T. C.

İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

BETONARME ÇOK KATLI YAPILARDA DÖŞEME TİPLERİNİN PERFORMANS ANALİZİNE ETKİSİ

Yüksek Lisans Tezi

Türker ATEŞ

Danışman
Prof. Dr. Abdullah Necmettin GÜNDÜZ

İstanbul – 2024

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı-Soyadı	:	Türker ATEŞ
Tezin Dili	:	Türkçe
Tezin Adı	:	Betonarme çok katlı yapılarda döşeme tiplerinin yapı performansına etkisi
Enstitü	:	İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	:	İnşaat Mühendisliği
Tezin Türü	:	Yüksek Lisans
Tezin Tarihi	:	10.07.2024
Sayfa Sayısı	:	93
Tez Danışmanları	:	Prof. Dr. Abdullah Necmettin GÜNDÜZ
Dizin Terimleri	:	Performans Analizi, Betonarme Yapılar, Betonarme Döşeme Tipleri
Türkçe Özet	:	Farklı döşeme tipine sahip yapıların performans analizlerinin yapılması ve sonuçlarının karşılaştırılması
Dağıtım Listesi	:	1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne 2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

Türker ATEŞ

T. C.

İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

BETONARME ÇOK KATLI YAPILARDA DÖŞEME TİPLERİNİN PERFORMANS ANALİZİNE ETKİSİ

Yüksek Lisans Tezi

Türker ATEŞ

Danışman
Prof. Dr. Abdullah Necmettin GÜNDÜZ

İstanbul – 2024

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.

Türker ATEŞ

…./…./2024

T.C.

İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Türker ATEŞ' in **"Betonarme Çok Katlı Yapılarda Döşeme Tiplerinin Yapının Deprem Performansına Etkisi"** adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı İnşaat Mühendisliği Bilim Dalı YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof. Dr. Abdullah Necmettin GÜNDÜZ(Danışman)

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Erdal COŞKUN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

.... / .... / 2024

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Ülkemiz, binlerce yıldır doğal afetlerin sıkça yaşandığı bir coğrafyada konumlanmıştır. Her deprem, toplumumuza derin izler bırakmış ve insanlarımızın güvenliği için ciddi bir uyarı niteliği taşımıştır. Bu trajik olaylardan sonra, "Deprem öldürmez, bina öldürür." sözü, adeta bir öğüt haline gelmiş ve yapı sektöründe daha dayanıklı binaların inşa edilmesi için çaba sarf edilmiştir. Teknolojinin ilerlemesi ve akademik araştırmaların artması sayesinde yapılar hakkında daha kapsamlı bir anlayışa sahip olsak da, 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ta yaşanan depremler, yapıların hala yeterli düzeyde dayanıklı olmadığını göstermiştir.

Bugünün dünyasında, kaset döşemeleriyle ilgili derin fikir ayrılıkları yaşanmaktadır. Özellikle deprem bölgelerinde kullanımlarının yasaklanması gerektiğini savunanlara karşın, uygun önlemler alındığında herhangi bir sakıncanın olmayacağı görüşü daha yaygındır. Bu nedenle, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde kaset döşemelerin sınırlandırılmadığını görülmektedir.

Bu çalışma, farklı döşeme türlerinin yapıların performansına olan etkilerini derinlemesine incelemeyi amaçlamaktadır. Mevcut bir yapının düşey taşıyıcı sistemini değiştirilmeden, farklı döşeme tipleriyle modellenerek, ardından tek modlu doğrusal olmayan itme yöntemiyle analiz edilmektedir. Yapının kütle ve düzlem içi rijitliği gibi faktörler göz önünde bulundurularak, ülkemizin ihtiyaçlarına uygun döşeme tipinin tespit edilmesi hedeflenmektedir. Performans hedefini karşılamayan modeller içinse güçlendirme projesi hazırlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Performans Analizi, Betonarme Yapılar, Betonarme Döşeme Tipleri

ABSTRACT

Turkey is located in a geography where natural disasters have frequently occurred for thousands of years. Each earthquake left deep scars on our society and served as a serious warning for the safety of our people. After these tragic events, "Earthquakes do not kill, buildings do." The phrase has almost become an advice and efforts have been made in the construction industry to build more solid and durable buildings. Although we have a more comprehensive understanding of structures thanks to the advancement of technology and increased academic research, the earthquakes experienced in Kahramanmaras on February 6, 2023 have shown how vulnerable we still are.

In today's world, there are deep divides regarding waffle slab flooring. While some advocate for their prohibition, especially in earthquake-prone areas, the prevailing view is tha t with appropriate measures in place, there would be no harm. Hence, we see that waffle slab flooring is not prohibited in the 2018 Turkish Building Earthquake Regulation.

This study aims to thoroughly examine the effects of different flooring types on the performance of structures. Without altering the vertical load-bearing system of an existing structure, it will be modeled with different flooring types and then analyzed using the singlemode non-linear pushover method. Considering factors such as the mass and in-plane rigidity of the structure, the goal is to identify suitable flooring type for our country's needs. For models that do not meet performance targets, a strengthening project will be prepared.

Keywords: Performance Analysis, Reinforced Concrete Structures, Reinforced Concrete Floor Types

İÇİNDEKİLER

ÖZET **i**

ABSTRACT **ii**

İÇİNDEKİLER **iii**

KISALTMALAR **v**

TABLOLAR LİSTESİ **x**

ŞEKİLLER LİSTESİ **xii**

GRAFİKLER LİSTESİ **xiv**

ÖNSÖZ **xv**

GİRİŞ **1**

BİRİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1 Amaç ve Kapsam 2

1.2 Yöntem 2

1.3 Konuyla İlgili Önceki Çalışmalar 3

1.4 Anadolu Depremleri 6

1.5 Türkiye'de Deprem Yönetmeliklerinin Tarihsel Gelişimi 8

1.6 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) ve Tasarım İlkeleri 10

1.6.1 Dayanıma göre tasarım ilkesi 10

1.6.2 Şekildeğiştirmeye göre tasarım ilkesi 18

1.6.3 Yapı performansının değerlendirilmesi 23

İKİNCİ BÖLÜM
YAPI BİLGİLERİ VE ANALİZ

2.1 Modellenecek Yapının Bilgileri 30

2.1.1 Yapının mimarisi hakkında bilgiler 30

2.1.2 Yapının taşıyıcı sistemi hakkında bilgiler 30

2.2 Tasarım 36

2.2.1 15cm plaklı kirişli sistem 36

2.2.2 Tali kirişli sistem 46

2.2.3 Kaset döşemeli sistem 48

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KARŞILAŞTIRMA VE GÜÇLENDİRME PROJESİ

3.1 Sonuçların Karşılaştırılması 52

3.2 Güçlendirme Çalışması 56

SONUÇLAR VE ÖNERİLER 61

KAYNAKLAR 63

EKLER 66

KISALTMALAR

DBYBHY	:	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
TS500	:	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
SAP2000	:	System Analysis Program Development
f_{cm}	:	Mevcut Beton Ortalama Basınç Dayanımı
f_{ctm}	:	Mevcut Beton Ortalama Eksenel Çekme Dayanımı
f_{ctd}	:	Mevcut Beton Tasarım Eksenel Çekme Dayanımı
f_{ywd}	:	Enine Donatı Tasarım Akma Dayanımı
f_{yd}	:	Boyuna Donatı Tasarım Akma Dayanımı
E_{cj}	:	"j" Günlük Betonun Elastisite Modülü
E_s	:	Donatı Elastisite Modülü (=2x105 MPa)
$(EI)_e$	:	Çatlamış Kesite Ait Etkin Eğilme Rijitliği
$(EI)_0$	:	Çatlamamış Kesite Ait Eğilme Rijitliği
V_e	:	Kolon Kiriş ve Perdede Esas Alınan Tasarım Kesme Kuvveti
V_r	:	Kolon Kiriş ve Perde Kesitinin Kesme Dayanımı
ρ	:	Çekme Donatısı Oranı
ρ_b	:	Dengeli Donatı Oranı
ρ'	:	Basınç Donatısı Oranı
A_c	:	Kolon veya Perdenin Brüt Kesit Alanı
h	:	Çalışan Doğrultudaki Kesit Boyutu
b_w	:	Kirişin Gövde Genişliği
d	:	Kiriş veya Kolonun Faydalı Yüksekliği
r	:	Etki/Kapasite Oranı
r_s	:	Etki/Kapasite Oranının Sınır Değeri

MHB : Minimum Hasar Bölgesi

BHB : Belirgin Hasar Bölgesi

İHB : İleri Hasar Bölgesi

GB : Göçme Bölgesi

DD-1 : 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

DD-2 : 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

DD-3 : 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

DD-4 : 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

F_S : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı

F_1 : 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı

g : Yerçekimi ivmesi [g = 9.81 m/s2]

$S_{ae}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]

$S_{aeD}(T)$: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi [g]

$S_{de}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme [m]

S_{ds} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{d1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı

T : Doğal titreşim periyodu [s]

T_A : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

T_{AD} : Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

T_B : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

T_{BD} : Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

T_L : Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]

T_{LD} : Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]

T_p : Binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]

$(Vs)_{30}$: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]

$a_{nR}^{(X,Y)}(t)$: Aynı anda (X) ve (Y) deprem yer hareketi bileşenlerinin ortak etkisi altında n'inci titreşim moduna ait zamana bağlı azaltılmış doğrusal modal sözde-ivme [m/s2]

$d_{nR}^{(X,Y)}(t)$: Aynı anda (X) ve (Y) deprem yer hareketi bileşenlerinin ortak etkisinde n'inci titreşim moduna ait zamana bağlı doğrusal modal yerdeğiştirme [m]

$f_{ixn,max}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın x ekseni doğrultusunda n'inci doğal titreşim modunda i'inci kata etkiyen en büyük modal deprem yükü [kN]

$f_{ixn}^{(X,Y)}$: Aynı anda (X) ve (Y) deprem yer hareketi bileşenlerinin ortak etkisi altında n'inci titreşim modunda i'inci kata x doğrultusunda etkiyen modal deprem yükünün zamana göre değişimi [kN]

H_i : Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümde i'inci katın üst bölümün tabanından itibaren ölçülen yüksekliği [m]

$M_{oxn,max}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın x ekseni doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait en büyük modal taban devrilme momenti [kNm]

$M_{oxn}^{(X,Y)}(t)$: Aynı anda (X) ve (Y) deprem yer hareketi bileşenlerinin ortak etkisi altında n'inci titreşim modunda, modal taban devrilme momentinin zamana göre değişimi[kNm]

m_i : i'inci katın toplam kütlesi [t]

$m_{i\theta}$: i'inci katın kütle eylemsizlik momenti [tm2]

$m_{ixn}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın x ekseni doğrultusunda n'inci doğal titreşim moduna ait i'inci kat modal etkin kütlesi [t]

$m_{iyn}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın y ekseni doğrultusunda n'inci doğal titreşim moduna ait i'inci kat modal etkin kütlesi [t]

$m_{i\theta n}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın z ekseni etrafında n'inci doğal titreşim moduna ait i'inci kat modal etkin kütle eylemsizlik momenti [tm2]

$m_j(S)$: Tipik sonlu eleman düğüm noktası j'ye etkiyen tekil kütle [t]

$m_{txn}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın x ekseni doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi [t]

$m_{tyn}^{(Y)}$: (Y) deprem doğrultusu için binanın y ekseni doğrultusundaki taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi [t]

$r_{max}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için herhangi bir davranış büyüklüğüne (yer değiştirme, göreli kat ötelemesi, iç kuvvet bileşeni) karşı gelen birleştirilmiş tipik enbüyük modal davranış büyüklüğü

$a_{nr}^{(X)}$: n'inci doğal titreşim modunda (X) deprem doğrultusu için herhangi bir davranış büyüklüğüne (yer değiştirme, göreli kat ötelemesi, iç kuvvet bileşeni) karşı gelen tipik birim modal davranış büyüklüğü

$r_{n,max}^{(X)}$: n'inci doğal titreşim modunda (X) deprem doğrultusu için herhangi bir davranış büyüklüğüne (yer değiştirme, göreli kat ötelemesi, iç kuvvet bileşeni) karşı gelen tipik en büyük modal davranış büyüklüğü

$r^{(X,Y)}(t)$: Aynı anda (X) ve (Y) deprem yer hareketi bileşenlerinin ortak etkisi altında herhangi bir davranış büyüklüğüne (yer değiştirme, göreli kat ötelemesi, iç kuvvet bileşeni) karşı gelen tipik davranış büyüklüğünün zamana göre değişimi

$r_n^{(X,Y)}(t)$: Aynı anda (X) ve (Y) deprem yer hareketi bileşenlerinin ortak etkisi altında n'inci titreşim modunda herhangi bir davranış büyüklüğüne (yer değiştirme, göreli kat ötelemesi, iç kuvvet bileşeni) karşı gelen tipik modal davranış büyüklüğü'nün zamana göre değişimi

