantajı



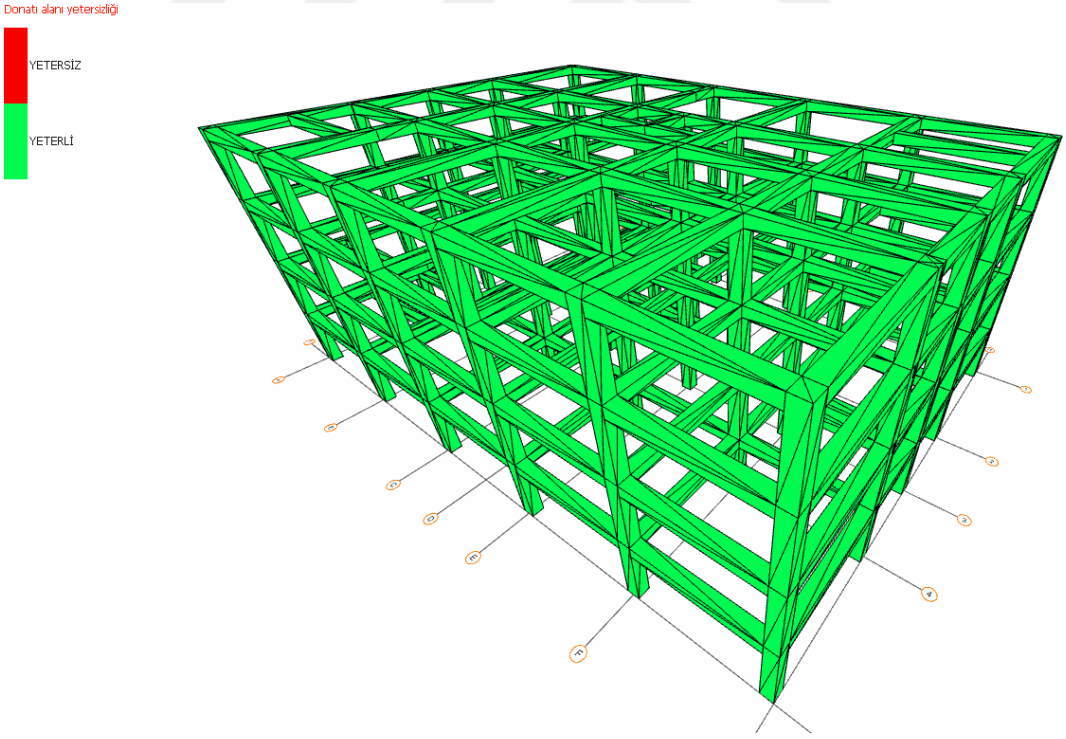
Şekil 73. Boyuna Donatı Pursantajı (kirişler/açıklık)



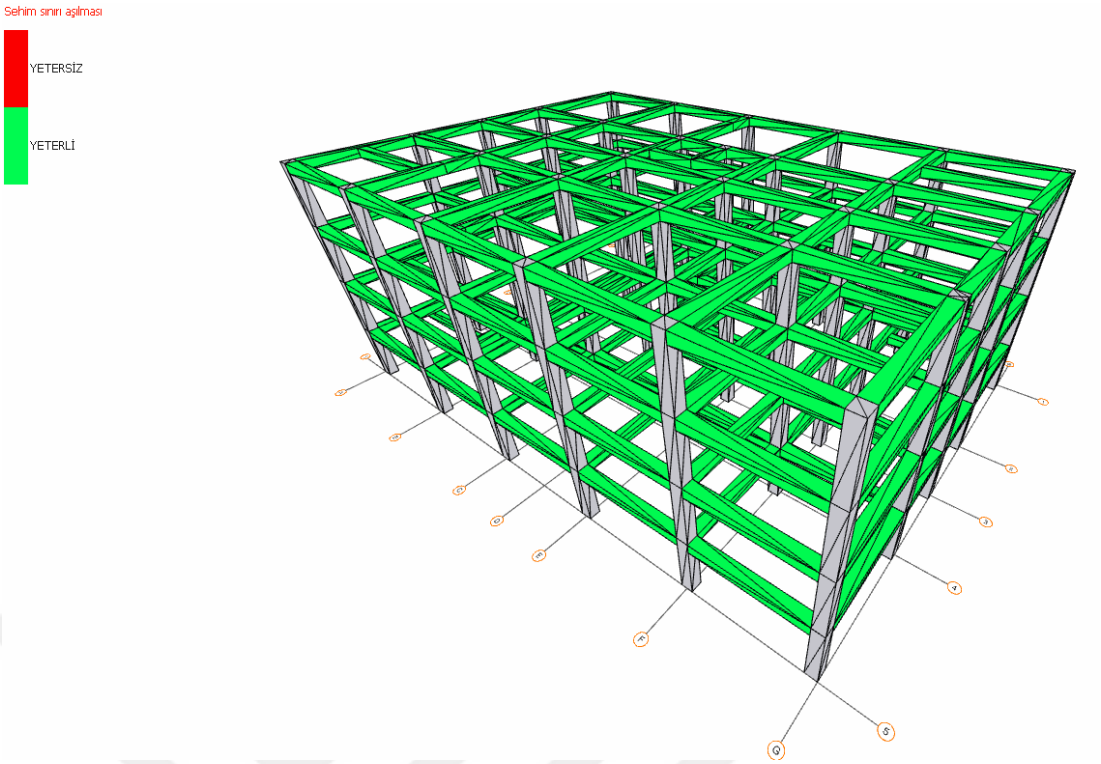
Şekil 74. Boyuna Donatı Pursantajı (kirişler/mesnet)



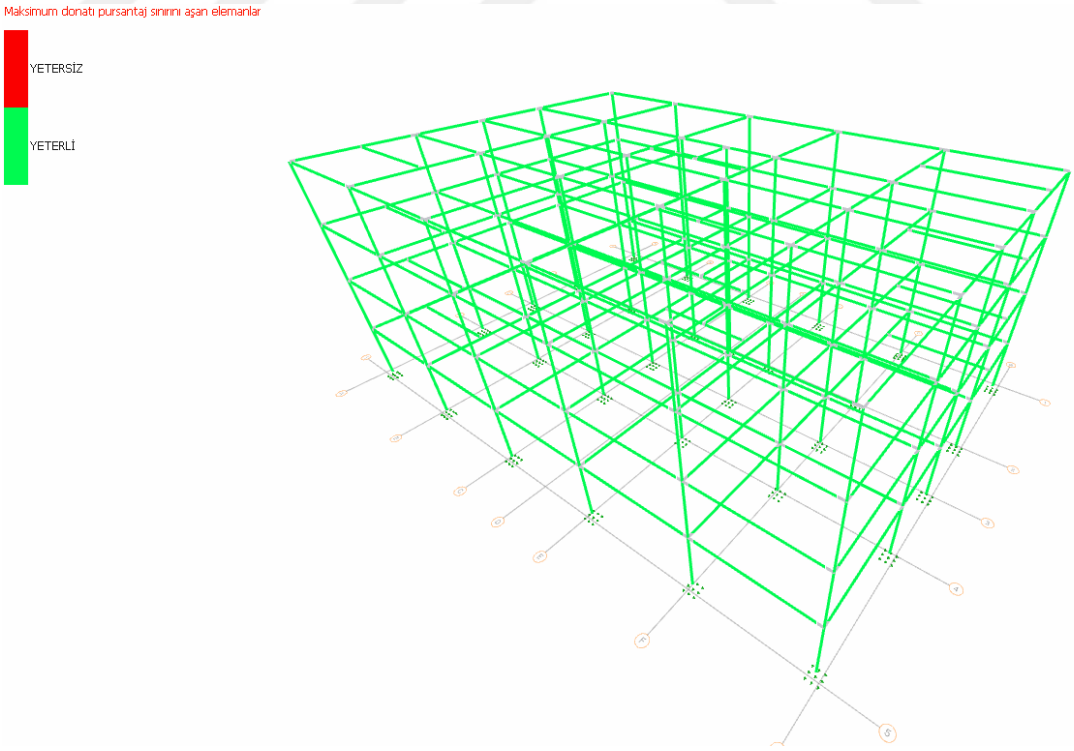
Şekil 75. Kesit Yetersizliği



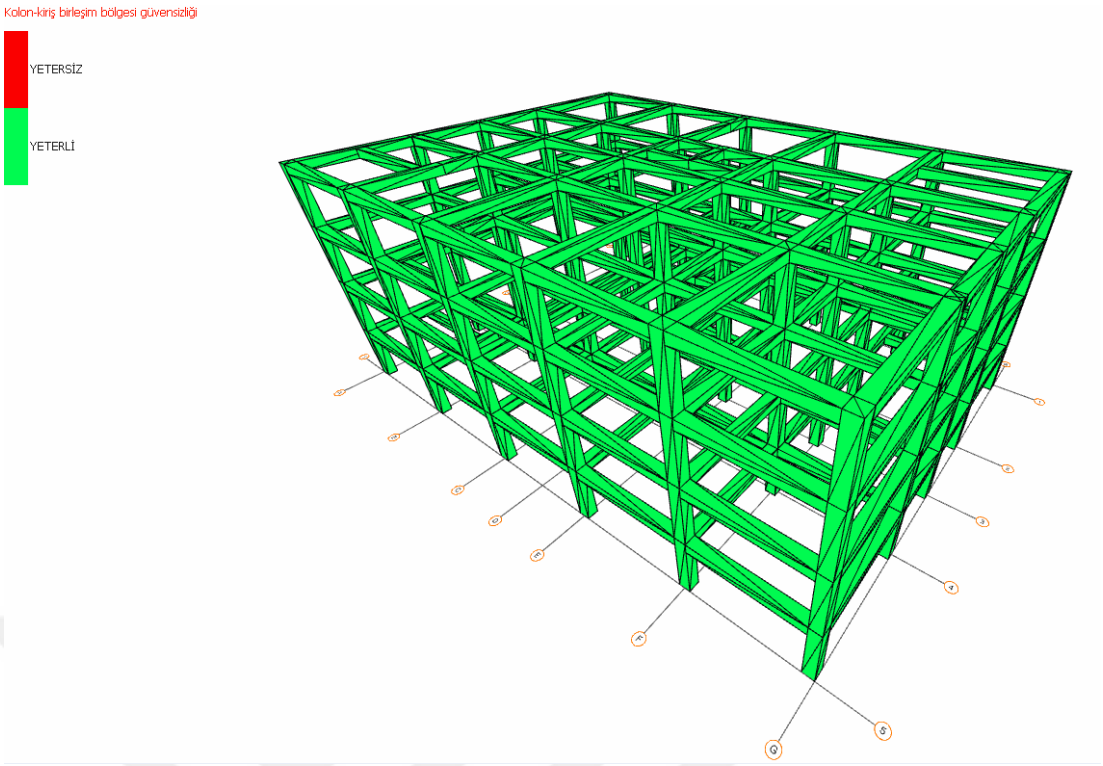
Şekil 76. Donatı Alanı Yetersizliği



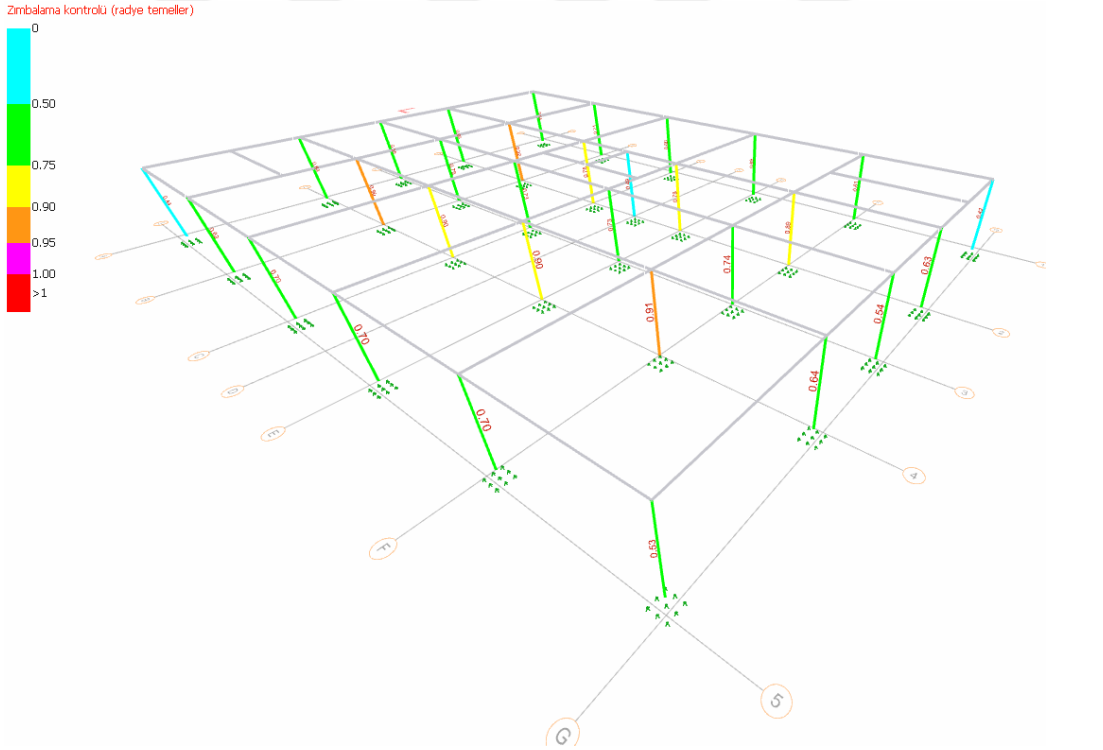
Şekil 77. Sehim Sınırı Aşılması



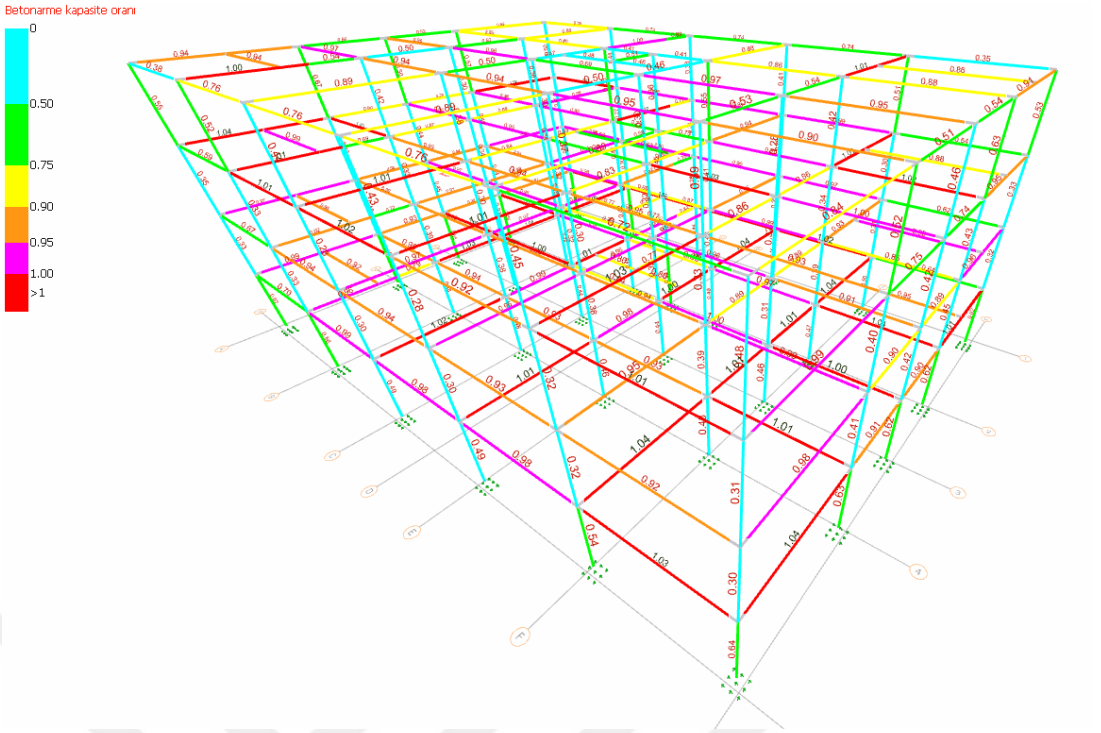
Şekil 78. Maksimum Donatı Pursantaj Sınırı Aşan Elemanlar



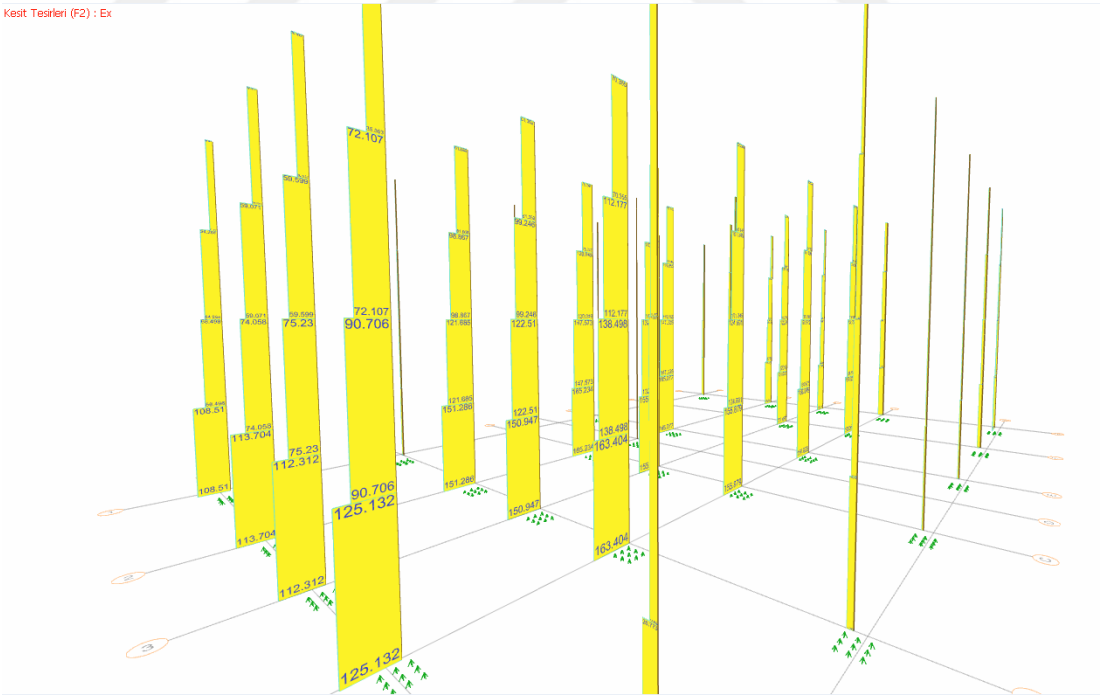
Şekil 79. Kolon-Kiriş bölgesi Güvensizliği



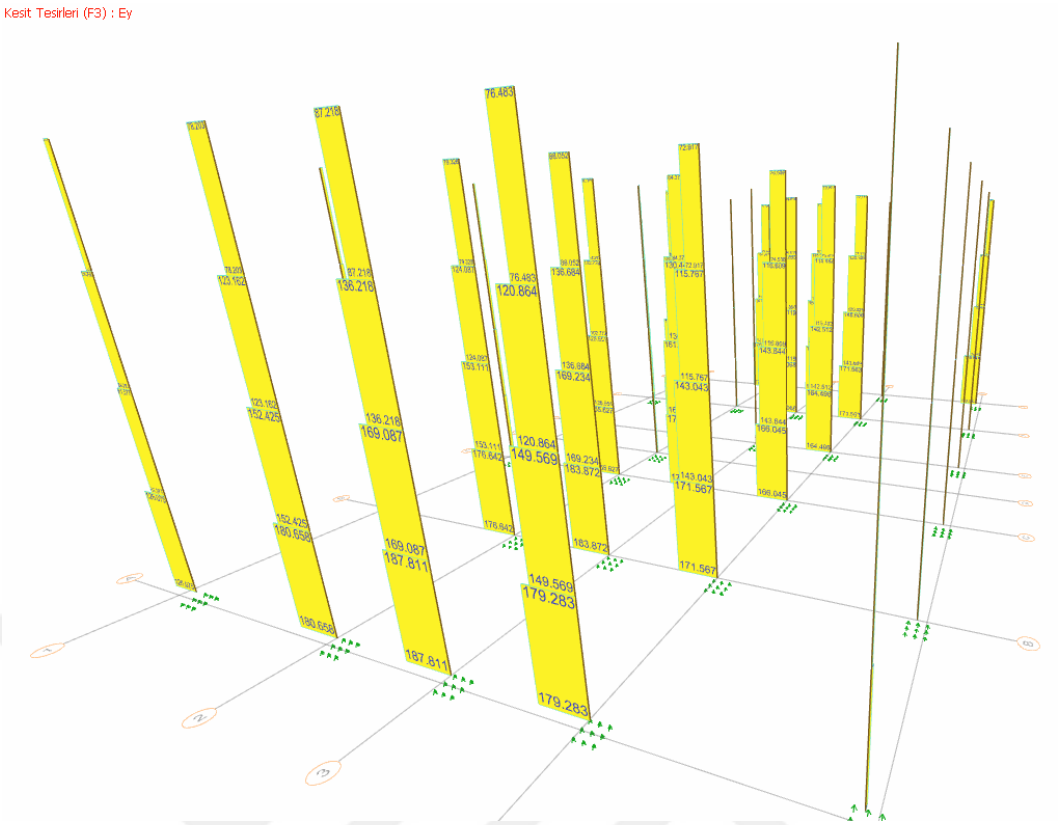
Şekil 80. Zımbalama kontrolü (radye temelde)



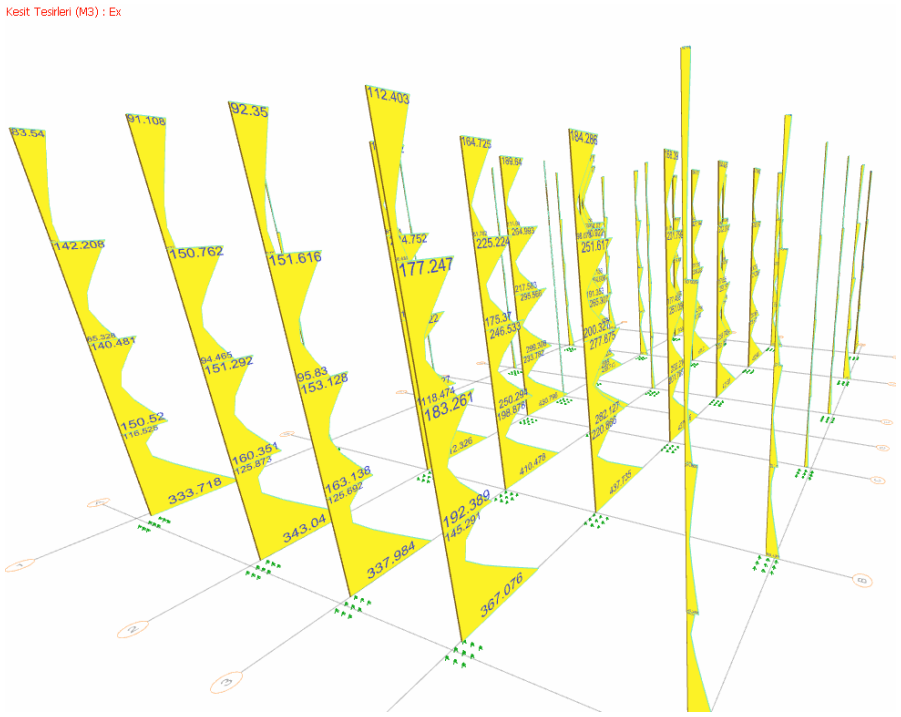
Şekil 81. Betonarme Kapasite Oranı



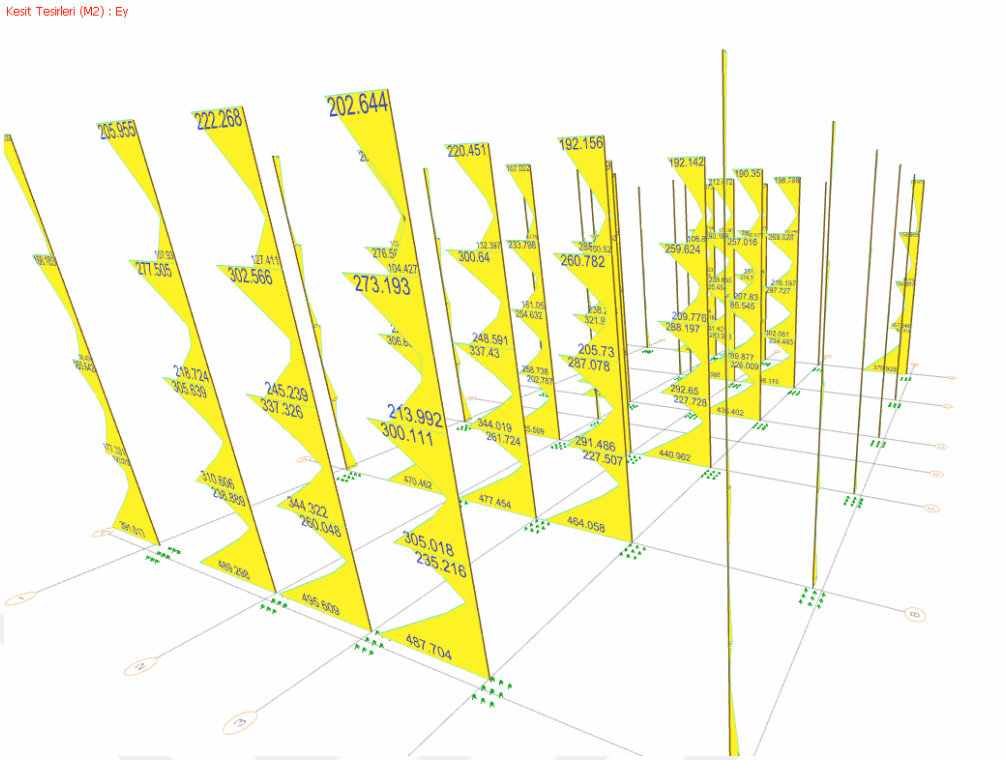
Şekil 82. Kesit Tesirleri (Ex- kN)



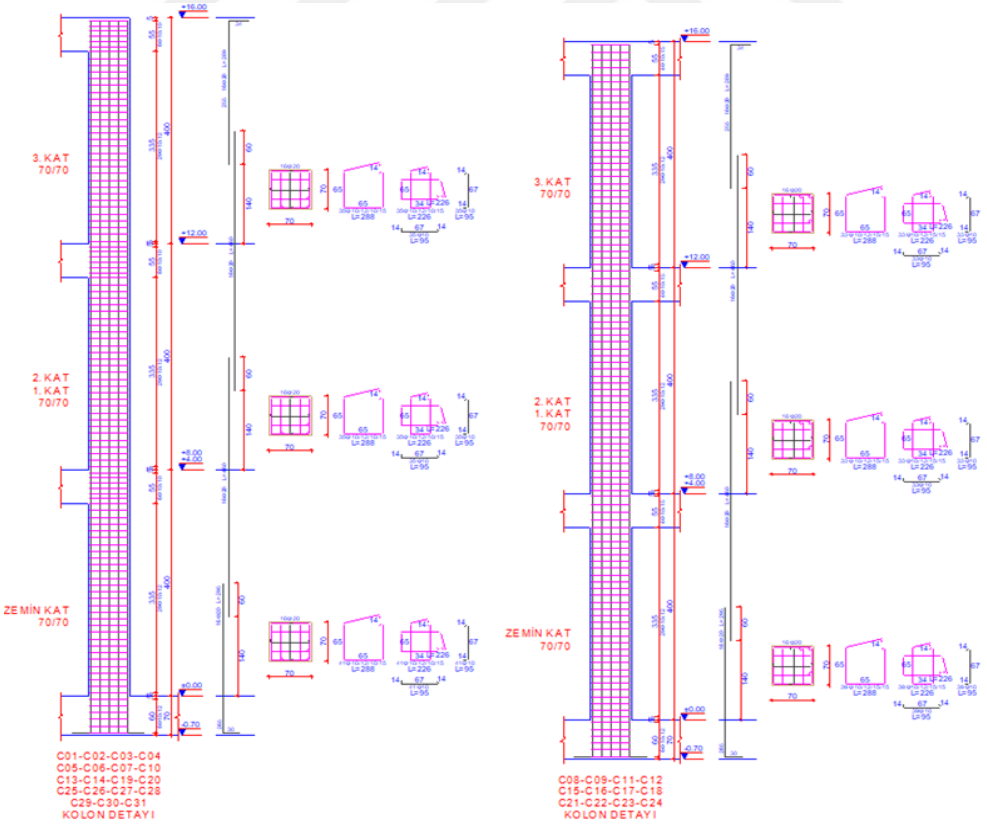
Şekil 83. Kesit Tesirleri (Ey-kN)



Şekil 84. Kesit Tesirleri (M3)



Şekil 85. Kesit Tesirleri (M2)



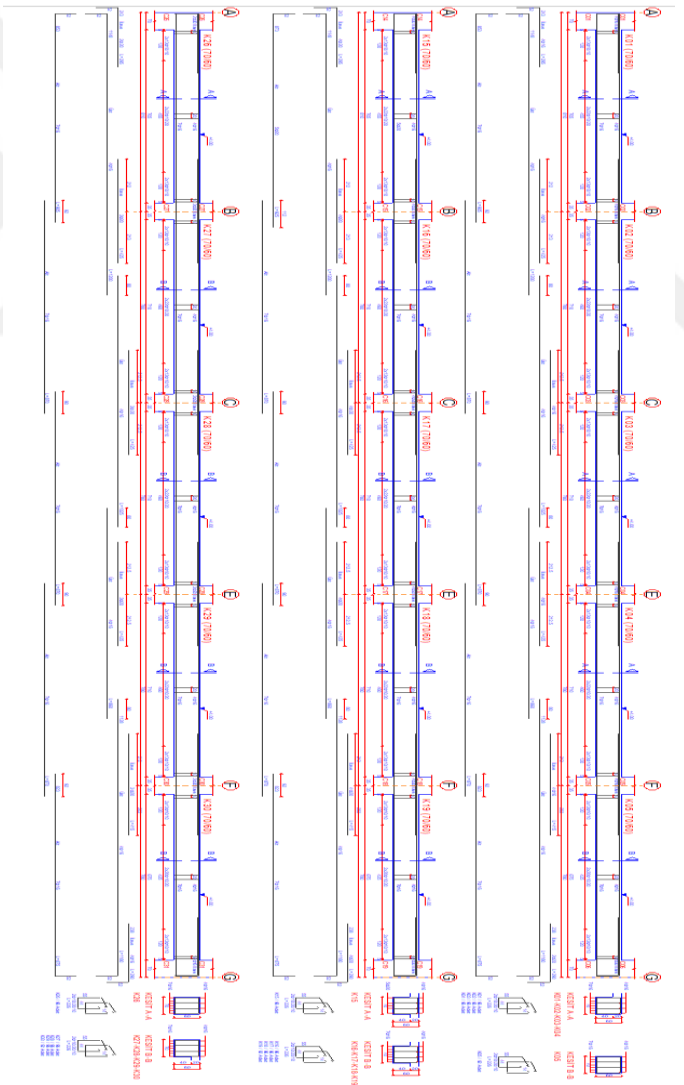
Şekil 86. Kolon Donatı Açılımı

C01 - C01 - C01 - C01 - C02 - C02 - C02 - C02 - C03 - C03 - C03 - C03
C04 - C04 - C04 - C04 - C05 - C05 - C05 - C05 - C06 - C06 - C06 - C06
C07 - C07 - C07 - C07 - C08 - C08 - C08 - C08 - C09 - C09 - C09 - C09
C10 - C10 - C10 - C10 - C11 - C11 - C11 - C11 - C12 - C12 - C12 - C12
C13 - C13 - C13 - C13 - C14 - C14 - C14 - C14 - C15 - C15 - C15 - C15
C16 - C16 - C16 - C16 - C17 - C17 - C17 - C17 - C18 - C18 - C18 - C18
C19 - C19 - C19 - C19 - C20 - C20 - C20 - C20 - C21 - C21 - C21 - C21
C22 - C22 - C22 - C22 - C23 - C23 - C23 - C23 - C24 - C24 - C24 - C24
C25 - C25 - C25 - C25 - C26 - C26 - C26 - C26 - C27 - C27 - C27 - C27
C28 - C28 - C28 - C28 - C29 - C29 - C29 - C29 - C30 - C30 - C30 - C30
C31 - C31 - C31 - C31