$S_{aR}(T_n)$: n'inci titreşim moduna ait azaltılmış tasarım spektral ivmesi[g]

T_n : n'inci moda ait doğal titreşim periyodu [s] ug''(X)(t) = (X) deprem doğrultusunda tanımlanan yer ivmesi bileşeninin zamana göre değişimi [m/s2]

$u_g''^{(Y)}(t)$: (Y) deprem doğrultusunda tanımlanan yer ivmesi bileşeninin zamana göre değişimi [m/s2]

$V_{txn,max}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın x ekseni doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait en büyük modal taban kesme kuvveti [kN]

$V_{txn}^{(X,Y)}(t)$: Aynı anda (X) ve (Y) deprem yer hareketi bileşenlerinin ortak etkisi altında n'inci titreşim modunda, modal taban kesme kuvvetinin zamana göre değişimi

YM : Yeterli titreşim modu sayısı βmin = m'inci ve n'inci doğal titreşim periyotlarının oranı

$\Phi_i^{(X)n}$: i'inci katta (X) deprem doğrultusunda n'inci doğal titreşim mod şekli genliği

Φ_{ixn} : i'inci katta x ekseni doğrultusunda n'inci doğal titreşim mod şekli genliği

Φ_{iyn} : i'inci katta y ekseni doğrultusunda n'inci doğal titreşim mod şekli genliği

$\Phi_{in\theta}$: i'in ci katta z ekseni etrafında dönme olarak n'inci doğal titreşim mod şekli genliği

$\Gamma_n^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için, n'inci tireşim moduna ait modal katkı çarpanı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları 11

Tablo 2. 1 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları 11

Tablo 3. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları 12

Tablo 4. Deprem tasarım sınıfı 12

Tablo 5. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları 13

Tablo 6. Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları 14

Tablo 7. Betonarme taşıyıcı sis. elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları 16

Tablo 8. Hareketli yük kütle katılım katsayısı 16

Tablo 9. Beton mekanik özellikleri 33

Tablo 10. Donatı mekanik özellikleri 34

Tablo 11. 15 cm plaklı kirişli modelin burulma düzensizliği 38

Tablo 12. 15 cm plaklı kirişli modelin düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri(X) 38

Tablo 13. 15 cm plaklı kirişli modelin düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri(Y) 38

Tablo 14. 15 cm plaklı kirişli modelin kiriş hasar yüzdeleri(X) 39

Tablo 15. 15 cm plaklı kirişli modelin kiriş hasar yüzdeleri(Y) 39

Tablo 16. Burulma düzensizliği katsayısı hesabı 42

Tablo 17. Mevcut yapı kat kütleleri 47

Tablo 18. Mevcut yapı kat ötelemeleri 47

Tablo 19. Mevcut yapı düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri(X) 48

Tablo 20. Mevcut yapı düşey elem. taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri (Y) 48

Tablo 21. Mevcut yapı kiriş hasar yüzdeleri (X) 48

Tablo 22. Mevcut yapı kiriş hasar yüzdeleri (Y) 48

Tablo 23. Kaset döşemeli modelin kat kütleleri 50

Tablo 24. Kaset döşemeli modelin burulma düzensizlik katsayıları 50

Tablo 25. Kaset döşemeli modelin kiriş hasar yüzdeleri (X) 50

Tablo 26. Kaset döşemeli modelin kiriş hasar yüzdeleri (Y) 50

Tablo 27. Düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri (Y) 50

Tablo 28. Düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri (Y) 51

Tablo 29. Mevcut yerinde dökme betonarme yapılar için performans hedefi 56

Tablo 30. Güçlendirilmiş modelin kiriş hasar yüzdeleri (X) 59

Tablo 31. Güçlendirilmiş modelin kiriş hasar yüzdeleri (Y) 59

Tablo 32. Düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri (X) 59

Tablo 33. Düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri (Y) 59

Tablo 34. Güçlendirilmiş modelin performans değerlendirmesi 59

Tablo 35. Güçlendirilmiş yapının burulma düzensizlik katsayıları 60

Tablo 36. Güçlendirilmiş model metrajı 60

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Türkiye deprem tehlike haritası 8

Şekil 2. Erzincan Depremi'ne ait bir fotoğraf 9

Şekil 3. Yatay ivme spektrumu 17

Şekil 4. Tepe yerdeğiştirmesi - taban kesme kuvvet diyagramı 18

Şekil 5. Modal yer değiştirme-modal sözdeivme diyagramı 19

Şekil 6. Yatay elastik tasarım spektral ivmesinin yer değiştirmeye bağlı spektrumu 20

Şekil 7. $T_1>T_B$ durumu için diyagram 21

Şekil 8. $T_1<T_B$ durumu için diyagram 22

Şekil 9. Hasar bölgeleri 25

Şekil 10. TBDY şekil 15A.1 26

Şekil 11. Mevcut yapı temel aplikasyon planı 31

Şekil 12. Mevcut yapı giriş kat kalıp planı 31

Şekil 13. Mevcut yapı normal katlar kalıp planı 32

Şekil 14. Mevcut yapı kesit görüntüsü 32

Şekil 15. 15 cm plaklı kirişli sistem modelinin render görüntüsü 36

Şekil 16. 15 cm plaklı kirişli sistem modelinin kat kalıp planı 37

Şekil 17. 15 cm plaklı kirişli modelin kabuk eleman düşey yer değiştirmesi 37

Şekil 18. Performans hedefi için taban kesme-öteleme eğrisi 39

Şekil 19. Yapı performansı 39

Şekil 20. Hasar bölgesine geçen elemanlar 40

Şekil 21. Malzeme bilgileri 41

Şekil 22. Sismik yük bilgileri 41

Şekil 23. Kolon numaralandırması 42

Şekil 24. Kesit bilgileri 43

Şekil 25. Kiriş için akma dayanımı ve dönme eğriliği 43

Şekil 26. Kolon için akma dayanımı ve dönme eğriliği 44

Şekil 27. Modal sözdeivme-modal yerdeğiştirme eğrisi 45

Şekil 28. Mafsal bilgileri 45

Şekil 29. *SAP2000* hasar bölgesine geçen elemanlar 46

Şekil 30. Mevcut yapı modelinin render görüntüsü 47

Şekil 31. Kaset döşeme detayı 48

Şekil 32. Kaset döşemeli sistem mevcut kalıp planı 49

Şekil 33. Kaset döşemeli sis. modelinin kabuk eleman düşey yerdeğiştirmesi 49

Şekil 34. Modellerin kütleleri 52

Şekil 35. Modellerin yatay elastik tasarım spektrumları 52

Şekil 36. Modellere gelen taban kesme kuvveti 53

Şekil 37. Modellerin tepe yer değiştirmesi - taban kesme kuvveti 54

Şekil 38. Kaset döşemeli sistem s203 kolonu iç kuvvetleri 54

Şekil 39. Kaset döşemeli sistem s203 kolonu iç kuvvetleri 55

Şekil 40. Kaset döşemeli sistem döşeme f11 kuvveti 55

Şekil 41. Tali kirişli sistem f11 kuvveti 55

Şekil 42. Kaset döşemeli sistem güçlendirme sonrası kalıp planı 57

Şekil 43. Güçlendirme perdesi detayı 58

GRAFİKLER LİSTESİ

Ek Grafik 1. Tali Kirişli Sistem X Yönü Doğrusal Olmayan İtme Eğrisi 66

Ek Grafik 2. Tali Kirişli Sistem X Yönü Modal Kapasite Eğrisi 66

Ek Grafik 3. Tali Kirişli Sistem Y Yönü Doğrusal Olmayan İtme Eğrisi 67

Ek Grafik 4. Tali Kirişli Sistem Y Yönü Modal Kapasite Eğrisi 67

Ek Grafik 5. Kaset döşemeli sistem x yönü doğrusal olmayan itme eğrisi 68

Ek Grafik 6. Kaset döşemeli sistem x yönü modal kapasite eğrisi 68

Ek Grafik 7. Kaset döşemeli sistem y yönü doğrusal olmayan itme eğrisi 69

Ek Grafik 8. Kaset döşemeli sistem y yönü modal kapasite eğrisi 69

Ek Grafik 9. Güçlendirilmiş sistem x yönü doğrusal olmayan itme eğrisi 70

Ek Grafik 10. Güçlendirilmiş sistem x yönü modal kapasite eğrisi 70

Ek Grafik 11. Güçlendirilmiş sistem y yönü doğrusal olmayan itme eğrisi 71

Ek Grafik 12. Güçlendirilmiş sistem y yönü modal kapasite eğrisi 71

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, birçok kişinin desteği ve yardımıyla tamamlanmıştır. Öncelikle, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bana rehberlik eden danışmanım Prof. Dr. Abdullah Necmettin Gündüz derin şükranlarımı sunmak isterim. Sabrı, bilgeliği ve yönlendirmeleri bu çalışmanın başarıyla tamamlanmasına yardımcı olmuştur.

Ayrıca, sevgili eşim ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunmak isterim. Onların sürekli motivasyonu ve destekleri olmadan bu çalışma boyunca karşılaştığım zorlukları aşmak mümkün olmazdı.

Son olarak maddi ve manevi desteklerinden dolayı bir parçası olmaktan gurur duyduğum Büyükçekmece Belediyesi'ne ve başkanımız Sayın Dr. Hasan Akgün'e teşekkürü borç bilirim.

Saygılarımla,

GİRİŞ

Deprem tesiri yapının kütlesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Öte yandan, çerçeve sistemin oluşması için düşey taşıyıcı elemanların yeterli rijitliğe sahip yatay elemanlarla birbirine bağlanması gerekmektedir. Düzlem içi rijitliği arttırmak için yatay taşıyıcı elemanların kesiti arttırıldığında haliyle kütle de artmakta ve dolayısıyla yapı daha fazla deprem yüküne maruz kalmaktadır. Bu çalışmada mevcut bir yapının performans analizi yapılacak, sonrasında aynı yapının sadece döşemeleri değiştirilerek işlemler tekrarlanacaktır. Deprem kuşağında yer alan ülkemizde döşeme tipinin yapıyı ne ölçüde etkilediği ve kaderini nasıl değiştirebildiğinin tartışılacağı bu tezin sonuç kısmında ise yapıların performansları karşılaştırılıp gerektiği halde güçlendirme projesi hazırlanacak olup döşeme tipi seçimine farklı bir perspektiften bakılacaktır.

BİRİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada mevcut bir yapının performans analizi yapılacak, sonrasında aynı yapının sadece döşemeleri değiştirilerek işlemler tekrarlanacaktır. Çift doğrultuda nervür (kaset) döşemelerin performansı irdelenecek olup yapının kaderini ne tesirde etkilediğinin gösterilmesi amaçlanmaktadır. Örnek olarak İstanbul'da ZD sınıfı bir zemine oturan betonarme 5 katlı bir yapı incelenecek olup 475 yılda bir tekrarlanması öngörülen deprem şiddetine göre performansına bakılacaktır. Dolayısıyla çalışmanın sonuçları örnekteki yapıyla benzer özellikteki yapıları kapsamakta olup fikir verebilmektedir.

Çalışma 3 bölümden oluşmakta olup ilk bölümde çalışmanın amacı, deprem ve deprem yönetmeliklerinin tarihsel gelişimi, güncel yönetmelikteki doğrusal ve doğrusal olmayan tasarım hakkında bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde yapı hakkında sahada ve laboratuvarda yapılan testler sonucunda elde edilen veriler gösterilmiş olup yapı modelleri oluşturulmuştur. TBDY 2018 çerçevesinde itme analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre gerekmesi durumunda ilgili yapılara güçlendirme projesi hazırlanmıştır.

Üçüncü bölümde ise çalışma özetlenmiş olup analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

1.2 Yöntem

İdeCAD® paket programı kullanılarak kolon ve kirişler çubuk eleman; perde, döşeme ve temeller kabuk eleman olarak modellenip sonlu eleman metoduyla çözümlenmiştir. Yapı performansı ise sabit tek modlu itme analiziyle yapılmaktadır. Ayrıca bir model özelinde *SAP2000*® yazılım programıyla ayrıca analiz yapılıp sonuçlar kontrol edilmiştir.