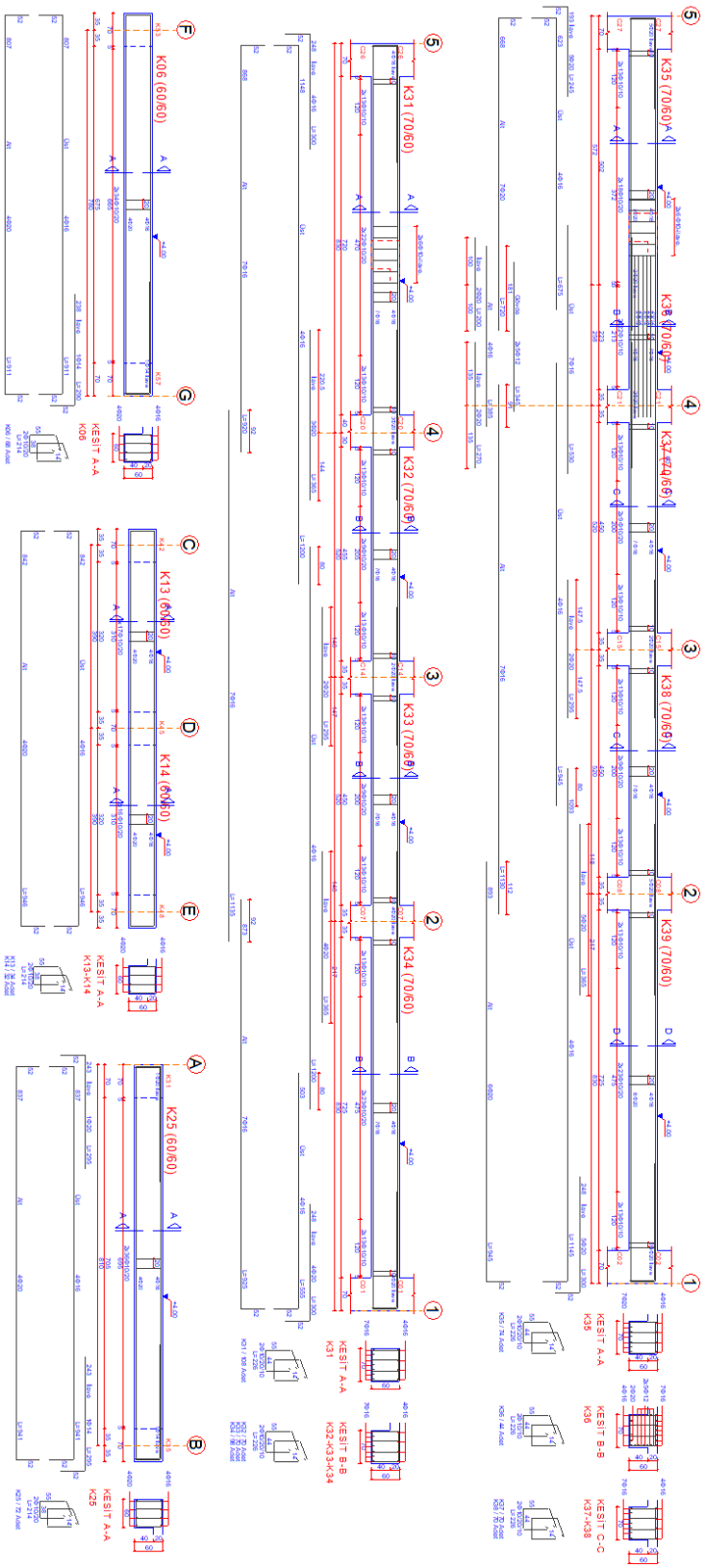
Poz	Adet	Çap	Uzunluk (cm)	Tip	Ağırlık (Kg)
1	1488	20	460		16880.31
2	496	20	295		3608.47
3	496	20	289		3535.08
					24023.85
4	4430	10	288		7866.03
5	8860	10	226		12345.30
6	8860	10	95		5189.40
					25400.73

İnce Donatı Toplamı (Ø8-Ø12) (Kg)	Kalın Donatı Toplamı (Ø14=<) (Kg)
25400.73	24023.85

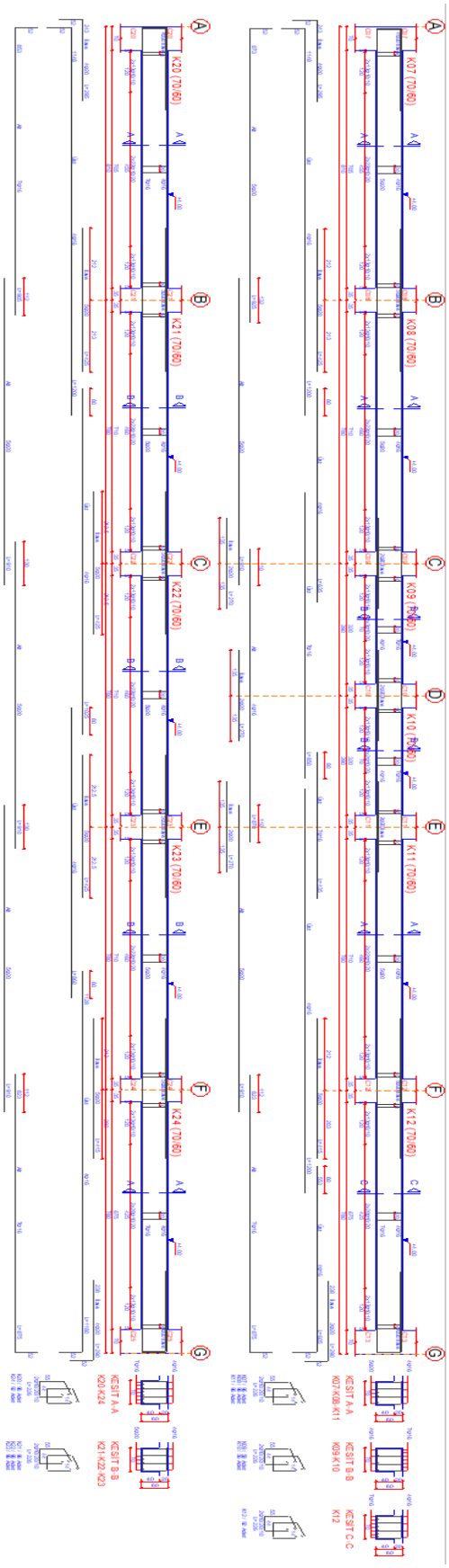
Şekil 87. Kolon Donatı Metrajı



Şekil 88. Kiriş Açılımı -1



Şekil 89. Kiriş Açılımı-2

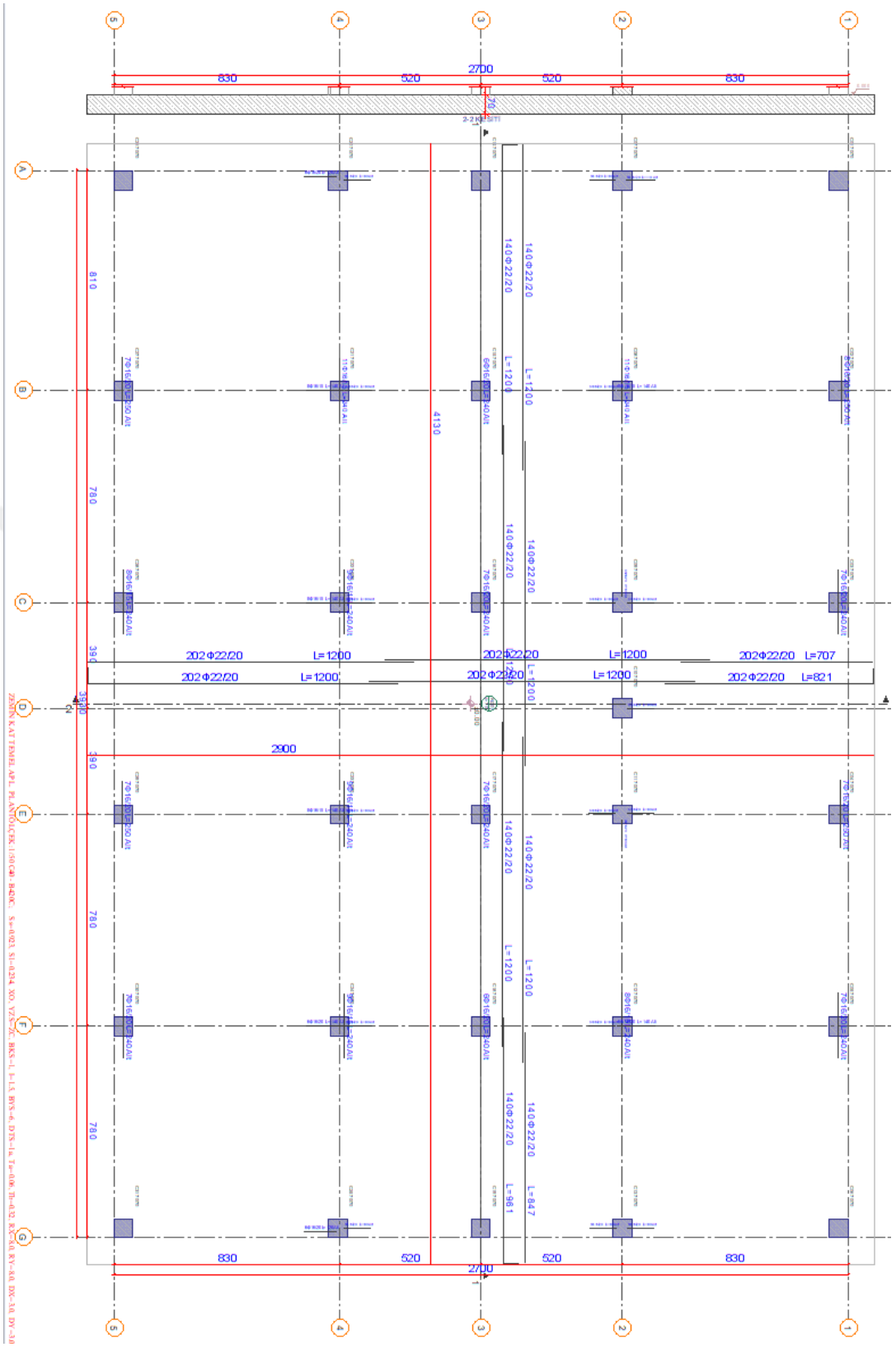


Şekil 90. Kiriş Açılımı-3

ZEMİN KAT - KİRİŞ DONATILARI TABLOSU

Ad	Boyut	Sol Üst	Sol Alt	Montaj	Düz	Pilye	Sağ Üst	Sağ Alt	Enine	Gövde
K01	70/60	4Φ16		4Φ16	7Φ16		4Φ16		2Φ10/20/10	-
K02	70/60	4Φ16		4Φ16	7Φ16		4Φ16		2Φ10/20/10	-
K03	70/60	4Φ16		4Φ16	7Φ16		4Φ16		2Φ10/20/10	-
K04	70/60	4Φ16		4Φ16	7Φ16		4Φ16		2Φ10/20/10	-
K05	70/60	4Φ16		4Φ16	7Φ16		2Φ20		2Φ10/20/10	-
K06	60/60			4Φ16	4Φ20		1Φ14		2Φ10/20	-
K07	70/60	4Φ20		4Φ16	5Φ20		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K08	70/60	5Φ20		4Φ16	5Φ20			2Φ20	2Φ10/20/10	-
K09	70/60		2Φ20	7Φ16	4Φ16			2Φ20	2Φ10/20/10	-
K10	70/60		2Φ20	7Φ16	4Φ16			2Φ20	2Φ10/20/10	-
K11	70/60		2Φ20	4Φ16	5Φ20		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K12	70/60	5Φ20		4Φ16	7Φ16		3Φ20		2Φ10/20/10	-
K13	60/60			4Φ16	4Φ20				2Φ10/20	-
K14	60/60			4Φ16	4Φ20				2Φ10/20	-
K15	70/60	4Φ20		4Φ16	5Φ20		4Φ20		2Φ10/20/10	-
K16	70/60	4Φ20		4Φ16	7Φ16		4Φ20		2Φ10/20/10	-
K17	70/60	4Φ20		4Φ16	7Φ16		4Φ20		2Φ10/20/10	-
K18	70/60	4Φ20		4Φ16	7Φ16		4Φ20		2Φ10/20/10	-
K19	70/60	4Φ20		4Φ16	7Φ16		4Φ20		2Φ10/20/10	-
K20	70/60	4Φ20		4Φ16	7Φ16		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K21	70/60	5Φ20		4Φ16	5Φ20		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K22	70/60	5Φ20		4Φ16	5Φ20		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K23	70/60	5Φ20		4Φ16	5Φ20		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K24	70/60	5Φ20		4Φ16	7Φ16		4Φ20		2Φ10/20/10	-
K25	60/60	1Φ20		4Φ16	4Φ20		1Φ14		2Φ10/20	-
K26	70/60	2Φ20		4Φ16	7Φ16		3Φ20		2Φ10/20/10	-
K27	70/60	3Φ20		4Φ16	7Φ16		3Φ20		2Φ10/20/10	-
K28	70/60	3Φ20		4Φ16	7Φ16		3Φ20		2Φ10/20/10	-
K29	70/60	3Φ20		4Φ16	7Φ16		3Φ20		2Φ10/20/10	-
K30	70/60	3Φ20		4Φ16	7Φ16		4Φ16		2Φ10/20/10	-
K31	70/60	4Φ16		4Φ16	7Φ16		3Φ20		2Φ10/20/10	-
K32	70/60	3Φ20		4Φ16	7Φ16		2Φ20		2Φ10/20/10	-
K33	70/60	2Φ20		4Φ16	7Φ16		4Φ20		2Φ10/20/10	-
K34	70/60	4Φ20		4Φ16	7Φ16		4Φ20		2Φ10/20/10	-
K35	70/60	5Φ20		4Φ16	7Φ20			2Φ20	2Φ10/20/10	-
K36	70/60		2Φ20	7Φ16	4Φ16			2Φ20	2Φ10/10	2x5Ø12
K37	70/60		2Φ20	4Φ16	7Φ16		2Φ20		2Φ10/20/10	-
K38	70/60	2Φ20		4Φ16	7Φ16		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K39	70/60	5Φ20		4Φ16	6Φ20		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K40	70/60	5Φ20		4Φ16	6Φ20		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K41	70/60	5Φ20		4Φ16	7Φ16		2Φ20		2Φ10/20/10	-
K42	70/60	2Φ20		4Φ16	7Φ16		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K43	70/60	5Φ20		4Φ16	6Φ20			2Φ20	2Φ10/20/10	-
K44	70/60		2Φ20	7Φ16	4Φ16		2Φ20	2Φ20	2Φ10/10	2x5Ø12
K45	70/60			7Φ16	4Φ16			2Φ20	2Φ10/10	-
K46	70/60	5Φ20		4Φ16	6Φ20		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K47	70/60	5Φ20		4Φ16	7Φ16		2Φ20		2Φ10/20/10	-
K48	70/60	2Φ20		4Φ16	7Φ16		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K49	70/60	5Φ20		4Φ16	6Φ20		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K50	70/60	5Φ20		4Φ16	6Φ20		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K51	70/60	5Φ20		4Φ16	7Φ16		2Φ20		2Φ10/20/10	-
K52	70/60	2Φ20		4Φ16	7Φ16		5Φ20		2Φ10/20/10	-
K53	70/60	5Φ20		4Φ16	7Φ20		4Φ20		2Φ10/20/10	-
K54	70/60	3Φ20		4Φ16	7Φ16		3Φ20		2Φ10/20/10	-
K55	70/60	3Φ20		4Φ16	7Φ16		2Φ20		2Φ10/20/10	-
K56	70/60	2Φ20		4Φ16	7Φ16		3Φ20		2Φ10/20/10	-
K57	70/60	3Φ20		4Φ16	7Φ16		2Φ20		2Φ10/20/10	-

Şekil 91. Zemin Kat Kiriş Donatısı Tablosu



Şekil 92. Radye Temel Donatı Açılımları

Tablo 37. Beton Metrajı (DD-2 tasarım kriterleri)

Açıklama	Beton Hacim [m³]
3. KAT	
DÖŞEMELER	149.253
KİRİŞLER	141.064
KOLONLAR	60.760
3. KAT TOPLAM	351.077
2. KAT	
DÖŞEMELER	149.253
KİRİŞLER	141.064
KOLONLAR	60.760
2. KAT TOPLAM	351.077
1. KAT	
DÖŞEMELER	149.253
KİRİŞLER	141.064
KOLONLAR	60.760
1. KAT TOPLAM	351.077
ZEMİN KAT	
DÖŞEMELER	149.253
KİRİŞLER	141.064
KOLONLAR	60.760
RADYE TEMELLER	838.395
ZEMİN KAT TOPLAM	1.189.472
GENEL TOPLAM	2242.701 [m³]

Yapının katlar arası beton hacim dağılımı incelendiğinde, döşeme, kiriş ve kolon elemanlarının hemen hemen eşit değerlere sahip olduğu ve her katta yaklaşık 351 m³ beton kullanıldığı gözlemlenmektedir. Bu durum, yapının taşıyıcı sisteminin düşeyde düzenli ve simetrik bir biçimde tasarlandığını göstermektedir. Zemin katta kullanılan 838.395 m³ radye temel betonu ise DD-2 deprem düzeyine göre tasarlanan yapı için temel sisteminin sismik güvenliğini sağlamaya yönelik önemli bir yapı

elemanıdır. Toplam beton hacmi olan 2242.701 m³, yapının büyüklüğü ve taşıyıcı sistem seçimiyle tutarlıdır.

Tablo 38. Beton Metrajı (DD-2 tasarım kriterleri)

Açıklama		Ø8 [t]	Ø10 [t]	Ø12 [t]	Ø14 [t]	Ø16 [t]	Ø20 [t]	Ø22 [t]	(Ø8-Ø12) [t]	(Ø14<=) [t]
3. KAT										
DÖŞEMELER				19.27		6.35			19.27	6.35
KİRİŞLER			6.61	0.06	0.00	5.69	3.77		6.67	9.46
KOLONLAR			6.08				3.54		6.08	3.54
3. KAT TOPLAM	[t]		12.69	19.33	0.00	12.04	7.31		32.02	19.35
2. KAT										
DÖŞEMELER				19.27		6.35			19.27	6.35
KİRİŞLER			6.61	0.06	0.01	6.12	3.49		6.67	9.62
KOLONLAR			6.08				5.63		6.08	5.63
2. KAT TOPLAM	[t]		12.69	19.33	0.01	12.47	9.11		32.02	21.60
1. KAT										
DÖŞEMELER				19.27		6.35			19.27	6.35
KİRİŞLER			6.61	0.06	0.01	6.11	3.78		6.67	9.90
KOLONLAR			6.08				5.63		6.08	5.63
1. KAT TOPLAM	[t]		12.69	19.33	0.01	12.46	9.41		32.02	21.88
ZEMİN KAT										
DÖŞEMELER				19.27		6.35			19.27	6.35
KİRİŞLER			6.61	0.06	0.01	5.98	3.89		6.67	9.88
KOLONLAR			7.15				9.24		7.15	9.24
RADYE TEMELLER		1.57				0.84		75.78	1.57	76.62
ZEMİN KAT TOPLAM	[t]	1.57	13.76	19.33	0.01	13.17	13.13	75.78	34.66	102.08
GENEL TOPLAM	[t]	1.57	51.83	77.33	0.02	50.15	38.96	75.78	130.73	164.91
									295.63 [t]	

3.9. Demir Donatı Metrajı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapıya ait donatı metrajı incelendiğinde, toplamda yaklaşık 295.63 ton donatı kullanımı öngörülmüştür. Donatılar çaplarına göre detaylandırılmış olup, Ø8–Ø12 arası ince çaplı donatıların toplam miktarı 130.73 ton, Ø14 ve üzeri kalın donatıların toplamı ise 164.91 ton olarak hesaplanmıştır. Bu dağılım, taşıyıcı sistemin hem sünek

davranış göstermesini hem de yeterli taşıma kapasitesine sahip olmasını sağlayacak şekilde dengeli bir tasarımın benimsendiğini göstermektedir.

Kat bazlı analizde; her katta döşemeler için yaklaşık 19.27 ton donatı kullanıldığı görülmekte, bu durum döşeme rijitliğinin yapı genelinde tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Kiriş ve kolon elemanlarında ise çap ve miktar açısından daha çeşitli donatı kullanımı dikkat çekmektedir. Özellikle kolonlarda Ø22 gibi daha büyük çaplı donatılar tercih edilmiştir; bu da düşey taşıyıcı sistemde yeterli eksenel ve moment kapasitesinin sağlandığını göstermektedir.

Zemin kat, diğer katlara kıyasla çok daha fazla donatıya sahiptir (yaklaşık 102.08 ton) ve bu yoğunluk büyük ölçüde radye temelde kullanılan Ø22 donatıdan (75.78 ton) kaynaklanmaktadır. Bu durum, zeminle doğrudan etkileşimde olan temel sistemin DD-2 deprem düzeyine uygun biçimde güçlendirildiğini ve yapının sismik performansının artırıldığını göstermektedir.

Sonuç olarak, donatı metrajı değerleri, yapı güvenliği, süneklik ve enerji sönümleme kapasitesi açısından uygun bir dağılım göstermekte; hem yatay hem düşey yük taşıma sisteminin dengeli bir şekilde tasarlandığını ortaya koymaktadır.

İzolatörlü ve izolatörsüz yapı sistemlerine ait beton, kalıp ve donatı metrajları ayrı ayrı çıkarılmış ve taşıyıcı sistem elemanları bazında kıyaslamalı olarak analiz edilmiştir (Tablo 37–48). Bu kapsamda, her iki yapı sistemine ait kaba yapı metrajları ayrı başlıklar altında değerlendirilmiş, donatı ve beton kullanımı yönünden önemli farklar ortaya konmuştur. Özellikle donatı ağırlığı açısından, izolatörlü sistemin kesit tasarımlarında sağladığı rahatlama açık biçimde gözlemlenmiştir (Tablo 45, Tablo 46, Tablo 49).

3.10. Yapının Deprem İzolatörlü Durumda Yapının Davranışına Etkileri / İzolatörlü Yapılar İçin Tasarım Adımları

- İzole yapı için zemin sınıfı belirlenir.
- Bina bir ankastre mesnet ile inşa edilmişse, indirgeme faktörü (deprem yükü azalma katsayısı-R) Tablo 5.5'e göre alınır.
- Deprem yalıtımı uygulanan binalarda, bina önem katsayısı I = 1 alınacaktır.
- Yapının sabit (G) ve hareketli (Q) yükleri dikkate alınarak toplam sismik kütlesi ($W = G + \eta Q$) hesaplanır.

- Saha koşulları çerçevesinde, taban katındaki maksimum izin verilebilir yatay yer değiştirme sınırı belirlenmiştir.
- X ve Y yönlerinde, yapı ankastre mesnetli kabul edilerek temel titreşim modlarına karşılık gelen doğal periyotlar elde edilmiştir.
- İzolatör düzleminin yerleştirileceği kot için P_{DL+LL} belirlenir
- İzolatör sistemine ilişkin kayma gerilmesi (τs) ve sönüm oranı (ξeff) ayrıca diğer parametreleri belirlenerek analiz yapılır.
- Etkili yatay rijitlik (Keff) hesaplanır:

$$K_{eff} = \frac{W}{D}(2\pi/T_D)^2 \quad (1)$$

- (DD-2) için yer değiştirme D_D hesaplanır:

$$D_D = 1.3(\frac{g}{4\pi^2})T_D^2\mu_D S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) \quad (2)$$

- Tasarım deprem düzeyi (DD-2) için etkin periyot T_D hesaplanır:

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{W}{gK_D}} \quad (3)$$

- (DD-1) için yer değiştirme DM hesaplanır:

$$D_M = 1.3(\frac{g}{4\pi^2})T_M^2\mu_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) \quad (4)$$

- En büyük deprem düzeyi (DD-1) için etkin periyot TM hesaplanır:

$$T_M = 2\pi\sqrt{\frac{W}{gK_M}} \quad (5)$$

- Sönüm ölçeklendirme katsayısı η hesaplanır:

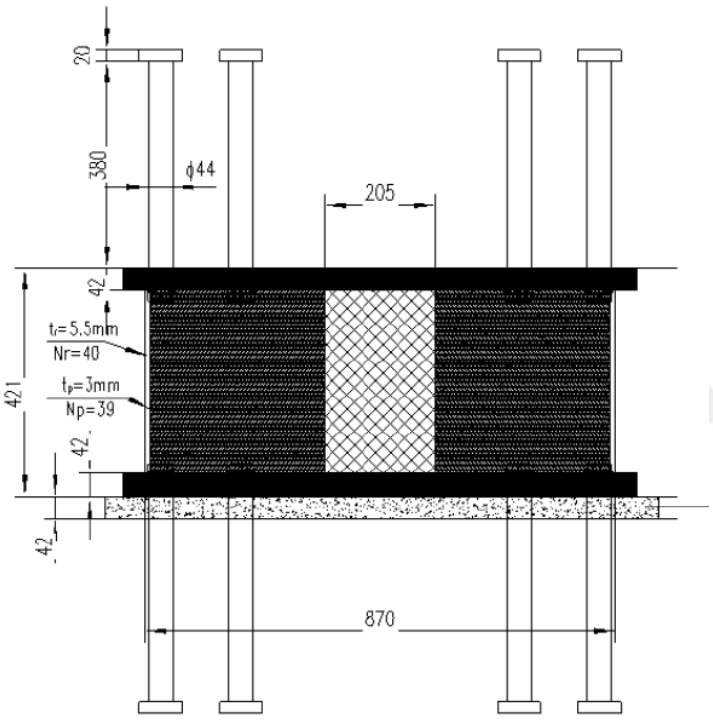
$$\mu = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \quad (6)$$

- Kurşun çekirdeğin kısa periyot akma kuvveti (Q_d) hesaplanır:
- Kurşun çekirdeğin rijitliği hesaplanır:
- Kurşun çekirdek için gerekli kesit alanı hesaplanır:
- Kurşun çapı (dp), Ap değerine göre belirlenir.
- Katmanlı yapı için toplam yükseklik hesaplanır:
- Malzeme özellikleri (E, G, kauçuk, uzama $\varepsilon_u \geq$ %500) dikkate alınarak seçilir.

3.11. Seçilen İzolatörün Özellikleri

Tablo 39. Ön Tasarım İzolatör Özellikleri

	LRB 850
Adet	31
Kurşun Çekirdek Çapı (mm)	205
G_v (MPa)	0.392
Toplam Kauçuk Yüksekliği (mm)	220
Toplam Yükseklik (mm)	421



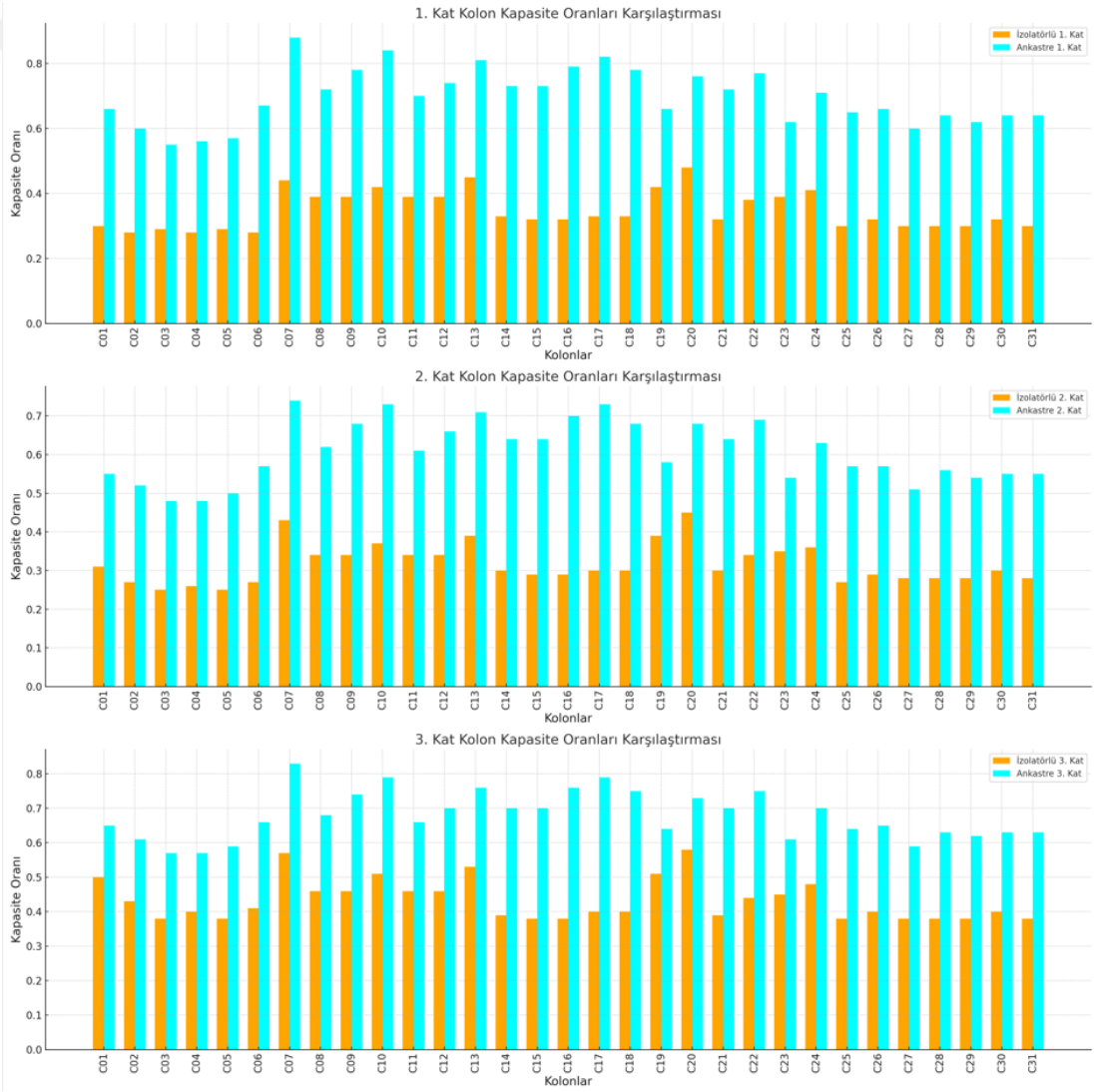
Şekil 93. İzolatörün Geometik Özellikleri

3.12. Grafiksel Sonuçların Teknik Değerlendirmesi

Kat bazında yapılan kolon kapasite oranı analizlerinde, izolatörlü ve tam ankastre sistemlerin taşıyıcı elemanlar üzerindeki etkisi açık biçimde gözlemlenmiştir. 1. kata ait sütun grafik incelendiğinde, izolatörlü sistemde kolon kapasite oranlarının ankastre sisteme göre belirgin ölçüde daha düşük olduğu görülmektedir. Özellikle taban katında izolatörler, deprem kuvvetlerinin önemli bir kısmını üst yapıya iletmeden sönümlediğinden, kolonlara aktarılan iç kuvvetlerde ciddi bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum 2. ve 3. kat grafiklerinde de benzer şekilde devam

etmekle birlikte, izolatörün etkisi kat yükseldikçe bir miktar azalmaktadır; bu da izolatör etkisinin en fazla alt katlarda hissedildiğini göstermektedir.