1.3 Konuyla İlgili Önceki Çalışmalar

Mevcut betonarme yapıların Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018)'ne göre doğrusal ötesi analizlerinin, özellikle döşeme tipleri açısından değerlendirildiği çalışmalar pek yaygın olmamakla birlikte literatürde geçen konuyla ilgili çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Uzun'un (2014) araştırmasında, 33 katlı bir betonarme yapı üzerinde yaptığı analizlerle farklı döşeme tiplerinin deprem performansı üzerindeki etkilerini DBYBHY 2007 yönetmeliği çerçevesinde değerlendirmiştir. Yapı, 1. derece deprem bölgesinde ve Z2 zemin sınıfında bulunmaktadır. Beş farklı döşeme tipini içeren çalışmada yapılan doğrusal analizler sonucunda, asmolen döşeme sisteminin yapı ağırlığı en yüksek olan döşeme tipi olduğu ve bu nedenle en yüksek taban kesme kuvvetine maruz kaldığı belirtilmiştir. Diğer yandan, kirişsiz plak döşemenin yapı ağırlığına bağlı olarak en düşük taban kesme kuvvetine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Araştırma, periyot ve deplasman değerleri açısından kirişli plak döşemenin en düşük, kirişsiz plak döşemenin ise en yüksek değerlere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu durumun, kirişsiz plak döşemenin diğer tiplere göre daha az rijit olmasından kaynaklandığı vurgulanmıştır. Çalışma sonunda betonarme yüksek yapıların deprem performansında döşeme tipinin önemli bir faktör olduğu ve yapılan seçimin bu yapıların davranışını önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.[1]

Akkaş (2021) 18 katlı betonarme bir yapıyı 4 farklı döşeme tipiyle doğrusal ötesi analiz ederek performanslarını kontrol etmiştir. Kat yükseklikleri 4 metre ve yapının toplam yüksekliği 72 metredir. Minimum donatı oranında kesitler donatılandırılmıştır. Zemin sınıfının ZD olduğu ve yapının Sakarya Üniversitesi'nin lokasyonunda bulunduğu varsayılan yapının beton sınıfı C35 ve donatı kalitesi B420C seçilmiştir. Yığılı plastik davranışın kullanıldığı modelde 7 ivme kaydının ölçeklendirilmesiyle zaman-tanım alanında yapılan doğrusal ötesi analiz sonucunda en uzun göreli öteleme değerleri en ağır olan asmolen sistemde tespit edilmiştir[2].

Yalçın (2001) yılında yaptığı çalışmasında sonlu elemanlar metoduyla farklı kat sayısına sahip yapıların hem rijit diyafram kabulüyle hem de yarı rijit diyafram kabulüyle doğrusal deprem hesaplarını yapmıştır. Buna ek olarak, eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yönteminin ikisini de kullanarak bu iki yöntemden çıkan sonuçları da incelemiştir. Rijit diyafram modelinde üç serbestlik derecesi göz önüne alan Yalçın, her kat için 3 mod ekleyerek mod birleştirme yöntemiyle yaptığı hesaplamalarda etkin kütlenin tamamıyla hesap yapabilmiştir. Yine bu modellerin sonuçlarını incelediğinde,

perdelerin aldığı kesme kuvvetlerin yarı rijit modele nazaran çok daha yüksek olduğunu tespit eden Yalçın, özellikle kat sayısı arttığında iki farklı diyafram tipinin sonuçlarının birbirine yakınsadığını göstermiştir[3].

Aksu (2022) aynı alana sahip dikdörtgen ve altıgen şeklinde döşemelerin olduğu iki farklı yapıyı modellediği çalışmasında farklı zemin türleri için doğrusal analizler yapmıştır. Modelleri; taban kesme kuvveti, göreli öteleme, ikinci mertebe etkileri ve maliyetleri açısından karşılaştırmıştır. Analizlerini *ETABS* programı yardımıyla yapan Aksu maliyet hesabı için metrajları *Sta4CAD* yazılımı yardımıyla yapmıştır ayrıca birim fiyatları Çevre Şehircilik ve İklim Bakanlığı'ndan temin ederek maliyet hesabı yapmıştır. Çalışma sonunda en çarpıcı kısım olarak, altıgen döşeme tiplerinin her zemin sınıfı için yapılan analizler sonucunda aynı alana sahip dikdörtgen döşemeye nazaran daha az maliyetli olduğu sonucuna varmıştır[4].

Turan (2020) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, bir betonarme yapının 2007 ve 2018 Türkiye deprem yönetmeliklerine göre, *İdecad* programı kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada, 12 katlı kaset döşeme ve kirişsiz döşeme sistemlerine sahip iki konut yapısı karşılaştırılmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, göreli kat ötelemeleri, yer değiştirmeler ve kat kesme kuvvetleri gibi parametreler üzerinden grafiklendirilmiş ve yorumlanmıştır[5].

Karadeniz (2017) Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'nin 7. bölümüne dayanarak yaptığı çalışmada, ülkemizdeki literatüre giren performans analizi yöntemlerini 3 farklı yapı üzerinde uygulamıştır. Analizler *İdecad* Statik programı aracılığıyla gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler şeklinde sunulmuştur. İlk çalışmada 2007 sonrasında yapılan 2 katlı bir yapı incelenmiş ve yapı sahibi bölgedeki imar değişikliğinden faydalanarak yapıya kat ilavesi yapmıştır. İkinci çalışmada ise 1998 öncesi yapılan 2 katlı bir yapıya kat ilavesi yapılmış, ancak yapı eski yönetmeliklere göre inşa edildiği için yapıya iki aşamalı güçlendirme uygulanmıştır. Üçüncü çalışmada ise hiçbir yönetmeliğe uymayan, 1998 öncesi inşa edilmiş bir yapıda yapılan performans analizi sonucu performansı göçme durumu olarak tespit edilmiş, 20x20cm ebatlarında kolonlara sahip binanın kolonlarına betonarme manto eklenerek güçlendirme yapılmıştır. Bu güçlendirme yöntemleri çeşitli analizlerle incelenmiş ve en uygun çözüm yöntemi araştırılmıştır[6].

Demir'in (2020) çalışmasına göre, doğrusal olmayan analize (tek modlu itme analizi) dayanan incelemelerde, incelenen yapı belirgin hasar bölgesinde kalmıştır. Depremler sırasında binaların elastik olarak tasarlanmasının ekonomik olmaması

nedeniyle, deplasman esaslı yöntemler doğrusal olmayan performans aşamaları için daha uygun olduğu belirtilmiştir. Simetrik yapılar için kapasite spektrumu ve deplasman katsayısı yöntemlerinin benzer sonuçlar verdiği ancak karmaşık ve büyük yapılar için farklılık gösterebileceği belirtilmiştir. Bu gibi durumlar için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak, doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin, yapıların güçlendirilmesi ve daha yüksek sismik performans için uygun olduğu sonucuna varılmıştır [7].

Samav (2022) tezinde belirttiği gibi, Türkiye'nin aktif deprem kuşağında bulunduğu ve son 20 yılda meydana gelen depremlerin ciddi can ve mal kayıplarına neden olduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle, binaların depreme karşı dayanıklı olmasının büyük önem taşıdığı ifade edilmiştir. Samav'ın çalışmasında, mevcut betonarme yapıların doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden tek modlu itme analizi kullanılarak TBDY-2018 ve DBYBHY-2007'ye göre çeşitli analiz modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerde yapısal parametreler, döşeme tipleri, döşeme rijit diyafram kabulleri, plastik mafsallardaki momentler ve yerel zemin sınıfı parametrelerinin yapı performansı üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma sonuçları, yapıların tasarımında ve güçlendirilmesinde kullanılan parametrelerin ve hesaplama yöntemlerinin yapı performansını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur [8].

Kutlu (2013) çalışmasında farklı döşeme süreksizliklerine sahip 4 tip yapıyı modellemiş ve iki gruba ayrılarak analiz etmiştir. İlk grup çözümlerde eşdeğer analiz yöntemi, ikinci grup çözümlerde ise çok modlu mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada TDY 2007, *Eurocode 8* ve *IBC* yönetmeliklerinde yer alan düzensizliklere yer verilmiştir. Yapı modellemesi ve analizlerde ETABS programı kullanılmıştır. Sonuç olarak Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen 1/3 sınırının, boşluğun simetrik yerleştirildiği yapılarda güvenli bir oran olduğunu vurgulamış ve 1/3 üzerindeki boşluk oranlarında kesinlikle dilatasyon yapılması gerektiğini belirtmiştir. Yapıların olabildiğince düzenli modellenmesi gerektiğini ve mimari zorunluluk nedeniyle döşeme süreksizliği yapılacaksa, bu süreksizliklerin planda simetrik yerleştirilmesine özen gösterilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Ayrıca, esnek diyafram kabulünün gelişen bilgisayar teknolojisiyle desteklenmesi gerektiğini, rijit diyafram kullanımının gerçeği yansıtmadığını belirtmiştir. Çalışma, salt çerçeveli sistemler için uygulanmış olup, diğer sistem türleri için de uygulanması gerektiği vurgulanmıştır. Döşeme boşluğunun geometrisi, kat adeti, kat yüksekliği ve yerleşimlerinin parametrik olarak incelenmesi gerektiğini belirtmiştir. Son olarak,

yönetmeliklerde döşeme boşluğunun bulunduğu durumlar için hesap yöntemlerinin daha açık ve net bir şekilde belirtilmesi gerektiğini önermiştir [9].

Akyol (2017) çalışmasında, *İdeCAD* Statik programı kullanılarak modellenen yapıların TS500 ve DBYBHY 2007 deprem yönetmeliğine göre statik ve dinamik analiz yapmıştır. Parametrik çalışma sonucunda, asmolen döşemenin plak döşemeye göre %10,49-21,93 oranında daha fazla maliyete neden olduğu belirlenmiştir. Uygulamadaki durumları incelemek amacıyla, beşi asmolen ve beşi plak döşeme tipinde olmak üzere toplam on yapı seçilerek döşemelerinin diğer döşeme tipine dönüştürülmesi sonucu oluşan maliyet farkları incelenmiştir. Sonuçlara göre, tüm yapı tiplerinde asmolen döşemelerin plak döşemelere göre %1.33-15.37 oranında daha fazla maliyete neden olduğu, asmolen döşemeli projelerde tasarımcıların maliyeti düşürebilmek için taşıyıcı sistem boyutlarını asgari ve yeter güvenlik düzeyinde tasarladıkları görülmüştür. Ayrıca hem parametrik hem de seçilen gerçek yapılar için asmolen döşeme tasarımına bağlı maliyet artışlarını gösteren doğrusal eğriler de bu çalışmada sunulmuştur [10].

Ercan Işın'ın 2022 yılında yazdığı makalesinde, yapıların dayanımını zayıflatan unsurlar incelenmiştir. Özellikle ticari amaçla kullanılan binalarda zemin katlarda yaygın olan asma katların depreme karşı etkileri araştırılmıştır. Referans olarak seçilen 5 katlı bir betonarme binada, asma katın varlığı ve kat yüksekliğinin değişkenliği analiz edilmiştir. Bu yapıların yatay rijitliğinde düzensizliklere yol açtığı ve deprem kuvvetlerinin dikey elemanlara aktarımında belirsizlik yarattığı gözlemlenmiştir. Çalışmada, asma katın varlığının yapı dayanımını zayıflattığı belirtilmiş ve asma kat yapılması gerektiğinde yapının rijitliğini artırıcı önlemler alınması gerektiği vurgulanmıştır. Gelecekteki çalışmalarda farklı yapısal sistemler ve geometrilerde daha kapsamlı analizler yapılması önerilmiştir.[11]

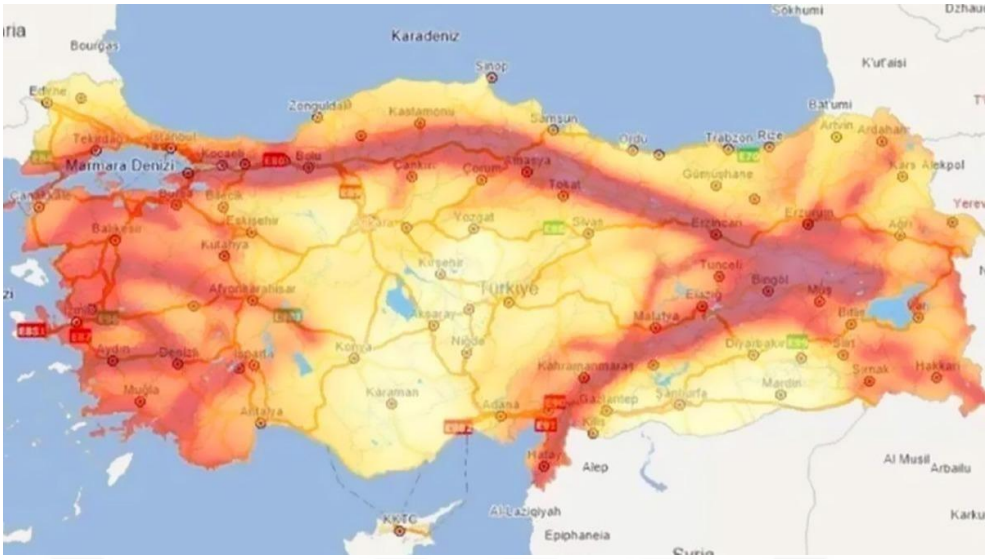
1.4 Anadolu Depremleri

Türkiye, tarih boyunca depremlerin sık sık yaşandığı bir coğrafyada konumlanmış olup, Kuzey Anadolu Fay Hattı ve Doğu Anadolu Fay Hattı gibi aktif tektonik levhaların üzerinde bulunması şiddeti yüksek depremlerin sık görüldüğü bir bölgedir. Türkiye'nin deprem tarihine dair kayıtlar, binlerce yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Özellikle Antik Yunan ve Roma dönemlerinde depremler sıklıkla yaşanmıştır. Bu dönemlerdeki depremler, arkeolojik bulgular ve tarihi kayıtlar

aracılığıyla günümüze ulaşmıştır. Örneğin, MÖ 17. yüzyılda meydana geldiği tahmin edilen ve büyük bir yıkıma yol açtığı düşünülen *Thera* Yanardağı'nın patlamasıyla ilişkilendirilen bir deprem, bölgede önemli bir olay olarak kaydedilmiştir [12]. 1506 yılında ise Büyük İstanbul Depremi meydana gelmiş, "Küçük Kıyamet" olarak adlandırılan bu deprem, son 500 yıl içinde Marmara bölgesinde gerçekleşen en büyük ve yıkıcı sarsıntılardan biri olmuştur. İstanbul'da en fazla zararı veren deprem, Bolu'dan Edirne'ye kadar geniş bir alanda hissedilmiştir. Tarihsel belgeler incelendiğinde, İstanbul'da 4000-5000 kişinin yaşamını yitirdiği, on binlerce insanın yaralandığı ve yaklaşık 1000 yerleşim yerinin hasar aldığı ortaya çıkmaktadır. Depremin ardından oluşan, yüksekliği bazı yerlerde 6 metreyi aşan dalgalar, şehrin surlarını geçerek güzergahlarındaki mahallelere ciddi zararlar vermiştir [13].