Kolonlar özelinde bakıldığında, izolatörlü sistemde bazı kolonların kapasite oranları %0.4–0.6 aralığında kalırken, aynı kolonlar ankastre sistemde %0.9'a kadar çıkmaktadır. Bu fark, taşıyıcı sistemin dayanım rezervlerini artırmakta, aşırı zorlanma riskini azaltmaktadır. Ayrıca donatı miktarlarında ve kesit boyutlarında yapılabilecek azaltmalarla ekonomik tasarım avantajı da sağlanmaktadır. Katlar arası karşılaştırmalı sütun grafiklerinden elde edilen bu bulgular, izolatör kullanımının taşıyıcı sistem elemanlarını önemli ölçüde rahatlattığını, kapasite oranlarını düşürerek daha güvenli ve sünek bir davranış sergilenmesine katkıda bulunduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 94. Katlara Bağlı Kolon Kapasite Oranları Karşılaştırması

3.13. Deprem İzolatörlü Sistem Tasarım Hesapları

3.13.1. Zemin Sınıfı Belirleme

- Zemin Sınıfı: ZC
- Sismik Yük Parametresi (S_{DS}): 1.108

Açıklama: TBDY 2018'e göre zemin sınıfı ve spektral ivme değeri belirlendi.

3.13.2. Deprem Yükü Azalma Katsayısı (R)

- R = 1.0 ve D=1 (alt yapı elastik tasarlanacaktır TBDY 14.14.2.13)

  Açıklama: Rijit yapı davranışı için azaltma katsayısı.
- Üst yapı KK performans hedefi için R=1.2 ve D=1.2 olmalıdır.
- Üst yapı SH performans hedefi için R=1.5 ve D=1.5 olmalıdır.

(a) Yeni Yapılacak Deprem Yalıtımlı Binalar – Üstyapı

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-2	SH	DGT	KK	DGT
DD-1	—	—	—	—

3.13.3. Bina Önem Katsayısı (I)

- I = 1.5

  Açıklama: Hastane gibi kritik yapılar için.

3.13.4. Sismik Ağırlık (W)

Formül:

$$W = G + 0.3Q \tag{19}$$

Sonuç:

W=53,140.67kN

3.13.5. Taban Yer Değiştirme Limiti

Formül:

$$\Delta_{max} = 0.02 \times H_n \tag{20}$$

Hesap:

$0.02 \times 16 = 0.32m$

3.13.6. Ankastre Sistem Periyodu (T_p)

Formül:

$C_t = 0.10$

$x = 0.75$

$T_p = C_t \times H_n^x$ (21)

$T_p = 0.10 \times {H_n}^{0.75} = 0.10 \times 16^{0.75} = 0.8sn$

3.13.7. İzolatör Başına Yük (P)

Formül:

$$\mathrm{P} = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{N}} \quad (22)$$

$\mathrm{P} = \frac{53340,67}{31} = 1720.67\mathrm{kN}$ (izolatör başına düşen yük)

3.13.8. İzolatör Parametreleri

- Kayma Modülü (G): 0.382 MPa
- Etkin Sönüm (ξ_{eff}): %30

3.13.9. Etkin Rijitlik (K_{eff})

Formül:

$$\mathrm{K_{eff}} = \frac{\mathrm{F}}{\Delta} \quad (23)$$

$\mathrm{K_{eff}} = \frac{230}{0.097} = 2371\mathrm{kN/m}$

Açıklama:

İzolatörlerin efektif rijitliği modal hesaplardan elde edilir.

3.13.10. Tasarım Yer Değiştirme (D_D)

Formül:

$$D_D = 1.3\left(\frac{g}{4\pi^2}\right)T_D^2\eta_D S_{ae}^{(DD\text{-}2)}(T_D) \quad (2)$$

Hesap:

$D_D \approx 0.283$ m

Açıklama:
İzolatörlerin tasarım depremde ulaşacağı yer değiştirme hesaplanır.

3.13.11. Tasarım Periyodu (T_D)

$T_D = 2.5$ s

3.13.12. Maksimum Yer Değiştirme (D_M)

Formül:

DD-1 yer hareketi için izolatör birimi yatay ötelenmesi sonucu D_M Denk.(4) kullanılarak çözülecektir.

$$D_M = 1.3\left(\frac{g}{4\pi^2}\right)T_M^2\eta_M S_{ae}^{(DD\text{-}1)}(T_M) \quad (4)$$

Hesap:

$D_M \approx 0.279$m

3.13.13. Maksimum Periyot (T_M)

- $T_M = 2.5$ s

3.13.14. Sönüm Ölçeklendirme (η)

Sönümün ölçeklendirme katsayıları aşağıdaki formülle yani η_D ve η_M Denk. (6) ile hesaplanacaktır.

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \quad (6)$$

ξ_{eff}=%30

Hesap:

η =0.5345

3.13.15. Kurşun Akma Kuvveti (Q_d)

Formül:

$$Q_d = {WD}/{4DD} = ({\pi}/{2}) \times K_{eff} \times \varepsilon_{eff} \times DD \quad (7)$$

Hesap:

$Q_d \approx 316.2kN$

Açıklama:
İzolatör çekirdeğinin akmaya başladığı kuvvet.

3.13.16. Kurşun Rijitliği (K_d)

Formül:

$$K_d = K_{eff} - (Q_d/DD) \quad (8)$$

Hesap:

$$\mathrm{K_d} = 2371 - (\frac{316.2}{0.283}) = 1253.3\mathrm{kN/m}$$

3.13.17. Kurşun Kesit Alanı (A_p)

Formül:

$$A_p = {Q_d}/{f_{py}} \quad (9)$$

Hesap:

$$A_p = \frac{316200}{10} = 31620 mm^2$$

2.26.18. Kurşun Çapı (d_p)

Formül:

$$d_p = 2 \times \sqrt{\frac{A_p}{\pi}} \quad (24)$$

Hesap:

$d_p \approx 200.6$ mm

3.13.19. Kauçuk Kalınlığı (t_r)

Formül:

$$t_r = {DD}/{\tau_{max}} \quad (10)$$

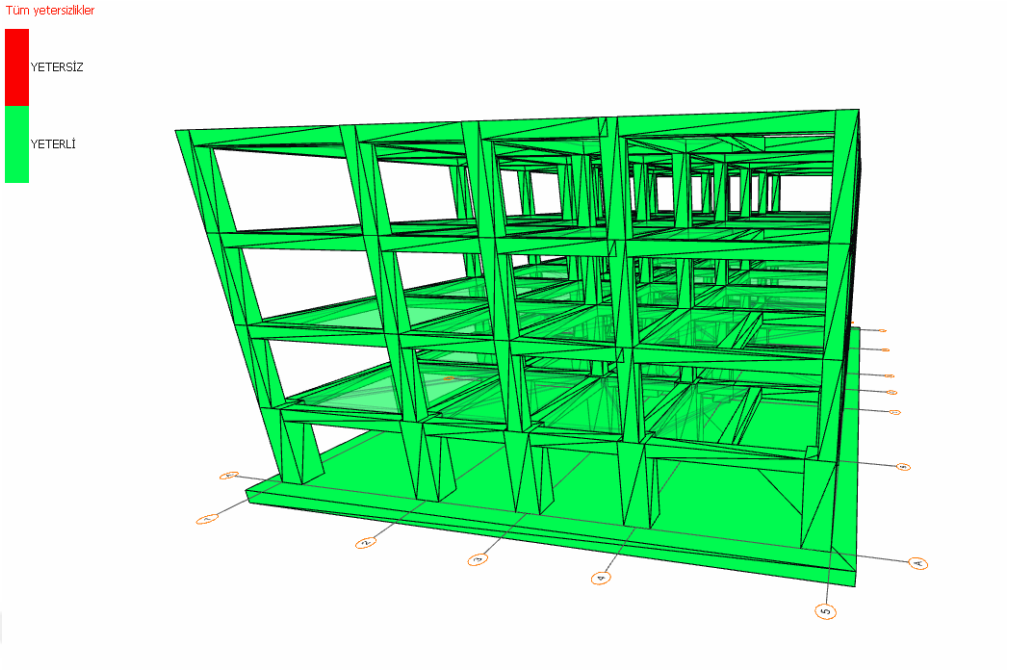
$$\tau_{max} = 1.25$$

$$t_r = \frac{283}{1.25} = 226.4 mm$$

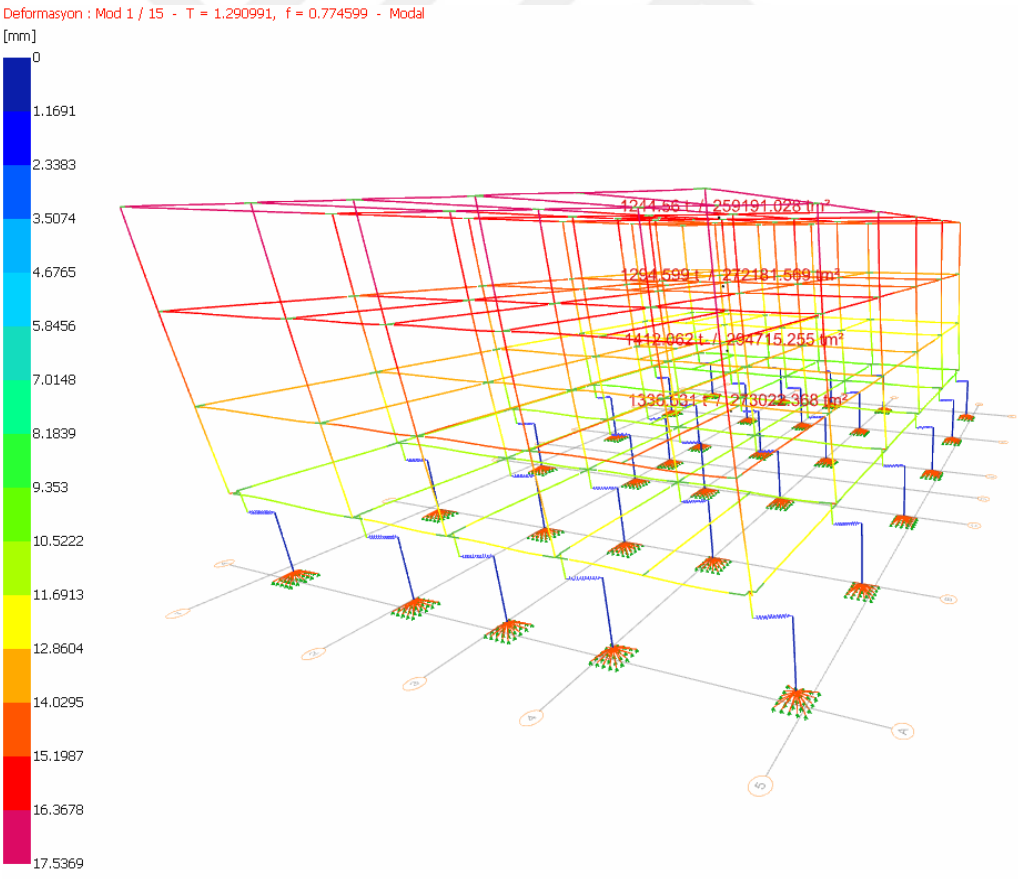
3.13.20. Malzeme Özellikleri

Tablo 40. Seçilen İzolatör Özellikleri

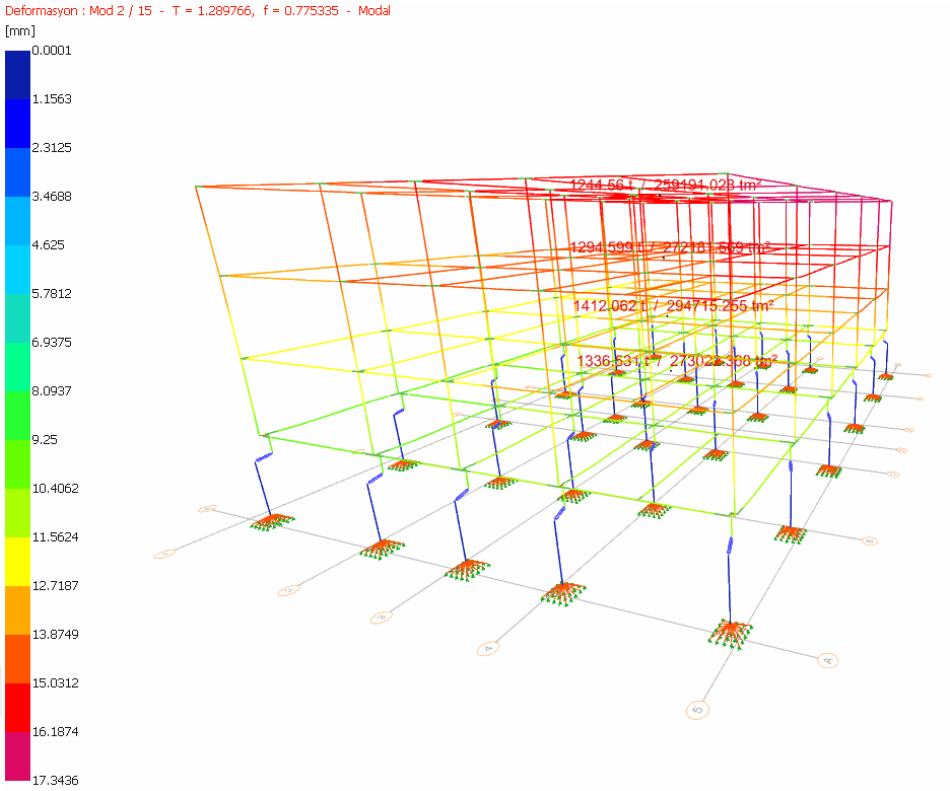
LRB 850	**Değer**	**Birim**
Adet	31	-
Kurşun Çekirdek Çapı (B_l)	205	mm
Kauçuk Kesme Modülü (G_v)	0.392	MPa
Toplam Kauçuk Yüksekliği (T_r)	220	mm
Toplam Yükseklik	421	mm



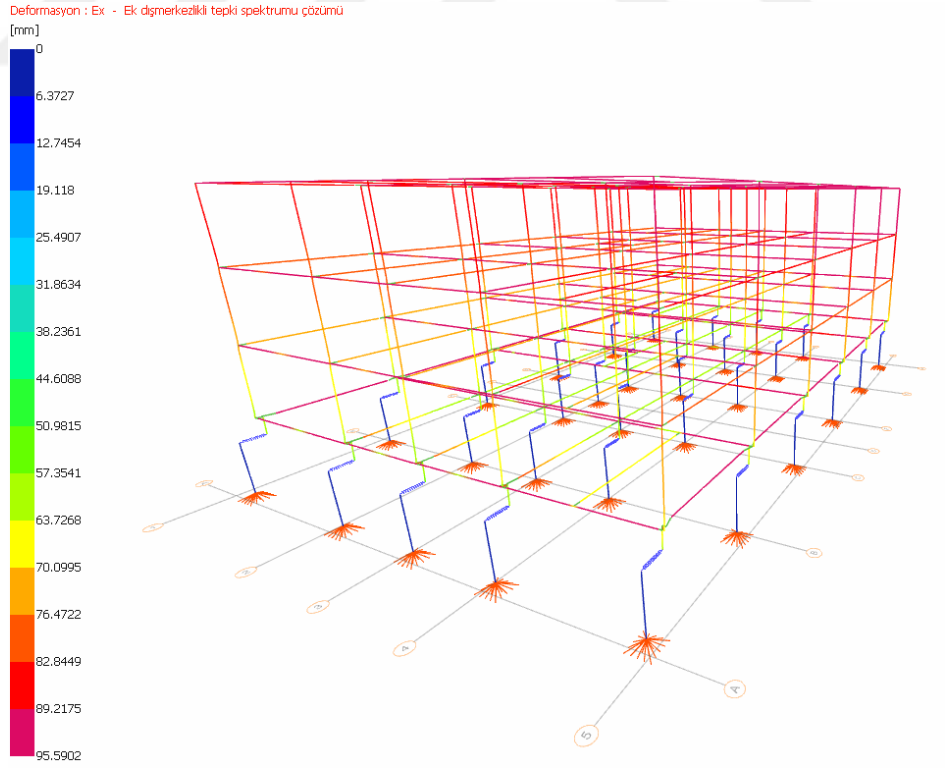
Şekil 95. İzolatörlü Durumda Yetersizlik Grafiksel Kontrolleri