Cumhuriyet tarihinde kayıtlara geçmiş en önemli depremlerden biri 1999 yılında yaşanan Gölcük depremidir. Bu deprem, Kocaeli ve İstanbul gibi büyük şehirleri etkilemiş, binlerce insanın ölümüne ve milyarlarca dolarlık maddi zarara yol açmıştır [14]. Benzer şekilde, 2011 yılında Van'da meydana gelen deprem de ülke genelinde büyük yıkıma ve birçok can kaybına sebep olmuştur [15]. Türkiye'nin deprem tarihi, bu gibi büyük felaketlerin yanı sıra daha küçük ölçekli ancak yine de önemli deprem olaylarıyla da doludur. Ülke tarihinde yaşanan bazı depremler büyüklük dereceleriyle beraber aşağıda listelenmiştir;

- 27.12.1939 Erzincan (7.9 M_S[16])
- 09.08.1912 Tekirdağ (7.3 M_S[17])
- 24.11.1976 Van (7.5 M_S[18])
- 17.08.1999 Kocaeli (7.8 M_s[19])
- 23.10.2011 Van (7.2 M_s[20])
- 06.02.2023 Kahramanmaraş (7.8 M_s[21]).



Şekil 1. Türkiye deprem tehlike haritası [22]

Yaşanılan şiddetli depremler can ve mal kayıplarına yol açmış, kurulan bu yeni devletin kalkınma dönemini sekteye uğratmıştır. Toplumda yarattığı manevi yaralar ayrıca bir çalışma konusudur. Yaşanılan her trajediyle beraber, ülkenin deprem riski yönetimi ve yapısal dayanıklılık konularında sürekli olarak önlem alması gerektiğini açığa vurmuştur.

1.5 Türkiye'de Deprem Yönetmeliklerinin Tarihsel Gelişimi

Türkiye'de modern anlamda ilk deprem yönetmeliği, 1940 yılında İtalyanca'dan tercümesi yapılarak ülkemizde yürürlüğe giren "Zelzele Mıntıkalarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi" dir [23]. Bir zorunluluktan ziyade tavsiye niteliği taşıyan bu yönetmelikte özellikle yığma ve ahşap yapılar hakkında bilgi verilmiştir. Sadece dört yıl sonra biraz daha detaylandırılmış şekliyle "Zelzele Mıntıkaları Muvakkat Yapı Talimatnamesi" çıkarılmıştır. Yapılaşmaya uygun olmayan zeminler ilk defa bu yönetmelikle belirtilmiştir ve düşey taşıyıcı elemanların mutlak suretle birbirlerine bağlanarak çerçeve sistem oluşturulması zorunlu kılınmıştır. 1949 yılında Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği, 1953 yılında Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ve 1962 yılında Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1962)

yürürlülüğe girmiştir. Önemli bir adım 1968 yılında çıkan ABYYHY-1968 ile atılmış olup betonarme elemanların ölçüleriyle ilgili kısıtlamalar getirilmiş, ayrıca ilk defa etriye sıklaştırmasından da bu yönetmelikte bahsedilmiştir. 7 yıl sonra aynı isimle çıkan ABYYHY-1975'le beraber ilk defa tepki spektrumu kavramı lügata dahil edilmiş olup kolon-kiriş birleşimlerine dair daha detaylı yaklaşımlarda bulunmuştur.

23 sene sonra yürürlüğe giren ABYYHY-1997 ile eşdeğer deprem yükü, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında analiz kavramları detaylandırılmış ve yapı düzensizlikleri hakkında ilk defa açıklama yapılmıştır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) ise, Kobe Depremi sonrası dayanıma göre tasarımın eleştirilmesiyle şekil değiştirmeye göre tasarımın altını çizmiştir. Mevcut binaların şekil değiştirme esaslı yaklaşımlar altında performans analizi bu yönetmelikle ilk kez tanımlanmıştır. Bu açıdan mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için koşullar belirlenmiştir.



Şekil 2. Erzincan Depremi'ne ait bir fotoğraf [24]

1999 yılında Marmara Depremi, Türkiye'nin depremle mücadelesinde bir dönüm noktası olmuştur. Bu felaketin ardından, Türkiye'de deprem riskine karşı daha etkin önlemler alınması ve yapı stokunun güçlendirilmesi gerekliliği bir kez daha gündeme gelmiştir. Bu bağlamda 2001 yılında "Yapı Denetimi Hakkında Kanun", altı sene sonra da 2007 yılında "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" dönemin Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yürürlüğe konmuştur[(8)]. Bu yönetmelikler, deprem riski altındaki bölgelerde yapıların tasarımından inşasına kadar bir dizi standart ve kriter belirlemiştir. Bunun yanı sıra, yönetmelikle birlikte deprem

riski taşıyan mevcut yapıların güçlendirilmesi ve yeni yapıların depreme dayanıklı olarak inşa edilmesi için önemli düzenlemeler getirilmiştir. Ülkemizde mevcut olarak kullanılan yönetmelik ise, 18 Mart 2018 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanan "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği" dir.

1.6 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ve Tasarım İlkeleri

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, günümüzde en detaylı deprem yönetmeliklerinden biridir. Bu yönetmelikle beraber performans analizleriyle beraber deprem riski altındaki mevcut binaların güçlendirilmesi için yeni prosedürler ve kriterler getirilmiş, mevcut yapı stoğunun depreme karşı daha dirençli hale getirilmesini amaçlanmıştır. Buna ilave olarak, T.C İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından çıkarılan "Türkiye Deprem Tehlike Haritası" ndan elde edilen tasarımın yapılacağı araziye ait yer hareket parametrelerinin kullanılması zorunlu kılınmıştır. Zemin ve temel etütleriyle ilgili yönetmeliklerin de gelişmesiyle, sadece yapıların değil aynı zamanda geoteknik tasarımın da önem kazandığı anlaşılmaktadır. Başka bir yenilik de deprem salınımlarıyla ilgili getirilmiştir.

1.6.1 Dayanıma göre tasarım ilkesi

Yapının şekil değiştirmeye göre tasarımının yapılabilmesi için öncelikle elastik metotlarla dayanıma göre tasarımının yapılması gerekmektedir.

TBDY 2018 Bölüm 2.3'te spektrumlarla ilgili açıklamalarda bulunmuştur. Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için, harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak standart biçimde veya sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile özel olarak tanımlanır.

Boyutsuz harita spektral ivme katsayıları, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında tanımlanmıştır. Bu, kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s) ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1) olarak belirtilir. Harita spektral ivme katsayıları, tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürülür. Bu dönüşüm, yerel zemin etki katsayıları (F_s ve F_1) kullanılarak gerçekleştirilir. İlgili yönetmelikte bu katsayılar Tablo 1 ve 2'de verilmiştir;

Tablo 1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_S					
	$S_S \le 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \ge 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

Tablo 2. 1 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_1					
	$S_1 \le 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \ge 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

Denklem 13 ve 14 ile tasarım spektral ivme katsayıları bulunur;

$$S_{D1} = F_1 * S_1 \quad \textbf{(13)}$$

$$S_{DS} = F_S * S_S \quad \textbf{(14)}$$

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 kapsamında, deprem tehlike haritaları ve deprem yer hareketi düzeyleri belirli standartlara göre tanımlanmıştır. Deprem tehlike haritaları, binaların deprem etkisi altında tasarımında temel alınacak deprem yer hareketlerine ilişkin verileri içerir.

TBDY 2018'de belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi; DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olarak tanımlanmıştır. DD-1, çok seyrek deprem yer hareketini ifade ederken, DD-4 ise çok sık deprem yer hareketini tanımlar. Bu düzeyler, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılıklarına ve buna karşı gelen tekrarlanma periyotlarına göre belirlenmiştir. Bu düzeyler, yapısal tasarım sürecinde kullanılan deprem yüklerinin belirlenmesi ve binaların depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi için temel bir referans noktası sağlar. Bu çalışmada DD-2 deprem yer hareketi düzeyi, yani 50 yılda gerçekleşme ihtimali %10 olan deprem için tasarım yapılacaktır.

Bina kullanım sınıflarıyla ilgili açıklamalar TBDY 2018 Bölüm 3.1'de yapılmıştır ve "Bina Önem Katsayısı" na bağlı olarak aşağıda Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. 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

Binanın kullanım sınıfına ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyine bağlı olarak, TBDY 2018 kapsamında deprem etkisi altında tasarımı belirleyecek olan Deprem Tasarım Sınıfları (DTS), aşağıda Tablo 4'e göre belirlenir.

Tablo 4. Deprem Tasarım Sınıfı

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

Bina yüksekliğinin belirlenmesiyle ilgili TBDY 2018 Bölüm 3.3.1'e bakılması gerekmektedir. Bahse konu bölüme göre; bodrumlu binalarda, bina tabanı, bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanır, bu tanımlama şu iki koşulu sağlayan bodrumlu binalar için geçerlidir:

(a) Rijit bodrum perdeleri, binayı en az üç taraftan çevrelemelidir.

(b) Birbirine dik bina eksenlerinin her birinin doğrultusundaki hakim titreşim modunda, bodrum katlar dahil binanın tümü için hesaplanan doğal titreşim periyodu ile, aynı taşıyıcı sistemde zemin kat döşemesi dahil tüm bodrum kütleleri

hesaba katılmaksızın aynı doğrultuda hesaplanan doğal titreşim periyodu arasındaki oran 1.1'den küçük olmalıdır

Bina yüksekliğinin bulunmasının ardından, TBDY 2018 Bölüm 3.3.2'den yola çıkarak Tablo 5'ten Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) bulunur.

Tablo 5. Bina yükseklik sınıfları, DTS'ye göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları

Yükseklik Sınıfı	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	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yönteminde, belirlenen süneklik kapasitesi dikkate alınarak, taşıma gücü yaklaşımı ve kesit tasarımı için taşıyıcı sistemin gereken tasarım dayanımı $f_d(\mu_k,T)$, Denklem 15 ile tanımlanır:

$$f_d(\mu_k,T) = \frac{f_y(\mu_k,T)}{D} \quad \textbf{(15)}$$

Bu denklemde, D, Dayanım Fazlalığı Katsayısı'nı ifade eder. Bu katsayı, tasarım dayanımı ile akma dayanımı arasındaki fazlalığı göstermektedir. Süneklik kavramı, özünde malzemelerin gerilme-şekil değiştirme eğrisinde geçici ve kalıcı yer değiştirme bölgeleri arasındaki farka dayanmaktadır.

Dayanıma Göre Tasarım'ın hesaplama yöntemi, taşıyıcı sistemin esnek bir davranış sergilemesine ve bu nedenle deprem yüklerinin azaltılmasına dayanır.