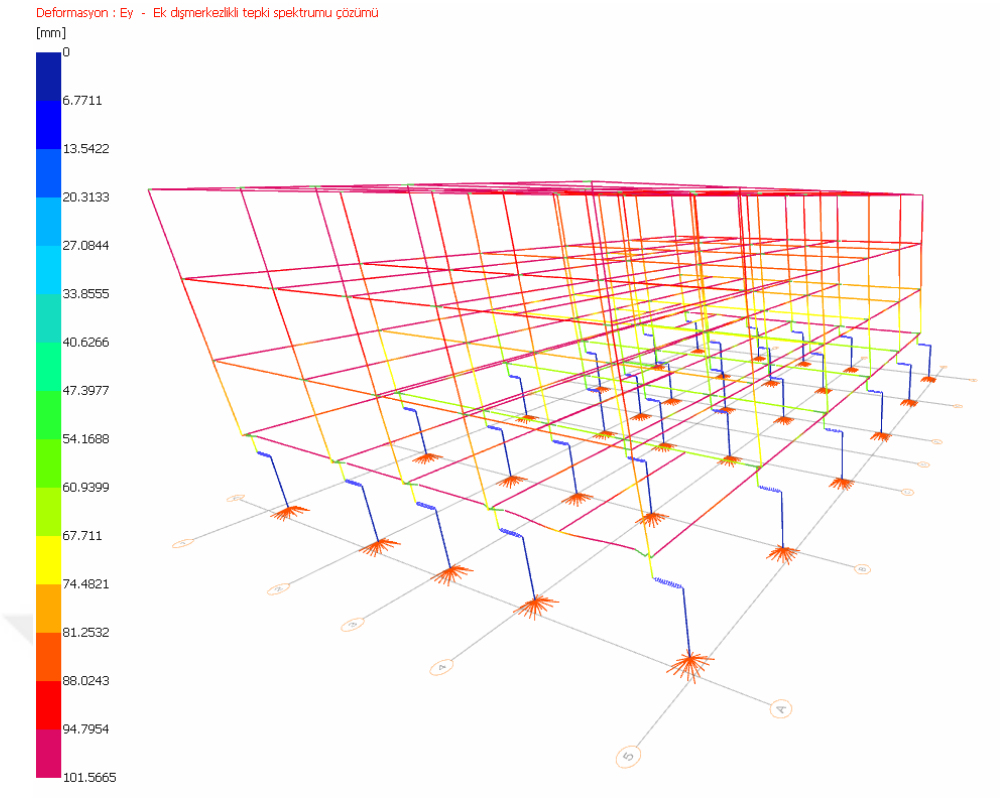
Şekil 96. Deformasyon Grafiği Mod 1/15



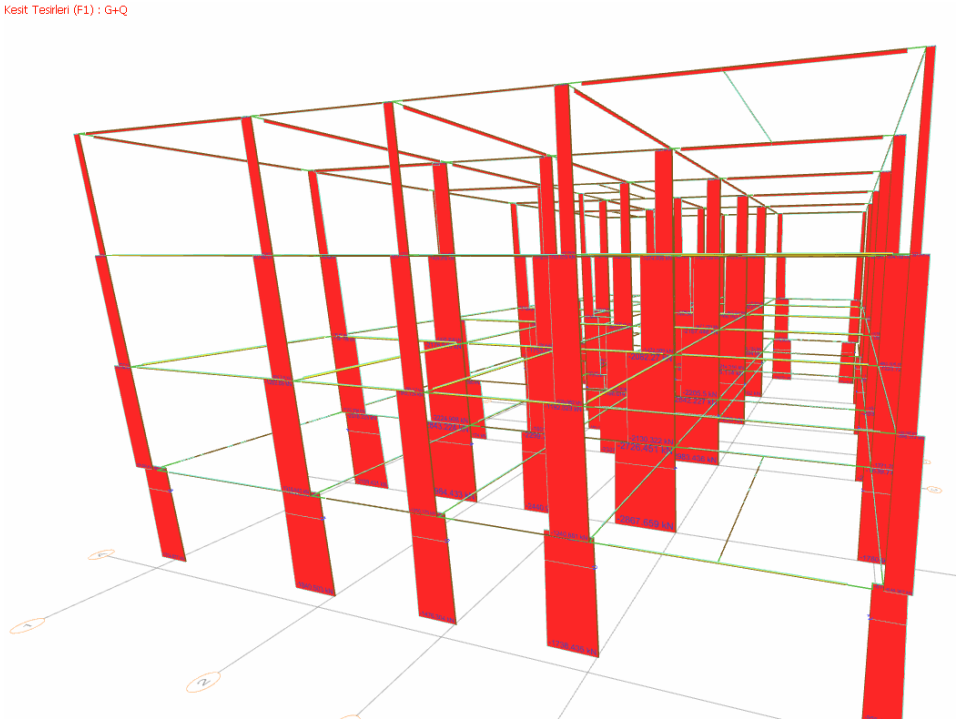
Şekil 97. Deformasyon Grafiği Mod 2/15



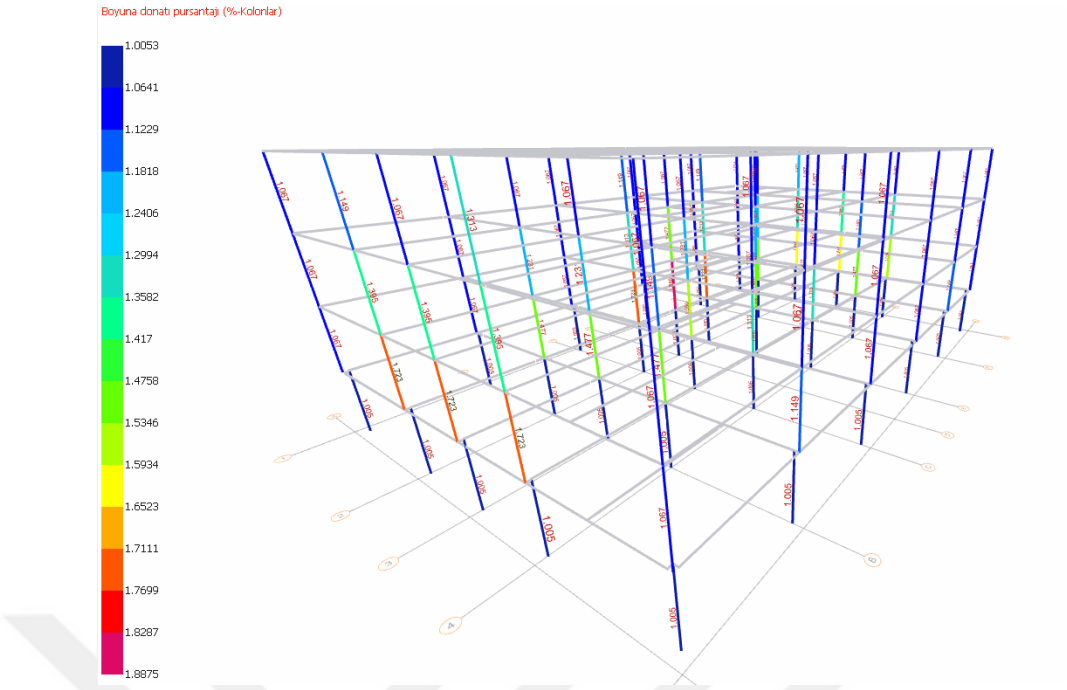
Şekil 98. Deformasyon Ex – Ek Dışmerkezli Tepki Spektrumu Çözümü



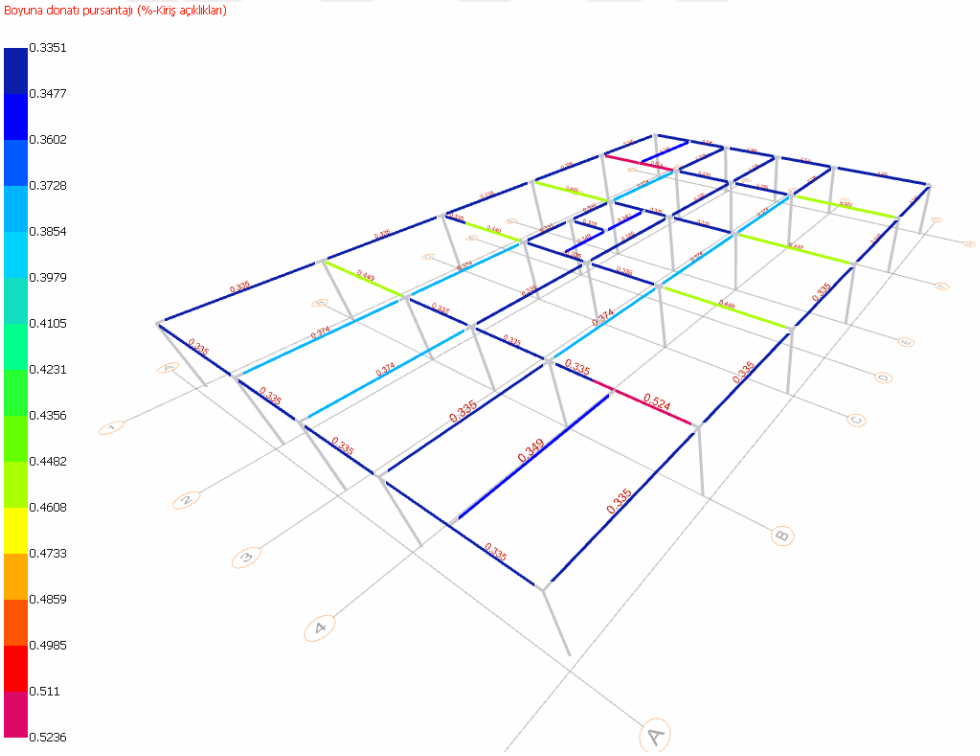
Şekil 99. Deformasyon Ey – Ek Dışmerkezli Tepki Spektrumu Çözümü



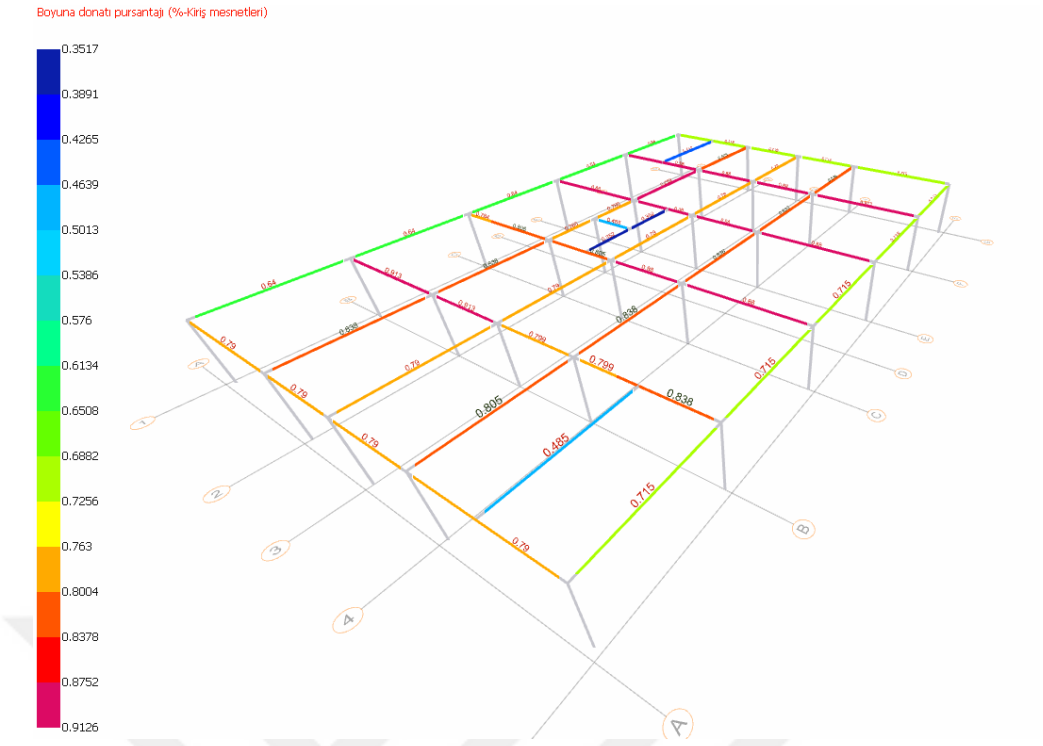
Şekil 100. Kesit Tesirleri (F1): G+Q



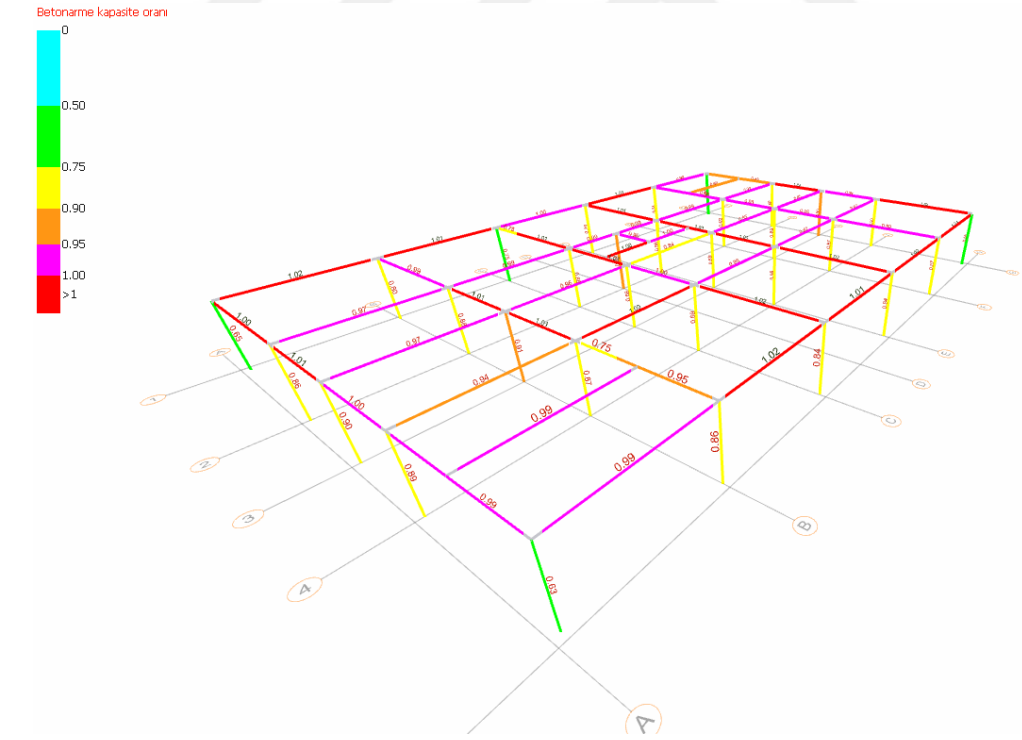
Şekil 101. Boyuna Donatı Pursantajı (%-Kolonlar)



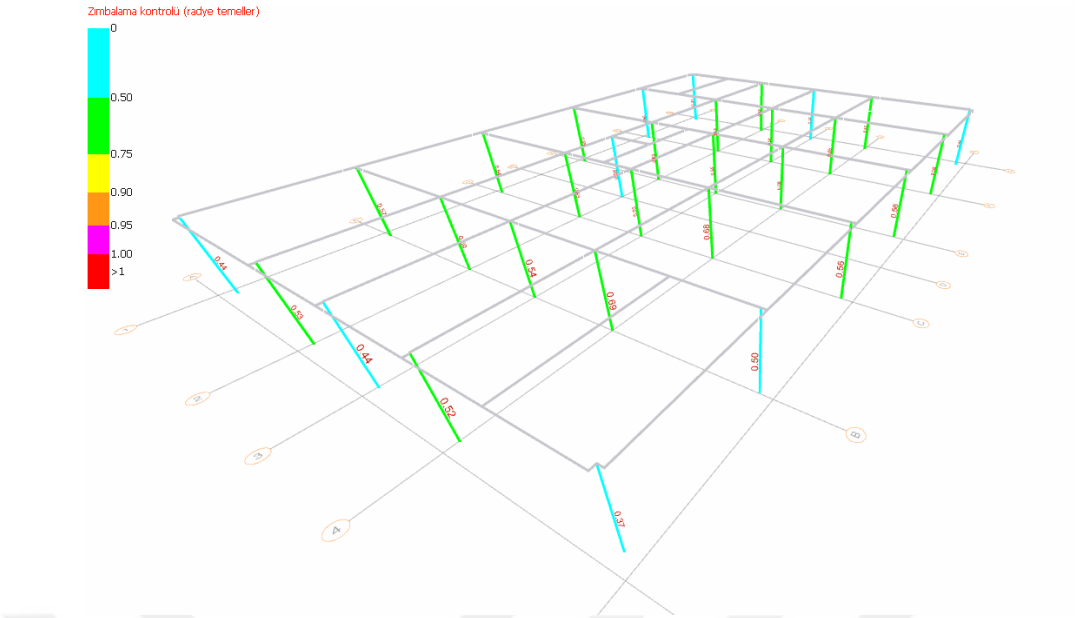
Şekil 102. Boyuna Donatı Pursantajı (%-Kiriş açıklıkları)



Şekil 103. Boyuna Donatı Pursantajı (%-Kiriş mesnetleri)



Şekil 104. Betonarme Kapasite Oranları



Şekil 105. Zımbalama Kontrolü (radye temeller)

Tablo 41. İzolatörlü Yapının Beton Metrajı

BETON METRAJI

Açıklama	Hacim [m³]
3. KAT	
DÖŞEMELER	149.253
KİRİŞLER	141.064
KOLONLAR	60.760
3. KAT TOPLAM	**351.077**
2. KAT	
DÖŞEMELER	149.253
KİRİŞLER	141.064
KOLONLAR	60.760
2. KAT TOPLAM	**351.077**
1. KAT	
DÖŞEMELER	149.253
KİRİŞLER	141.064
KOLONLAR	60.760
1. KAT TOPLAM	**351.077**
ZEMİN KAT	
DÖŞEMELER	147.868
KİRİŞLER	128.170
KOLONLAR	178.560
RADYE TEMELLER	838.395
ZEMİN KAT TOPLAM	**1292.993**
GENEL TOPLAM	**2346.222**

Tablo 42. İzolatörsüz Yapı Beton Metrajı

BETON METRAJI

Açıklama	Hacim [m³]
3. KAT	
DÖŞEMELER	149.253
KİRİŞLER	141.064
KOLONLAR	60.760
3. KAT TOPLAM	**351.077**
2. KAT	
DÖŞEMELER	149.253
KİRİŞLER	141.064
KOLONLAR	60.760
2. KAT TOPLAM	**351.077**
1. KAT	
DÖŞEMELER	149.253
KİRİŞLER	141.064
KOLONLAR	60.760
1. KAT TOPLAM	**351.077**
ZEMİN KAT	
DÖŞEMELER	149.253
KİRİŞLER	141.064
KOLONLAR	60.760
RADYE TEMELLER	838.395
ZEMİN KAT TOPLAM	**1189.472**
GENEL TOPLAM	**2242.701**

Tablo 43. İzolatörlü Yapının Kalıp Metrajı

KALIP METRAJI

Açıklama	Alan [m²]
3. KAT	
DÖŞEMELER	746.26
KİRİŞLER	535.13
KOLONLAR	304.78
3. KAT TOPLAM	**1586.17**
2. KAT	
DÖŞEMELER	746.26
KİRİŞLER	535.13
KOLONLAR	304.78
2. KAT TOPLAM	**1586.17**
1. KAT	
DÖŞEMELER	746.26
KİRİŞLER	535.13
KOLONLAR	304.78
1. KAT TOPLAM	**1586.17**
ZEMİN KAT	
DÖŞEMELER	739.34
KİRİŞLER	486.69
KOLONLAR	552.78
RADYE TEMELLER	98.42
ZEMİN KAT TOPLAM	**1877.23**
GENEL TOPLAM	**6635.74**

Tablo 44. İzolatörsüz Yapının Kalıp Metrajı

KALIP METRAJI

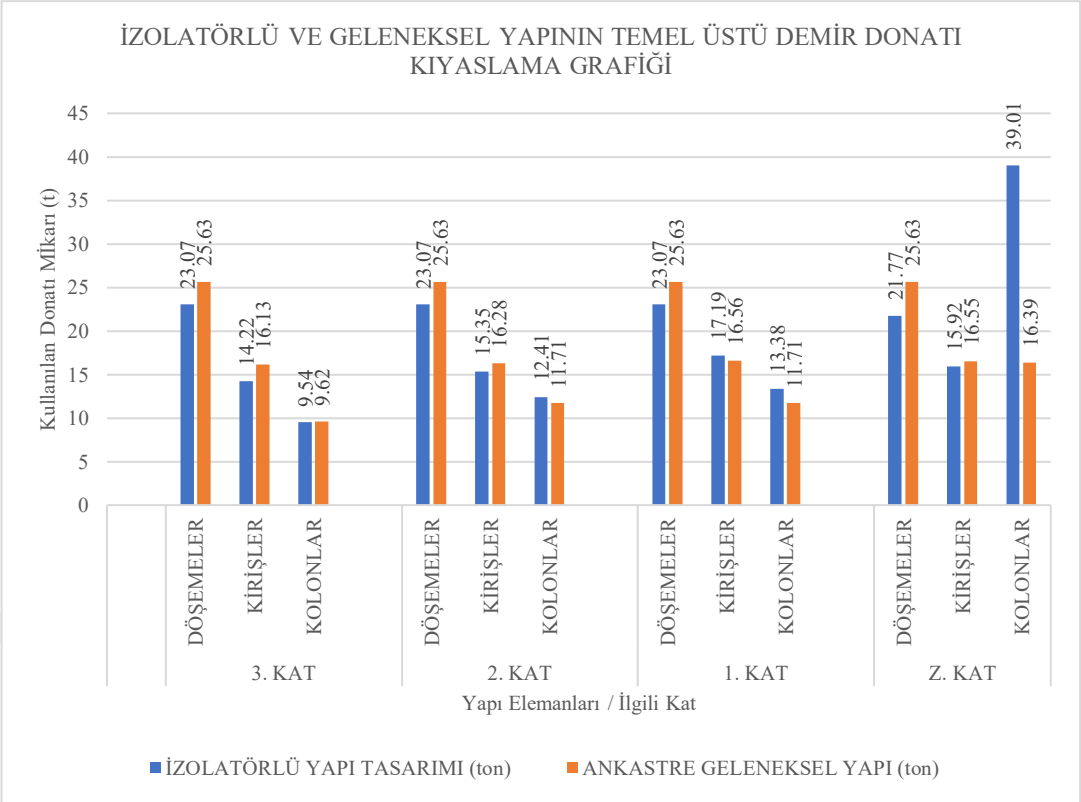
Açıklama	Alan [m²]
3. KAT	
DÖŞEMELER	746.26
KİRİŞLER	535.13
KOLONLAR	304.78
3. KAT TOPLAM	**1586.17**
2. KAT	
DÖŞEMELER	746.26
KİRİŞLER	535.13
KOLONLAR	304.78
2. KAT TOPLAM	**1586.17**
1. KAT	
DÖŞEMELER	746.26
KİRİŞLER	535.13
KOLONLAR	304.78
1. KAT TOPLAM	**1586.17**
ZEMİN KAT	
DÖŞEMELER	746.26
KİRİŞLER	535.13
KOLONLAR	304.78
RADYE TEMELLER	98.42
ZEMİN KAT TOPLAM	**1684.59**
GENEL TOPLAM	**6443.11**

Tablo 45. Geleneksel Yapı Tasarımının Donatı Metrajı (ton)

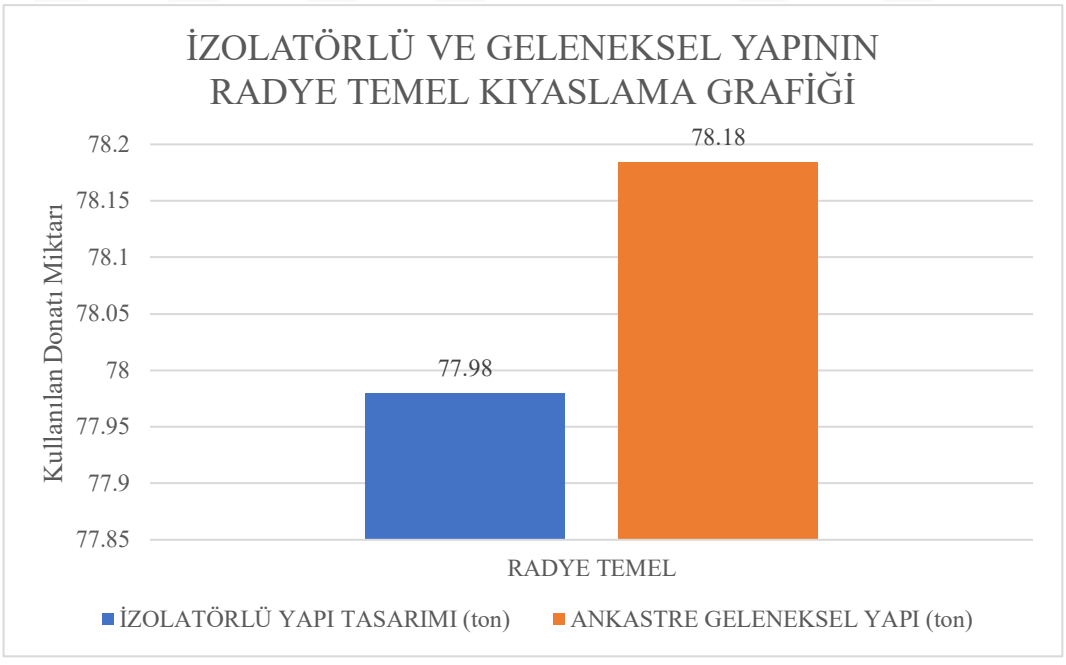
GELENEKSEL YAPI TASARIMI (ANKASTRE) (ton)								
Açıklama	Ø8 [t]	Ø10 [t]	Ø12 [t]	Ø14 [t]	Ø16 [t]	Ø20 [t]	Ø22 [t]	(Ø8-Ø22) [t]
3. KAT								
DÖŞEMELER			19.27		6.35			25.63
KİRİŞLER		6.61	0.06	0.00	5.69	3.77		16.13
KOLONLAR		6.08				3.54		9.62
3. KAT TOPLAM								0.00
2. KAT								
DÖŞEMELER			19.27		6.35			25.63
KİRİŞLER		6.61	0.06	0.01	6.12	3.49		16.28
KOLONLAR		6.08				5.63		11.71
2. KAT TOPLAM								0.00
1. KAT								0.00
DÖŞEMELER			19.27		6.35			25.63
KİRİŞLER		6.61	0.06	0.01	6.11	3.78		16.56
KOLONLAR		6.08				5.63		11.71
1. KAT TOPLAM								0.00
ZEMİN KAT								0.00
DÖŞEMELER			19.27		6.35			25.63
KİRİŞLER		6.61	0.06	0.01	5.98	3.89		16.55
KOLONLAR		7.15				9.24		16.39
RADYE TEMELLER	1.57				0.84		75.78	78.18
ZEMİN KAT TOPLAM								
GENEL TOPLAM	1.57	51.83	77.33	0.02	50.15	38.96	75.78	295.63

Tablo 46. İzolatörlü Yapı Tasarımının Donatı Metrajı (ton)

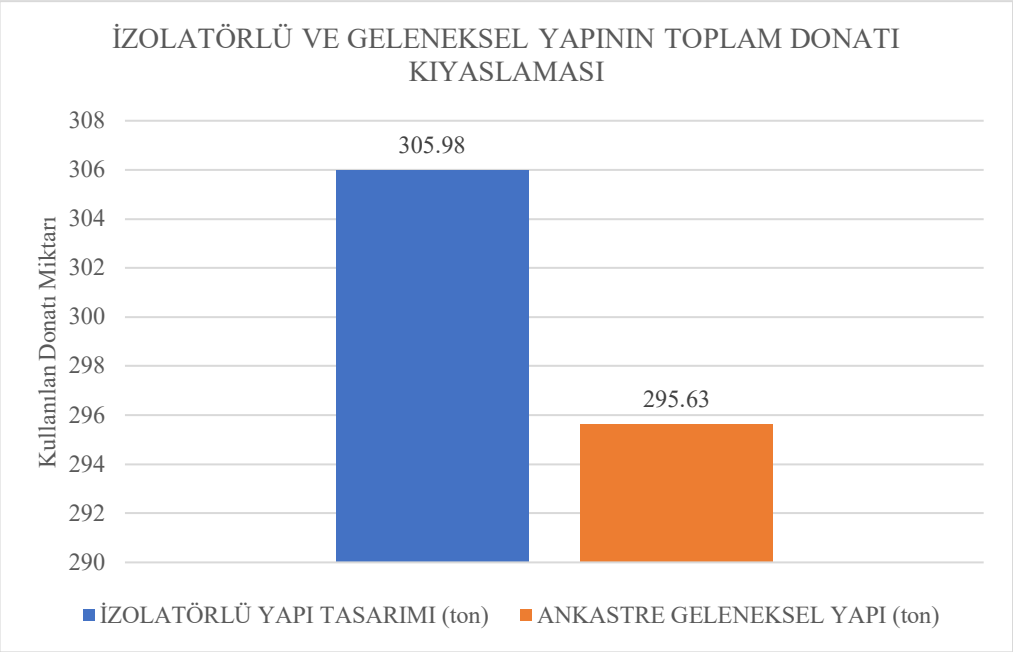
İZOLATÖRLÜ YAPI TASARIMI								
Açıklama	**Ø8 [t]**	**Ø10 [t]**	**Ø12 [t]**	**Ø14 [t]**	**Ø16 [t]**	**Ø20 [t]**	**Ø22 [t]**	**(Ø8-Ø22) [t]**
3. KAT								
DÖŞEMELER		8.91	7.81		6.35			23.07
KİRİŞLER	4.19		0.06	0.01	5.87	4.09		14.22
KOLONLAR	6.05				3.49			9.54
3. KAT TOPLAM								0
2. KAT								
DÖŞEMELER		8.91	7.81		6.35			23.07
KİRİŞLER	4.22		0.07	0.04	5.96	5.06		15.35
KOLONLAR	6.02				6.39			12.41
2. KAT TOPLAM								0
1. KAT								0
DÖŞEMELER		8.91	7.81		6.35			23.07
KİRİŞLER	4.37		0.09	0.05	6.32	6.36		17.19
KOLONLAR	5.96				7.42			13.38
1. KAT TOPLAM								0
ZEMİN KAT								0
DÖŞEMELER		10.15	8.97	0.77	1.88			21.77
KİRİŞLER	4.08		0.11	0.06	6.35	5.32		15.92
KOLONLAR	18.63				20.38			39.01
RADYE TEMELLER	1.57				0.63		75.78	77.98
ZEMİN KAT TOPLAM								
GENEL TOPLAM	55.09	36.88	32.73	0.93	83.74	20.83	75.78	305.98



Şekil 106. İzolatörlü ve Geleneksel Yapının Temel Üstü Demir Donatı Kıyaslama Grafiği