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R , öngörülen süneklik kapasitesi μ_k 'ya, tanımlanan Dayanım Fazlalığı Katsayısı D 'ye ve Bina Önem Katsayısı I 'ya bağlı olarak tanımlanır Denklem 16 ile tanımlanır;

$$\frac{R}{I} = \mu_k D \quad \textbf{(16)}$$

Dayanıma Göre Tasarım sürecinde taşıma gücü yaklaşımıyla kesit tasarımı için, her bir taşıyıcı sistem türü için belirlenen sabit bir süneklik kapasitesine karşılık gelen

Deprem Yükü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$, ilgili yönetmelikte belirtildiği üzere Denklem 17 ve 18 ile tanımlanır:

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \qquad T > T_B \tag{17}$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right)\frac{T}{T_B} \qquad T \le T_B \tag{18}$$

R ve D sayılarının belirlenebilmesi için, Tablo 6'da yapının süneklik düzeyine karşılık gelen değerler gösterilmiştir, birbirine dik yatay doğrultular için ayrı ayrı bakılması gerekmektedir. Yönetmeliğin 4.4.3 bölümünde belirtildiği üzere R/I ve D sayıları doğrusal olmayan tasarımda 1 olarak alınacaktır.

Tablo 6. Bina Taşıyıcı Sistemleri için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları

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
A12. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 2
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.4.5**)	8	2.5	BYS ≥ 2
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.4.5**)	7	2.5	BYS ≥ 2
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen *süneklik düzeyi yüksek* betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	–
A2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
A21. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.1.2**)	6	2.5	BYS ≥ 4
A22. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.1.2**)	5	2.5	BYS ≥ 4
A23. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 6
A24. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2.5	BYS ≥ 6
A3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.3, 4.3.4.7)			
A31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı* betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	BYS ≥ 7
A32. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi sınırlı* boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	BYS ≥ 6
A33. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi sınırlı* boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	BYS ≥ 6

Kesit özelliklerinin modellenmesi hususunda, TBDY 2018 Bölüm 4.5.8 açıklanan ve Tablo 7'de gösterilen etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır. Yine yönetmelik gereği, etkin kesit rijitlik katsayıları, yalnızca deprem etkisine maruz kalan

yük birleşimlerinde kullanılacak ve bu birleşimler altındaki hesaplamalarda dikkate alınacaktır.

Tablo 7. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)	***Eksenel***	***Kayma***
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	***Eğilme***	***Kesme***
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
Çubuk eleman	***Eğilme***	***Kesme***
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı (n), aynı bölümde verilen ve aşağıda Tablo 8'de gösterildiği üzere hesaplanacaktır;

Tablo 8. Hareketli yük kütle katılım katsayısı

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

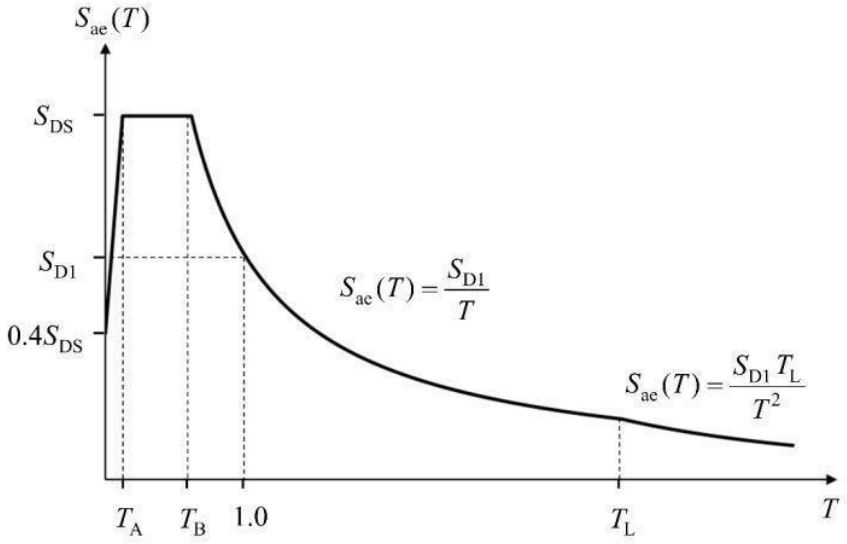
Herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için, yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri ($S_{ae}(T)$), doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem 19'da tanımlanmıştır.

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \qquad (0 \le T \le T_A)$$
$$S_{ae}(T) = S_{DS} \qquad (T_A \le T \le T_B)$$
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \qquad (T_B \le T \le T_L)$$
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \qquad (T_L \le T) \qquad \textbf{(19)}$$

Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B, Denklem 20'te S_{DS} ve S_{D1}'e bağlı olarak tanımlanmıştır.

$$T_A = 0.2\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \qquad \textbf{(20)}$$

Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodunu ifade eden T_L süresi, yönetmelik gereği 6 saniye alınmalıdır. Elde edilen bilgiler sonucunda spektrum aşağıda Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Yatay ivme spektrumu

Yapının hakim periyodu hesaplandıktan sonra bahse konu spektrum yardımıyla yapıyı etkileyecek dinamik yükün ivmesi bulunmuş olur. Yapı kütlesiyle çarpılması suretiyle deprem yükü hesaplanmış olur. Hesaplanan deprem yüklerinin hangi şekilde diğer yüklerle birleştirileceği Denklem 21 ve Denklem 22'de verilmiştir;

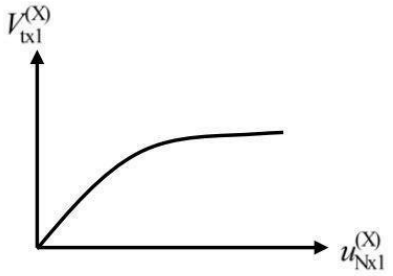
$$G + Q + 0.2S + E_{d}^{(H)} + 0.3E_{d}^{(Z)} \quad \textbf{(21)}$$

$$0.9G + H + E_{d}^{(H)} - 0.3E_{d}^{(Z)} \quad \textbf{(22)}$$

1.6.2 Şekildeğiştirmeye göre tasarım ilkesi

Şekil değiştirmeye göre tasarımda kullanılabilecek yöntemler TBDY 2018 5.5.2'nci bölümde açıklanmıştır. Buna göre bazı koşulları sağladığı takdirde itme analizi (*pushover*) veya her koşul için zaman tanım alanında analiz kullanılabilir. İtme analizi kendi içerisinde "tek modlu" ve "çok modlu" itme yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır ve farklı şartlara tabidir.

Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi'yle ilgili TBDY 2018 Bölüm 5.6.3'te açıklamalar yapılmıştır. Buna göre, her bir itme adımında, depremin doğrultusuna göre katlara etki eden deprem yükü artımları, deprem dışı yüklemelerden sonra belirlenen ve itme hesabı boyunca sabit olarak kalan bir mod şekli ile ilişkilendirilir. İtme hesabı sonucunda, tepe yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti arasındaki ilişkiyi ifade eden bir itme eğrisi elde edilir.



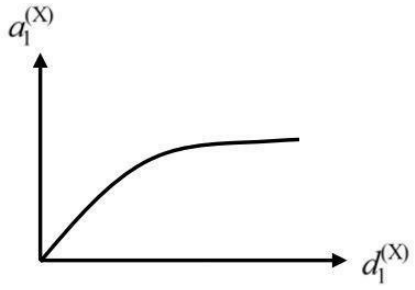
Şekil 4. Tepe yerdeğiştirmesi - taban kesme kuvvet diyagramı

Elde edilen fonksiyon, çok serbestlik dereceli bir sistemden elde edilmektedir. Ancak deplasman talebinin elde edilebilmesi için tek dereceli serbestlik derecesine sahip spektral yer değiştirme grafikleriyle karşılaştırılması gerekmektedir. Bu sebeple, eğriye uygulanan koordinat dönüşümüyle, modal yer değiştirmeye ($d_1^{(X,k)}$) ve modal sözde-ivmeye ($\alpha_1^{(X,k)}$) parametreleri Denklem 23 ve Denklem 24 ile elde edilir.

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,1)}} \quad \textbf{(23)}$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{Nx1}^{(X,k)}}{\Phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad \textbf{(24)}$$

Burada unutulmaması gereken husus, çok serbestlik derecesine sahip bir yapının tek serbestlik dereceli sistem şekline çevrilmesi amaçlandığından, formüldeki $m_{tx1}^{(X,1)}$ ile yapının toplam kütlesi değil, hakim moda katılan kütlesi kastedilmektedir. Aynı mantıkla $V_{tx1}^{(X,1)}$ ile toplam taban kesme kuvveti değil, hakim moda ait taban kesme kuvveti belirtilmektedir.



Şekil 5. Modal yer değiştirme-modal sözdeivme diyagramı

Bu sayede "modal yer değiştirme – modal sözde-ivme" ye bağlı modal kapasite diyagramı elde edilir. Kısacası çok serbestlik derecesine sahip sistemin tepe yer değiştirmesi, hakim moda katılan kütlenin yer değiştirmesi çevrilerek sistem artık tamamen tek serbestlik dereceli sisteme çevrilmiş olur.

Hesabın son aşamasında, bu diyagram, belirlenen deprem etkisi altında modal yerdeğiştirme talebini ve bu talebe bağlı olarak taşıyıcı sistemde oluşan iç kuvvetleri ve plastik şekil değişimlerini hesaplamak için kullanılır. Depremin modal yerdeğiştirme talebi, modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesine karşılık gelir ve bu, verilen deprem etkisi altında modal kapasite diyagramı tarafından temsil edilir. En büyük yerdeğiştirme ($d_{1,max}^{(x)}$), modal tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal olmayan spektral yer değiştirmesi olarak ifade edilir ve Denklem 25 ile gösterilir:

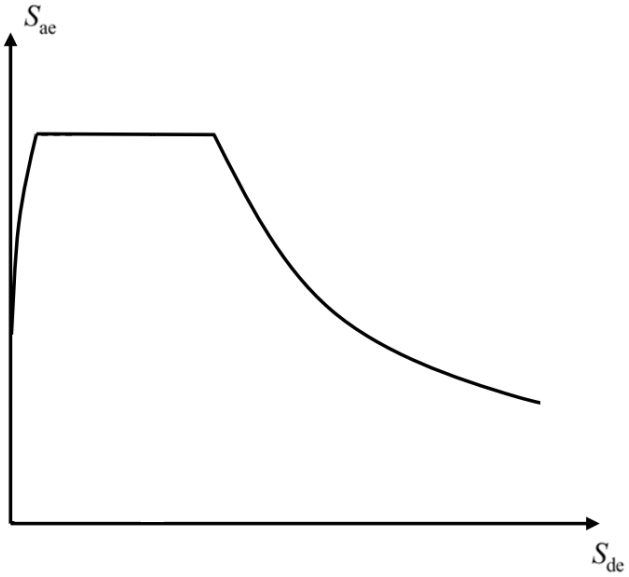
$$d_{1,\max}^{(X)} = S_{di}(T_1) \tag{25}$$

Yukarıdaki denklemde $S_{di}(T_1)$ taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu T_1'e göre belirlenen ve Denklem 26 ile ifade edilen doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme değerini sunar.

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad \textbf{(26)}$$

Burada ifade edilen $S_{de}(T_1)$, yatay elastik tasarım yer değiştirme spektrumunun ordinatı olan, doğal titreşim periyoduna bağlı metrik olarak ifade edilen yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmedir, Denklem 27 kullanılarak tanımlanır.

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g\, S_{ae}(T) \quad \textbf{(27)}$$



Şekil 6. Yatay elastik tasarım spektral ivmesinin yer değiştirmeye bağlı spektrumu

Denklem 26'daki C_R spektral yerdeğiştirme oranı olup, aşağıdaki Denklem 28 hesaplanmaktadır;

$$C_R = \frac{\mu(R_y, T_1)}{R_y} \quad \textbf{(28)}$$

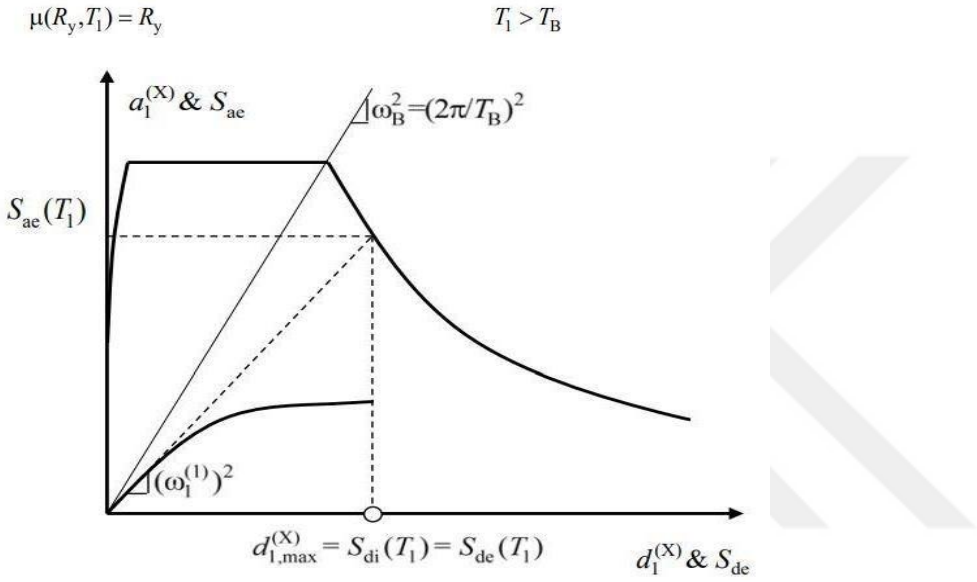
R_y, itme hesabıyla tespit edilen akma dayanımına bağlı bir büyüklüğü ifade eder ve Denklem 29 ile hesaplanır;

$$R_y = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad \textbf{(29)}$$

f_e ve $S_{ae}(T_1)$, elastik dayanım talebini ve buna karşı gelen elastik spektral ivmeyi temsil ederken, f_y ve a_{y1}, akma dayanımını ve bu talebe karşı gelen akma sözde-ivmesini ifade eder.

Denklem 29'daki $\mu(R_y,T_1)$, akma dayanımına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak ifade edilen süneklik talebini temsil eder. Bu değer aşağıdaki denklemler elde edilir:

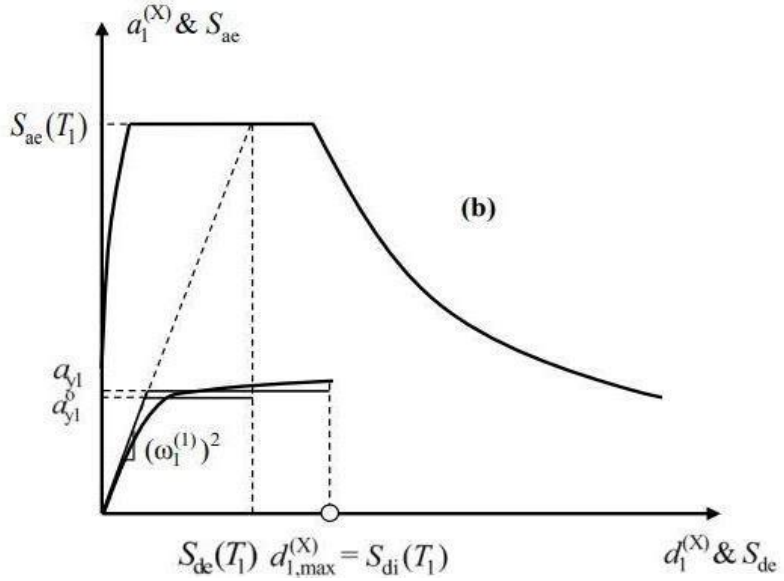
a) Denklem 29'a göre rijitliği fazla olmayan sistemler için Akma Dayanımı Azaltma Katsayısı (R_y)'na eşit alınır. Bu durumda, hakim periyottaki modal yer değiştirme ve modal sözde ivmeden(d_1 , a_1) oluşan modal kapasite eğrisi grafiği ile spektral ivme - spektral yer değiştirmeye (S_{ae} , S_{de}) bağlı doğrusal deprem deprem spektrumu birlikte aşağıdaki Şekil 7'ye göre çizilir.



Şekil 7. $T_1>T_B$ Durumu için diyagram

b) Denklem 30'a göre rijitliği fazla olan sistemler için aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\mu(R_y,T_1)=1+(R_y-1)\frac{T_B}{T_1} \qquad T_1\le T_B \qquad \textbf{(30)}$$



Şekil 8. $T_1<T_B$ Durumu için diyagram

Bu koşula göre spektral yerdeğiştirme oranı, ardışık yaklaşımla hesaplanır. Bunun için yukarıda gösterildiği üzere modal kapasite diyagramı önce $C_R = 1$ alınarak iki doğrulu elasto-plastik bir diyagrama dönüştürülür. Dönüşümü yaparken grafiklerin altındaki alanın eşit olma kuralı vardır. Bu şekilde bulunan yaklaşık akma sözde-ivmesi a^0_{y1} kullanılarak $S_{di}(T_1)$ hesaplanır. Elasto-plastik diyagram tekrar oluşturulur ve yeniden bulunan a_{y1} esas alınarak aynı işlemler tekrarlanır. Sonuçların yeterince yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.

Hesap sonucu tek serbestlik dereceli idealize edilmiş sistemin tepe yer değiştirmesi bulunur. Bu sayı, tekrar *pushover* eğrisine dönüştürülür.

Sabit tek modlu analizin şartları aşağıda belirtilmiştir;

(a) Herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} <1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir.

(b) Doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlesinin toplam bina kütlesine oranının en az 0.70 olması zorunludur. Bu koşullardan, birinci modun gerçekten yapının salınımına hakim olması koşuluyla diğer modların göz ardı edilebileceği çıkarımı yapılabilir.

Bahse konu a ve b bentlerinin sağlanamaması durumunda "Çok Modlu İtme Yöntemi" veya "Zaman Tanım Alanında Analiz" kullanılması gerekmektedir. TBDY 2018'de Çok Modlu İtme Yöntemi için özellikle bir metot şart koşulmamakla beraber uluslararası literatürde uygulanmış metotların kullanılması istenilmektedir. Ayrıca

itme analizi sonucu hesaplanan iç kuvvetlerin, aynı tasarım spektrumu kullanılarak doğrusal mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan iç kuvvetlere eşit olduğunun gösterilmesi zorunludur. Buna ek olarak, her bir moda karşılık gelen sabit yük vektörlerinin artımsal olarak ayrı ayrı uygulanması durumunda, yükler "Tam Karesel Birleştirme" yöntemiyle toplanacaktır.

Aydınoğlu (2003)'nun geliştirdiği ARSA (Artımsal Spektrum Analizi) yöntemi, deprem yönetmeliğinin Çok Modlu İtme Analizleri'nden beklediği kriterleri karşılayan bir yöntemdir. İtme mesafesini belirlemek için yatay elastik tasarım spektrumu kullanılır. Aydınoğlu'nun geliştirdiği yöntemle, her bir itme adımında plastik mafsallar ile uyumlu mod şekilleri dikkate alınarak mod birleştirme yöntemiyle deplasmanlar ve kesit tesirleri hesaplanır. Buradaki en önemli husus, "eşit yer değiştirme kuralı" prensibi benimsenmesi dolayısıyla her bir itme adımında modal yerdeğiştirme artımlarının ($\Delta d_n^{(i)}$) bütün modlar için sabit olan artımsal ölçek katsayısıyla ($\Delta \dot{F}^{(i)}$) ölçeklendirilmesidir [25].

$$\Delta d_n^{(i)} = \Delta \dot{F}^{(i)} S_{den}^{(i)} \qquad \textbf{(31)}$$

Bu denklemde "n" indisi mod sayısını, "i" indisi itme adımı sayısını, "$S_{den}^{(i)}$" ise ilk adımdaki elastik spektral yer değiştirmedir. Eşit yer değiştirme kuralı gereğince doğrusalötesi spektral yer değiştirme elastik spektral yerdeğiştirmeye eşittir. Denklem 31 ile ifade edilmek istenen, modal yer değiştirme artımları o modun elastik yerdeğiştirmelerinin oranı olduğudur.

1.6.3 Yapı Performansının Değerlendirilmesi

Yapıların performans düzeylerinin belirlenmesi TBDY Bölüm 15.8'e göre yapılmaktadır. Bu bölüme göre yapıların performansları 4 düzeye ayrılmıştır.

1- Sınırlı Hasar Düzeyi : Herhangi bir katında betonarme binalar için yapılan hesaplamalarda, kirişlerin en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne ulaşabilirken, diğer taşıyıcı elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi'nde kalır. Gevrek hasar gören elemanlar varsa, bunların güçlendirilmesiyle bu tür binaların Sınırlı Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

2- Kontrollü Hasar Düzeyi : Eğer mevcutsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmesi durumunda, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

(a) Betonarme binaların herhangi bir katında, her bir deprem yönü için yapılan hesaplamalarda kirişlerin en fazla %35'i ve düşey elemanların b bendinde tanımlanan oran kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne ulaşabilir. Ancak, çelik ve prefabrike betonarme binalar için bu istisnalar geçerli değildir.

(b) İleri Hasar Bölgesi'nde bulunan düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'nde bulunan düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamı, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranlandığında, bu oran %40'ı geçmemelidir

(c) Diğer taşıyıcı elemanların tamamı Sınırlı Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'nde bulunmalıdır.

3- Göçmenin Önlenmesi Düzeyi : Gevrek olarak hasar gören yapı elemanlarının Göçme Bölgesi'nde olduğu varsayımı altında, aşağıdaki kriterleri karşılayan binaların Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

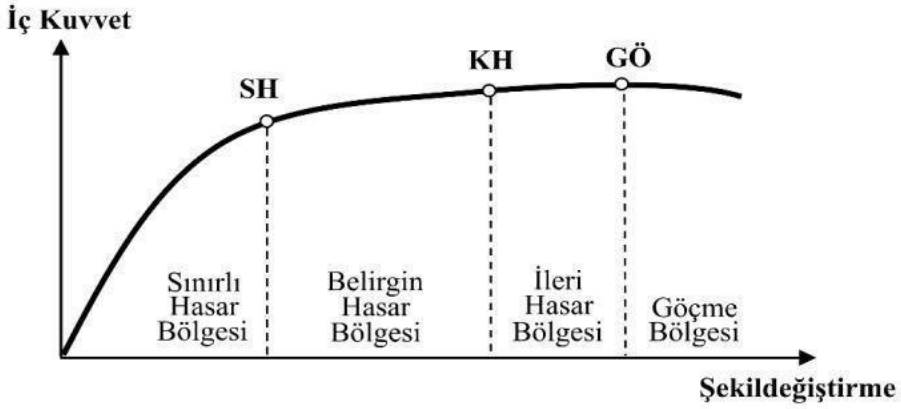
(a) Herhangi bir katında betonarme binalar için yapılan hesaplamalarda tali kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne ulaşabilir.

b) Diğer taşıyıcı elemanların tamamı Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'nde bulunmalıdır. Fakat, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekmektedir.

4- Göçme Düzeyi : Göçmenin Önlenmesi Düzeyi şartlarını sağlamayan yapılar Göçme Düzeyi'nde değerlendirilir.

Kesit düzeyinde, sünek elemanlar için üç farklı hasar durumu ve bunlara ait hasar sınırları TBDY Bölüm 15.3'te belirlenmiştir. Bu durumlar, Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH), ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) olarak adlandırılır ve bunların her birinin belirli sınır değerleri vardır. Sınırlı hasar, kesitte sınırlı bir miktarda elastik ötesi davranışı ifade ederken, kontrollü hasar, kesit dayanımının güvenli bir şekilde sağlanabileceği elastik ötesi davranışı temsil eder. Göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlar.

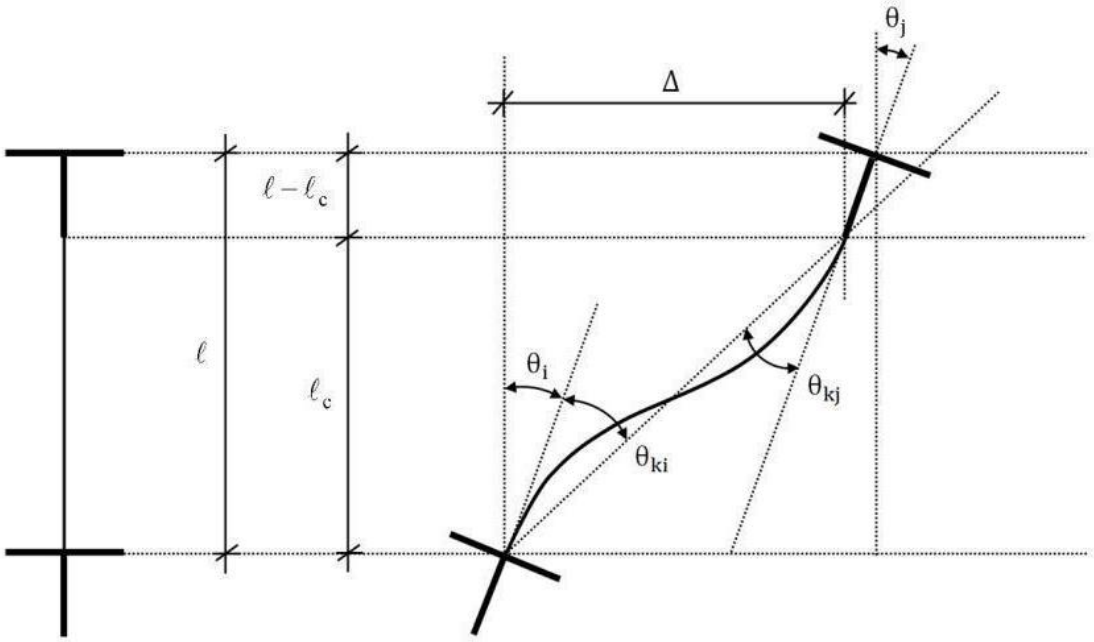
Hasar değeri Şekil 8'de gösterildiği üzere SH'ye ulaşmayan elemanlar, Sınırlı Hasar Bölgesi'nde yer alırken, SH ile KH arasında kalanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde bulunur. KH ile GÖ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde yer alırken, GÖ'yü aşanlar ise Göçme Bölgesi'nde konumlanır. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenecektir.