Şekil 107. İzolatörlü Ve Geleneksel Yapının Radye Temel Kıyaslama Grafiği



Şekil 108. İzolatörlü ve Geleneksel Yapının Toplam Donatı Kıyaslaması

Tablo 47. İzolatörlü Yapının Kaba Yapı Metrajları

TOPLAM METRAJ

1-	C40 BETON	2346.22
2-	BETON KALIP	6635.74
3-	B420C DONATI (İNCE)	124.68
	B420C DONATI (KALIN)	181.27
	B420C DONATI (TOPLAM)	305.95

Tablo 48. İzolatörsüz Yapının Kaba Yapı Metrajları

TOPLAM METRAJ

1-	C40 BETON	2242.70
2-	BETON KALIP	6443.11
3-	B420C DONATI (İNCE)	130.73
	B420C DONATI (KALIN)	164.91
	B420C DONATI (TOPLAM)	295.63

	HAZIR BETONLAR (GRI RENKTE, NORMAL)		
15.150.1001	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 8/10 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	2.628,35
15.150.1002	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 12/15 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	2.753,35
15.150.1003	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 16/20 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	2.901,28
15.150.1004	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 20/25 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	3.026,28
15.150.1005	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 25/30 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	3.151,28
15.150.1006	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	3.276,28
15.150.1007	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 35/45 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	3.401,28

-173-

01.01.2025

15.100.-İnşaat Birim Fiyat Tarifleri Eki Fiyat Listesi

Poz No	Tanımı	Ölçü Birimi	Birim Fiyat TL
15.150.1008	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 40/50 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	3.526,28
15.150.1009	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 45/55 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	3.651,28
15.150.1010	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 50/60 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	3.776,28

Şekil 109. Hazır Beton İnşaat Birim Fiyatları (2025 yılı)

	KALIP		
15.180.1001	Ahşaptan seri kalıp yapılması	m²	267,76
15.180.1002	Ahşaptan düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı yapılması	m²	705,75
15.180.1003	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	m²	824,39
15.180.1004	Sac ile eğri yüzeyli beton ve betonarme kalıbı yapılması	m²	779,49
15.180.1007	Tünel kalıp sistemi ile betonarme kalıp yapılması	m²	853,36
	KALIP VE İŞ İSKELELERİ		
15.185.1005	Çelik borudan kalıp iskelesi yapılması (0,00-4,00 m arası)	m³	103,20
15.185.1006	Çelik borudan kalıp iskelesi yapılması (4,01-6,00 m arası)	m³	119,36
15.185.1007	Çelik borudan kalıp iskelesi yapılması (6,01-8,00m arası)	m³	135,53
15.185.1008	Çelik borudan kalıp iskelesi yapılması 8,01-10,00m arası)	m³	151,70
15.185.1013	Ön yapımlı bileşenlerden oluşan tam güvenlikli, dış cephe iş iskelesi yapılması. (0,00-51,50 m arası)	m²	178,73
15.185.1014	Ön yapımlı bileşenlerden oluşan tam güvenlikli, tavanlar için iş iskelesi yapılması. (0,00-21,50 m arası)	m³	145,16

Şekil 110. Betonarme Kalıp Birim Fiyatları (2025 yılı)

01.01.2025

15.100.-İnşaat Birim Fiyat Tarifleri Eki Fiyat Listesi

Poz No	Tanımı	Ölçü Birimi	Birim Fiyat TL
15.155.1016	24 cm kalınlığında önyapımlı öngerilmeli boşluklu ağır taşıyıcı beton döşeme elemanları ile döşeme yapılması.	m²	2.688,53
15.160.1001	Nervürlü çelik hasırın yerine konulması 1,500-3,000 kg/m2 (3,000 kg/m2 dahil)	Ton	38.243,75
15.160.1002	Nervürlü çelik hasırın yerine konulması 3,001-10,000 kg/m² (10,000 kg/m² dahil)	Ton	37.421,88
15.160.1003	Ø 8 - Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	Ton	39.429,35
15.160.1004	Ø 14 - Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	Ton	38.016,85
15.160.1005	Ø 28 mm den büyük nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	Ton	37.266,85

Şekil 111. Nervürlü Beton Çelik Çubuğu İnşaat Birim Fiyat Tarifleri (2025 yılı)

"İzolatörlü Yapının" kullanılan demir donatı miktarı toplam 305.98 ton, "Ankastre Geleneksel Yapıda" (sağ tablo) ise kullanılan demir donatı miktarı 295.63 ton çıkıyor. Bu durumda izolatörlü sistemin demir donatı miktarının daha ağır olduğu görülüyor.

Tablo 49. Yapı Tipine Göre Toplam Donatı Ağırlığı

Tasarım	Toplam Donatı Ağırlığı
İzolatörlü Yapı	305,98 t
Ankastre Geleneksel	295,63 t

SONUÇLAR

Bu bölümde izolatörülü ve izolatörsüz yapısal modellerinin İdeCAD V11 programında tasarlanarak yapısal elemanlardaki donatı ve beton miktarlarındaki değişimler ve buna etkileri tartışılacaktır. Geleneksek yapıya izolatör sistemi ekledikten sonra yapının davranış değişikliği ve buna bağlı yapının talep donatı ve beton miktarları incelenecektir. Ayrıca bu çalışmadan elde edilen sonuçlar daha önce yapılan araştırmanın sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır.

Karşılaştırma ve Yorumlar

Bu çalışmada, sismik izolatörlü yapı ile geleneksel ankastre yapı sistemleri, toplam donatı ağırlıkları ve yapısal eleman bazında detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Hesaplamalara göre izolatörlü yapı sisteminin toplam donatı ağırlığı 305,98 ton iken, ankastre sistemde bu değer 295,63 tondur. Yaklaşık **10 tonluk** bu fark, izolatörlü sistemde özellikle zemin kat kolonlarının izolatör ebatlarına uygun biçimde büyütülmesinden kaynaklanmaktadır.

Toplam maliyet farkı:
33.633.346,88 TL (izolatörlü) − 24.664.610,76 TL (izolatörsüz) = 8.968.736,12 TL

Yüzdesel artış: (8.968.736,12 ÷ 24.664.610,76) × 100 ≈ %36,36

Sismik izolatörlü yapının toplam maliyeti izolatörsüz yapıya göre yaklaşık %36 daha fazla olmuştur. Bu farkın en büyük kısmı (~8 milyon TL), doğrudan izolatör ekipman maliyetinden kaynaklanmaktadır.

Yapısal sistemde izolatör kullanımıyla birlikte, beton ve donatı ihtiyacında az bir artış olmuştur. Ancak bu farklar %5 civarında olup, genel maliyet artışını önemli ölçüde etkilememektedir.

Yüksek sismik güvenlik sağlanması ve yapıdaki taleplerin azaltılması göz önünde bulundurulduğunda, izolatör maliyetinin orta–uzun vadede ekonomik avantaj sağlayabileceği değerlendirilmektedir (özellikle hastane, okul gibi iş sürekliliği kritik yapılarda).

Tablo 50. İzolatörlü ve İzolatörsüz Yapıların Toplam Maliyet Karşılaştırması

Kalem	Ölçü Birimi	Birim Fiyat (TL)	İzolatörsüz Miktar	İzolatörsüz Maliyet (TL)	İzolatörlü Miktar	İzolatörlü Maliyet (TL)
Hazır Beton (C40/50)	m^3	3.526,28	2.242	7.910.378,76	2.346	8.272.006,88
Kalıp (plywood)	m^2	824,00	6.443	5.308.232,00	6.635	5.467.340,00
Donatı (ortalama)	ton	~38.800 (ortalama)	295	11.446.000,00	305	11.834.000,00
Sismik İzolatör (31 adet)	adet	~260.000 TL*	0	0	31	8.060.000,00
Toplam Maliyet (TL)				**24.664.610,76**		**33.633.346,88**

Yapı tiplerine göre malzeme tüketimi ve işçilik giderleri üzerinden gerçekleştirilen ekonomik analiz kapsamında, izolatörlü sistemin ilk yatırım maliyetindeki artışa karşın, donatı ve beton tüketimindeki azalma sayesinde toplam maliyette önemli avantajlar sağladığı görülmektedir (Tablo 50). Bu sonuç, sistem seçiminin yalnızca yapısal güvenlik değil, aynı zamanda ekonomik verimlilik açısından da dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Neden İzolatörlü Sistem Daha Ağır?

Döşemelerdeki Artış

- İzolatörlü sistemde döşeme kalınlıkları daha yüksek çıkmış. Bu, deprem izolatörlerinin yerleştirilmesi için gerekli rijitlik artışından kaynaklanıyor.

Kolonlardaki Artış

- İzolatörlü sistemde zemin kat kolonları daha yüksek çıkmış. Bu, deprem izolatörlerinin yerleştirilmesi için gerekli rijitlik artışından kaynaklanıyor.
- Avantaj: Daha hafif toplam ağırlık (~10 ton tasarruf).
- Dezavantaj: Zemin kat kolonları aşırı yüklü → Depremde kesit tesirleri çok yüksek.

- İzolatörlü Yapı Avantaj: Kolonlar daha az dinamik yükleri almaktadır, yük dağılımı daha dengeli.
- Dezavantaj: Toplam ağırlık fazla → Maliyette Alt Yapının tasarımı etkilidir.

Sonuç

- İzolatörlü sistem, deprem performansı için daha dengeli bir tasarım sunuyor, ancak daha ağır çıkıyor.
- Ankastre sistem daha hafif, ancak yapısal elemanlar deprem için riskli.
- Tercih, deprem güvenliği öncelikliyse izolatörlü, maliyet öncelikliyse ankastre yapı olabilir. İzolatörlü sistemin ağırlık artışı, daha iyi bir deprem performansı sağlamak için bilinçli bir tercihtir.
- Yapılan maliyet analizi sonucunda, sismik izolatörlü sistemin toplam maliyeti izolatörsüz sisteme göre yaklaşık %36 daha fazladır. Ancak bu farkın büyük kısmı izolatörlerin ilk ekipman maliyetinden kaynaklanmakta olup, yapıdaki talepleri azaltması ve uzun vadeli dayanım avantajı düşünüldüğünde izolatörlü sistemin özellikle yüksek önem dereceli yapılar için tercih edilebilir olduğu görülmektedir.

KAYNAKÇA

Alasaf, E., ve Öztürk, H. (2022). Sismik izolatörlü yapıların tasarımına etki eden faktörlerin incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(4), 2155–2164. https://doi.org/10.29130/dubited.1089421

Altınay, M. K. (2024). Farklı sismik izolatör tipleri ile tasarlanan betonarme yapıların davranışlarının incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Arslan, A. C. (2024). Elastomer izolatörlerin alt ve üst sınır değerlerinin sismik izolasyonlu binaların kat ivmesi tepkilerine etkisi (Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Atmaca, K. (2024). The effects of seismic isolators on RC building's earthquake performance, life cycle energy consumption and carbon footprint (Yüksek lisans tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Baş, A. S. (2024). Betonarme yapılarda sismik izolatör kullanımı ve sismik izolatör tiplerinin incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Biçer, B. (2023). Finite element analysis of elastomeric bearings under cyclic shear loading (Yüksek lisans tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Çatlıoğlu, O. (2021). Earthquake performance and project budget comparison of a conventional building and a seismically isolated building (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Çavdar, E., ve Özdemir, G. (2018). Ölçeklendirilen deprem kayıtlarının farklı doğrultularda etkimesi durumunda izolatör deplasmanlarında gözlenen artış. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 585–598. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416367

Çilsalar, H. (2022). Prediction model for base shear increase due to vertical ground motion in friction pendulum isolated structures. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(1), 175–190. https://doi.org/10.17482/uumfd.959868

Dereli, A. (2025). Çelik yapılarda NRB tipi sismik izolatörlerin kullanımının deprem performansına etkilerinin incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Dilek, T. (2024). Mevcut betonarme yapı üzerine rijit ve sismik izolatör bağlantılı betonarme ve çelik ek kat tasarımı ve dinamik performanslarının karşılaştırılması (Yüksek lisans tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Dursun, M. (2024). Sismik izolatörlü yapılarda rijit cisimlerin sallanma hareketinin incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Dürüst, O. (2023). Farklı kat seviyelerinde kullanılan sismik izolatörlerin yapı davranışı üzerine etkisinin incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Eniş, A. (2024). Depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik izolatör kullanımı ve kullanıcı tercihine etkisi (Yüksek lisans tezi, Haliç Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Gazi, Ö. (2024). Yüksek yapılarda sismik izolatörün kullanım etkisi incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Güneş, H. (2024). Binada yatay salınımı azaltan deprem izolatörlerinin rijitliğinin incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Gürbüz, A., ve Kayıkçı, F. Y. (2024). Zemin-yapı etkileşimini dikkate alan analizlerde sismik taban izolatörünün etkisi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 6(2), 271–285. https://doi.org/10.46464/tdad.1383585

Hüner, İ. (2023). Doğrusal olmayan analiz ile deprem yükleri altında taban izolatörlü LNG tanklarının davranışlarının karşılaştırılması (Doktora tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

İsanç, M. E. (2023). Design of a metal vibration isolator with high internal damping (Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Kızıltaş, O. (2023). Broadband and high frequency piezoelectric energy harvesting system with curved panels for passive vibration isolator (Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Köken, A. (2023). Titreşim izolatörü kullanılarak pres tezgahının temelindeki titreşimlerin azaltılması üzerine bir araştırma (Doktora tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Naimi, S., ve Waheb, M. H. (2019). Deprem etkisindeki yapıların sismik taban izolasyonu ve çoklu ayarlı kütle sönümleyici sistemleri ile karma korunması. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 499–516. https://doi.org/10.18185/erzifbed.523955

Özer, E., ve İnel, M. (2021). Sismik izolatörlerin betonarme konut binasının performansı üzerindeki etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 303–311. https://doi.org/10.5505/pajes.2020.36825

Özkan, A. M., Gürsoy, Ş., ve Garip, Z. Ş. (2023). Zemin kat yüksekliği ve kat adedi farklı olan betonarme binalarda sismik izolatör kullanımının bina davranışına etkisinin incelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 15(2), 671–688. https://doi.org/10.29137/umagd.1253099

Öztürk, H., ve Özdemir, G. (2024). Ölçeklendirme yönteminin ve sismik izolatör modelleme tekniğinin sismik izolatörlü bir yapının tepkisi üzerindeki etkisi.

Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 39(3), 1525–1540. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1119686

Öztürk, Ş. (2023). TBDY 2018'e göre betonarme yapıların farklı tip sismik izolatör birimleri kullanılarak modellenmesi ve analizi (Yüksek lisans tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Polat, H. İ. (2019). Betonarme bir yapıda geleneksel yöntem ve taban izolatörü kullanımının karşılaştırmalı analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 43–54. https://doi.org/10.31590/ejosat.495856

Severcan, M. H., ve Şen, P. (2019). Sismik izolatörlü binalarda kat adedi etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 500–510. https://doi.org/10.28948/ngumuh.609356

Sönmez, B. (2024). Optimization of isolators between floors of a high-rise building (Yüksek lisans tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Şahbaz, M. (2024). Tel halat izolatörlerin dinamik davranış modellerinin karşılaştırmalı analizleri (Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Şorabatır, A. (2025). 4 katlı çelik bir yapıda sismik izolatör kullanılmasının deprem etkisinin araştırılması (Yüksek lisans tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Toplu, E., ve Kırtel, O. (2021). Sismik taban yalıtımlı yapılarda zaman tanım alanında analiz ve artımsal tek modlu itme yöntemlerinin karşılaştırılması. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(2), 123–131. https://doi.org/10.46810/tdfd.897951

Vardallı, C. (2023). Design optimization and experimental validation of the additively manufactured passive vibration isolator of an inertial measurement unit in aerospace applications (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Yaşar, C. (2024). Influence of low temperature exposure time on the mechanical properties of a lead rubber bearing (Yüksek lisans tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Yazıcı, A. M. (2024). Kurşun çekirdekli sismik izolatör tasarımı ve parametrelerin irdelenmesi (Yüksek lisans tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)