Şekil 9. Hasar Bölgeleri

Eleman kesitlerinin birim şekildeğiştirme ve plastik dönme talepleri, hesaplamaların sonucunda elde edilen toplam yerdeğiştirmiş eksen dönmesi θ_k kullanılarak belirlenir. Bu hesaplar eşdeğer deprem yükü yöntemi veya mod birleştirme yöntemiyle yapılır. Eğilme elemanı doğrusal elastik şekildeğiştirme durumunda iken, i ucundaki yerdeğiştirmiş eksen ve düğüm noktası dönmeleri ile kat arası ötelenmenin ilişkisi Denklem 32'de tanımlanmıştır

$$\theta_{ki} = \frac{\Delta}{\ell_c} - \theta_i \qquad \textbf{(32)}$$



Şekil 10. TBDY Şekil 15A.1

Elemanın akma dönmesi (θ_{yi}) aşağıda verilmiş Denklem 33 ile hesaplanır. Burada, EI çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği, M_{yi} ve M_{yj} sırasıyla i ve j uçlarındaki etkin akma momentleridir. Akma momentlerinin yönleri ters saat yönünde pozitif, saat yönünde negatiftir.

$$\theta_{yi} = \frac{M_{yi}\ell_c}{3EI}\left[1 - \frac{M_{yj}}{2M_{yi}}\right] \quad \textbf{(33)}$$

Eleman uç kesitlerindeki eğrilik talepleri Denklem 4 ile tespit edilir. Burada θ_y eleman uç kesitindeki yer değiştirmiş eksen akma dönmesi, φ_y ise eleman uç kesitindeki akma eğriliğidir.

$$\phi_t = \frac{\left(\theta_k - \theta_y\right)}{L_p} + \phi_y \quad \textbf{(34)}$$

İzin verilen şekildeğiştirme sınır değerleri TBDY Bölüm 5.8'te belirlenmiştir. Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için dikdörtgen kesit beton birim kısalması aşağıda Denklem 35'te verilmiştir.

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \le 0.018 \quad \textbf{(35)}$$

Bu denklemin ilk terimi sargısız betonun (kabuk betonu) birim kısalmasını temsil etmektedir. ω_{we} ise etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını belirtir ve Denklem 36 ile hesaplanır.

$$\omega_{we} = \alpha_{se}\,\rho_{sh,min}\,\frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \tag{36}$$

Bu denklemde α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ dikdörtgen kesitte iki doğrultudaki hacimsel enine donatı oranının küçüğünü, f_{ywe} enine donatının ortalama akma dayanımını gösterir ve bunların hesabı Denklem 37 ile hesaplanır.

$$\alpha_{se} = \left(1-\frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right)\left(1-\frac{s}{2b_o}\right)\left(1-\frac{s}{2h_o}\right) \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \tag{37}$$

A_{sh} ve ρ_{sh} göz önüne alınan doğrultuda enine donatının alanını ve hacimsel oranını, b_k dik doğrultudaki çekirdek boyutunu, s enine donatı aralığını, b_o ve h_o sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını, a_i bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir.

Bu performans düzeyi için donatının izin verilen şekil değiştirmesi ise Denklem 38 ile hesaplanır.

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su} \tag{38}$$

Burada ε_{su} maksimum çekme dayanımına karşı gelen birim uzamayı gösterir. Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için yapılan performans değerlendirmesinde, betonarme bina elemanlarında yığılı plastik davranış modeline göre hesaplanan plastik dönmeler için izin verilen sınırlar, kesite etkiyen eksenel kuvvet ve beton ile donatı çeliği modellerinin dikkate alınarak gerçekleştirilecek eğrilik analizi sonucunda Denklem 39 ile belirlenir.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3}\left[(\phi_u - \phi_y)\,L_p\left(1-0.5\,\frac{L_p}{L_s}\right)+4.5\,\phi_u\,d_b\right] \tag{39}$$

Bu denklemde φ_u , yukarıda bahsedilen beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirmeleri ve kesite etkiyen eksenel kuvvet dikkate alınarak yapılan analizden elde edilen göçme öncesi toplam eğriliği belirtir. Denklemdeki son terim d_b, akma sonrası (göçme öncesine kadar) için *akma uzaması penetrasyonuna bağlı donatı sıyrılması dönmesi*'ne karşı gelmektedir.

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi için verilen sınırlar Denklem 40 ve 41'de belirtilmiştir.

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\,\varepsilon_c^{(GÖ)} \quad ; \quad \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\,\varepsilon_s^{(GÖ)} \tag{40}$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75\,\theta_p^{(GÖ)} \tag{41}$$

Performans analizinin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere Sınırlı Hasar Düzeyi için verilen sınırlar Denklem 42 ve 43'te belirtilmiştir.

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad ; \quad \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \tag{42}$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \tag{43}$$

Doğrusal ötesi tasarımda taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlikleriyle (EI_e) ilgili hesap yöntemi 2018 yönetmeliğinin 5. Bölümünde belirtilmiş olup aşağıda Denklem 44'te verilmiştir.

$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y}\frac{L_s}{3} \tag{44}$$

Bu denklemde L_s kesme açıklığını, M_y ve θ_y sırasıyla çubuk elemanın uçlarındaki mafsal bölgesinin etkin akma momentini ve akma dönmesini belirtmektedir. Akma dönmesinin denklemi yine aynı bölümde verilmiş olup aşağıda Denklem 45'te gösterilmiştir;

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\,\eta\left(1+1.5\frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \tag{45}$$

φ_y ile ilgili çubuk elemanın mafsal bölgesindeki etkin akma eğriliği ifade edilmektedir. η terimi perde elemanlar için 0.5, çubuk elemanlar için 1 alınmalıdır. h kesit yüksekliği olup f_{ce} ve f_{ye} sırasıyla betonun beklenen basınç dayanımı ve donatının beklenen akma

dayanımlarıdır. Son olarak d_b terimi ise düğüm noktasına kenetlenen donatının çapını ifade etmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

YAPI BİLGİLERİ VE ANALİZ

2.1 Modellenecek Yapının Bilgileri

Yapı hakkında genel bilgiler bu bölüm altında toplanmıştır.

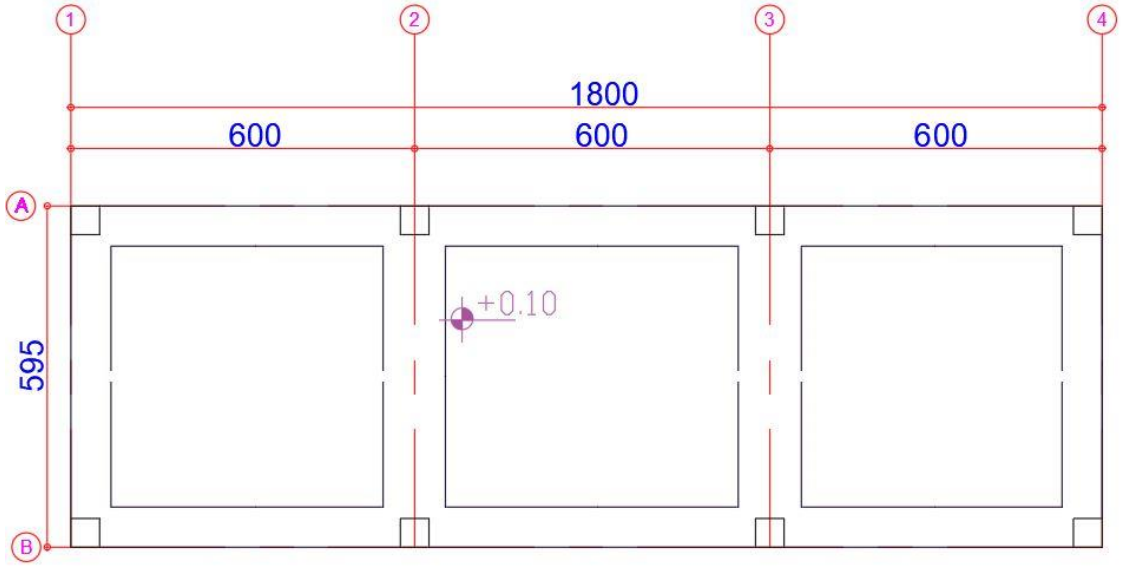
2.1.1 Yapının mimarisi hakkında bilgiler

Yapı olarak İstanbul Büyükçekmece ilçesinde bulunan 5 katlı bir sanayi yapısı tercih edilmiştir. Toplamda 76233 m^2 olan yapı dilatasyonlarla 16 farklı parçaya bölünmüştür. Temel ve çatı kotları her dilatasyonda aynıdır. İşlem kolaylığı, sonuçların daha iyi anlaşılabilmesi ve net olması açısından dilatasyonla ayrılmış 108 m^2 oturumlu ve 5 katlı tek bir eklenti üzerinde çalışılacaktır.

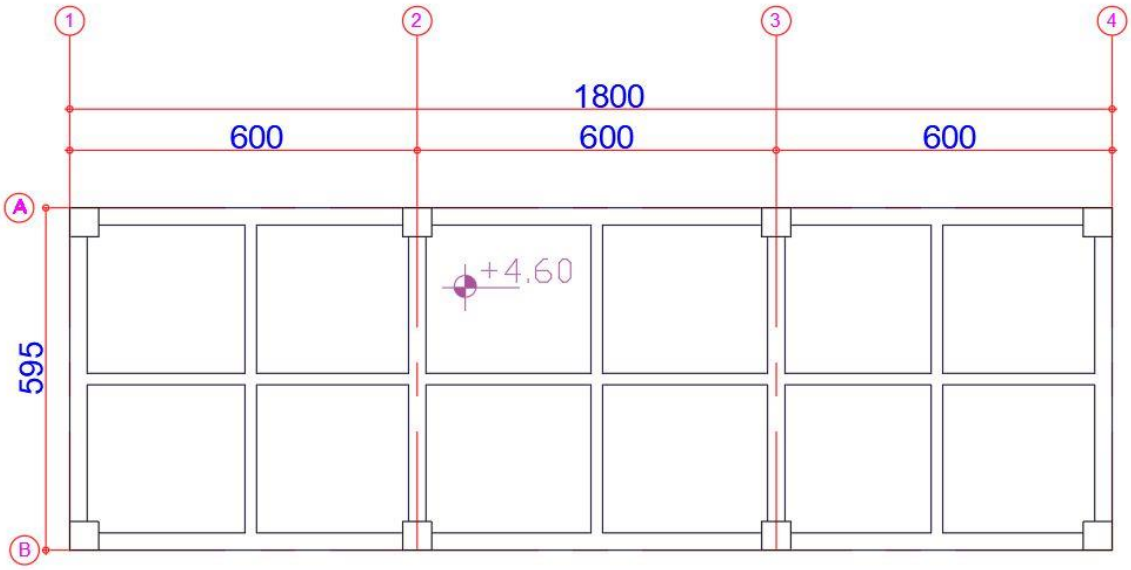
2.1.2 Yapının taşıyıcı sistemi hakkında bilgiler

Yapının inşaatına 1991 yılında başlanılmış olup son eklentisinin tamamlanması 2002 yılını bulmuştur. Bu çalışmaya konu eklenti ise 1994 yılında tamamlanmış olup "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1975)" uyarınca projelendirilmiştir. Betonun dönem itibariyle yaygın olmamasına karşın şantiyede hazırlanarak elle dökme suretiyle değil, santralden hazır olarak getirildiği bilgisi edinilmiştir. Beton sınıfı ve donatı çeliğinin dayanımlarıyla ilgili mevzuatça belirtilen şekilde saha ve laboratuvar deneyleri yapılıp bilgi sahibi olunmuştur. Zemin ile ilgili parametreler de benzer şekilde ilgili yönetmeliğe uygun şekilde zemin etüdü yapılıp belirlenmiştir.

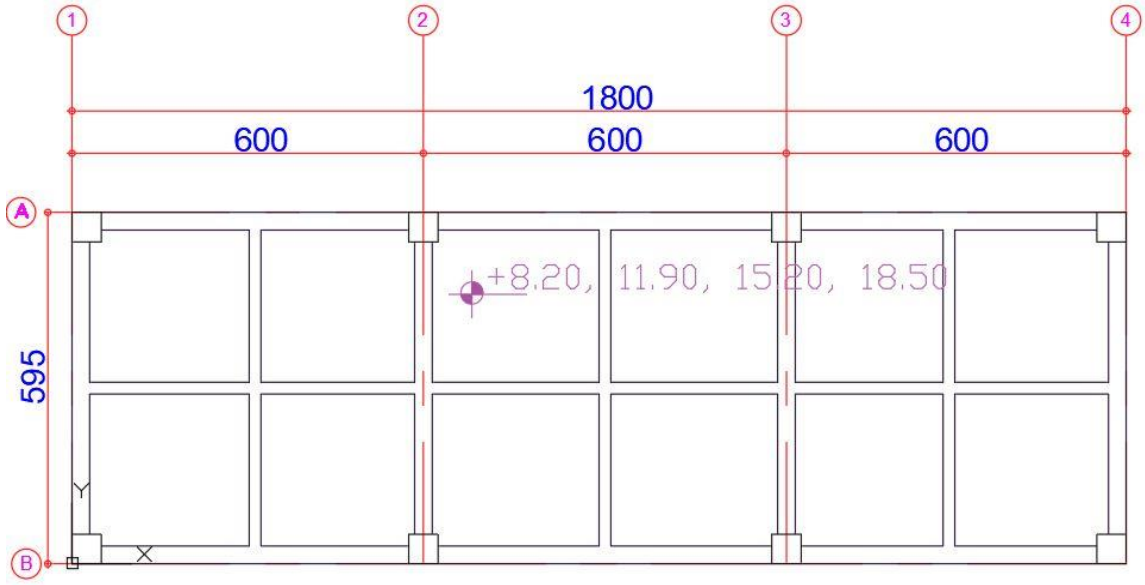
Sahada yapılan çalışmalar neticesinde kat kalıp planı çıkarılmıştır. Yapının bodrum katında düşey taşıyıcı elemanlarda herhangi bir sıva/boya uygulaması yapılmamış olup net ölçüler sağlıklı bir şekilde tespit edilebilmiştir. Aynı katın tavanında da herhangi bir kaplama yapılmaması dolayısıyla kırma-dökme işlemleri yapılmadan kiriş ebatları rahatlıkla saptanmıştır. Döşeme kalınlığı için havalandırma ve merdiven şaftlarına bakılarak gözlem yapılmış, ayrıca 2 farklı noktada matkap ile döşeme delinerek ölçüm yapılmıştır. Kat planları aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır. Çalışma esnasında temel çukur kazısı yapılarak yapı temelinin sürekli temel olduğu tespit edilmiştir. Bina temellerinde herhangi bir çökmeye rastlanmamıştır. Temel çözümleri yapı ile modellenerek yapılmıştır.



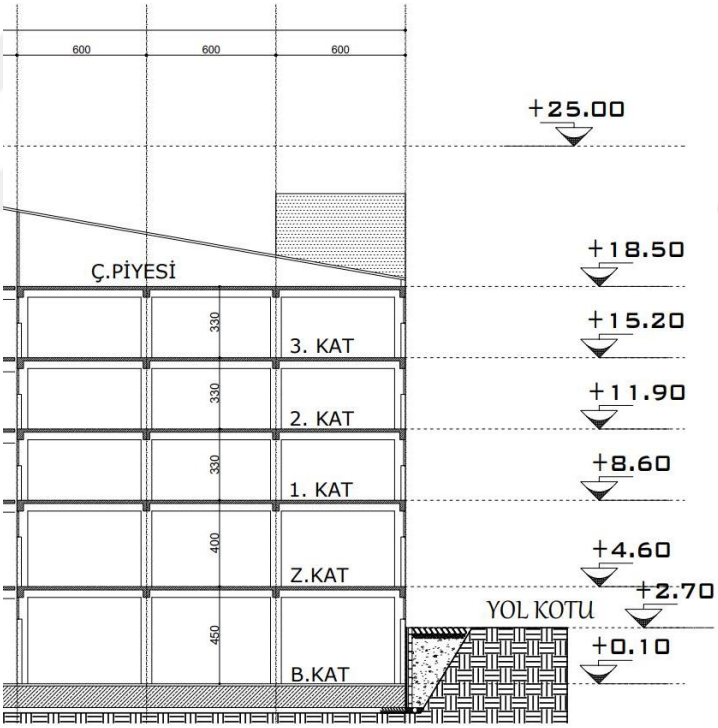
Şekil 11. Mevcut yapı temel aplikasyon planı



Şekil 12. Mevcut yapı giriş kat kalıp planı



Şekil 13. Mevcut yapı normal katlar kalıp planı



Şekil 14. Mevcut yapı kesit görüntüsü

Beton dayanımının tespiti için TBDY 2018 15. Bölüm'de açıkça belirtilen kurallara göre testler yapılmıştır. Bu bölümde bahsedildiği üzere; her kat için, kolonlardan veya perdelerden TS EN 12504-1 standartlarına uygun olarak en az üç

beton örneği alınacak ve deneyler gerçekleştirilecektir. Karotların uzunluğu ve çapı birbirine eşit olacak şekilde 100 mm olacaktır. Bu karot deneylerinden elde edilen dayanım değerleri, mevcut beton dayanımının tespitinde kullanılacaktır, herhangi bir katsayı uygulanmayacaktır. Farklı uzunluk/çap oranlarına sahip karot deney sonuçlarının dönüştürülmesi için uygun dönüştürme katsayıları kullanılacaktır. Üç örnekten oluşan bir toplam örnek sayısında istatistiksel değerlendirme yapılmayacak ve en düşük basınç dayanımı mevcut beton dayanımı olarak kabul edilecektir. Örnek sayısı üçten fazla ise, örneklerin (ortalama eksi standart sapma) değeri ile (0.85 çarpı ortalama) değeri arasından daha büyük olanı mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Bir beton örneği grubuna ait deney sonuçlarının değerlendirilmesinde, en düşük tek değer, geriye kalan diğer sonuçların ortalamasının %75'inden daha düşükse bu örnek değerlendirmeye alınmayacaktır. Bu koşullarda yapılan test sonuçları Ek kısmında verilmiş olup, beton dayanımı bu sonuçlara göre 22.23N/mm^2 hesaplanmıştır.

Betonun karakteristik basınç dayanımı elde edildikten sonra, Denklem 46 ile betonun karakteristik çekme dayanımı, Denklem 47 ile betonun elastisite modülü hesaplanır;

$$f_{ctk} = 0{,}35\sqrt{f_{ck}} \quad \textbf{(46)}$$

$$E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000 \quad \textbf{(47)}$$

Bu bilgiler doğrultusunda analiz programına malzeme bilgileri Tablo 9'da gösterildiği üzere tanımlanmıştır.

Tablo 9. Beton mekanik özellikleri

Karakteristik Basınç Dayanımı	22.2 MPa
Karakteristik Çekme Dayanımı	1649.09kN
Güvenlik Katsayısı	1.50
k1 Sabiti	0.85
Elastisite Modülü	29.31GPa
Poisson Oranı	0.20
Birim Ağırlık	24.525kN/m^3

Yapıda kullanılan donatı sınıfının tespiti için yine aynı yönetmeliğin aynı bölümünde yer alan koşullarda gözlem yapılmıştır. Buna göre; betonarme elemanlardaki donatı miktarı ve detaylarının, binanın inşa edildiği tarihte minimum donatı gereksinimlerini karşıladığı varsayılmaktadır. Bu varsayımın doğruluğunun

belirlenmesi veya ne kadarının gerçekleştiğinin tespiti için her katta, perde ve kolonların %5'i olmak üzere en az birer adet donatı tespiti yapılmıştır. Donatı tespiti için her kattan bir kirişin beton örtüsü sıyrılmıştır. Ayrıca, beton örtüsü sıyrılmayan perde ve kolonların %20'sinde, enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi, donatı tespit cihazlarıyla belirlenmiştir. Kirişler için ise yalnızca düşey tasarım yükleri altında gerekli olan donatı kullanılmıştır. Yapılan saha tespitleri sonucu kolon ve kirişlerin gerçekleşme oranı %100 olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda nervürlü donatıyla karşılaşılması sebebiyle S420 donatısı kullanıldığı kabul edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda analiz programına malzeme bilgileri aşağıdaki Tablo 10'a göre tanımlanmıştır.

Tablo 10. Donatı mekanik özellikleri

Çelik Akma Dayanımı	420 MPa
Çelik Kopma Dayanımı	550 MPa
Güvenlik Katsayısı	1.15
Elastisite Modülü	200GPa
Minimum Kopma Uzaması	10%.
Poisson Oranı	0.30
Birim Ağırlık	77kN/m^3

TBDY 2018 16. bölüm doğrultusunda sondaj kuyuları, zeminlerde burgu, kum veya kil kovası ile darbeli veya dönel (*rotary*) sistemlerle, kayada ise kaya yüzeyinden itibaren sürekli karot alınarak ilerlenen dönel sistemlerle açılmalıdır. Sondaj sayısı ise; zeminin değişken yapısı, yapının temel alanı ve üzerine binen yükler ile çevresel koşullar göz önünde bulundurularak, her 300 metrekarelik taban alanı için en az bir adet olarak planlanmıştır. Taban alanı 1000 metrekareyi geçen binalar için ise, en az beş adet sondaj planlanması şart koşulmuştur. Çalışmaya konu yapının taban alanı 108m^2 olması sebebiyle 1 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Yapılan saha ve laboratuvar sonuçlarının ardından

K_o = 2080 (t/m^3)

q_t = 35.7 (t/m^2)

Zemin sınıfı = ZD olarak bulunmuştur.

Tez için seçtiğimiz yapıda, bina bodrum katının sadece iki cephesi perdelerle çevrelendiğinden, bina yüksekliği (H_n) temel üst kotundan hesaplanmalıdır. Böylelikle bina yüksekliği 18.40 metre olarak bulunur.

Yapımız DTS=1 ve H_n=18.40 metre olması sebebiyle Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) 5 olarak bulunur.

Afad Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan alınan yapının yeri girilerek elde edilen kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (Ss) ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S1) sırasıyla 1.015 ve 0.304 olarak bulunmuştur. Kısa periyot için yerel zemin etki katsayısı (F_s) ve 1 saniyelik periyot için yerel zemin etki katsayısı (F_1) interpolasyon yöntemi uygulanarak sırasıyla 1.094 ve 1.997 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilerle beraber, aşağıdaki Denklem 48 ve 49 ile tasarım spektral ivme katsayılarına ulaşılmıştır.

$$S_{D1} = 0.304 * 1.997 = 0.606 \quad \textbf{(48)}$$

$$S_{DS} = 1.015 * 1.094 = 1.110 \quad \textbf{(49)}$$

Yapımız işyeri binası olması sebebiyle Bina Önem Katsayısı "1", Bina Kullanım Sınıfı "3" ve hareketli yük katılım katsayısı (n) "0.30" olarak seçilmiştir. S_{ds} değeri 1.106 ve BKS değeri 1 olması dolayısıyla Deprem Tasarım Sınıfı "1" olarak seçilmiştir.

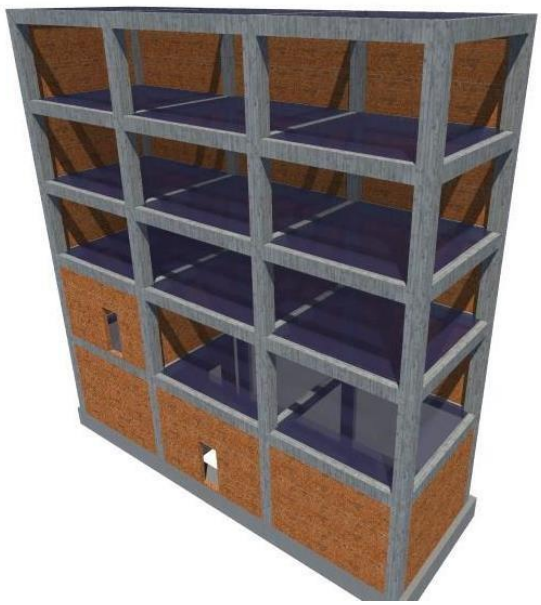
TBDY 2018 Bölüm 5'te 2 farklı davranış modelinden bahsedilmektedir; Yığılı Davranış Modeli ve Yayılı Davranış Modeli. Yığılı davranış modelinde, iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine ulaştığı belirli bir uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzenli bir şekilde yayıldığı varsayılmaktadır. Bu plastik şekil değiştirme bölgesi, plastik mafsal boyu olarak adlandırılır ve uzunluğu, çalışılan doğrultudaki kesit boyutunun yarısı kadar alınır. Yayılı Davranış Modeli ise; "sonlu uzunluktaki uç bölgeleri (plastik şekildeğiştirme bölgeleri) veya elemanın tüm uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekildeğiştirmeleri sürekli (yayılı) biçimde gözönüne almak üzere kullanılabilir." şeklinde tanımlanır. Bu çalışma kapsamında plastik mafsal modeli yani yığılı davranış modeli tercih edilmiştir.

2.2.Tasarım

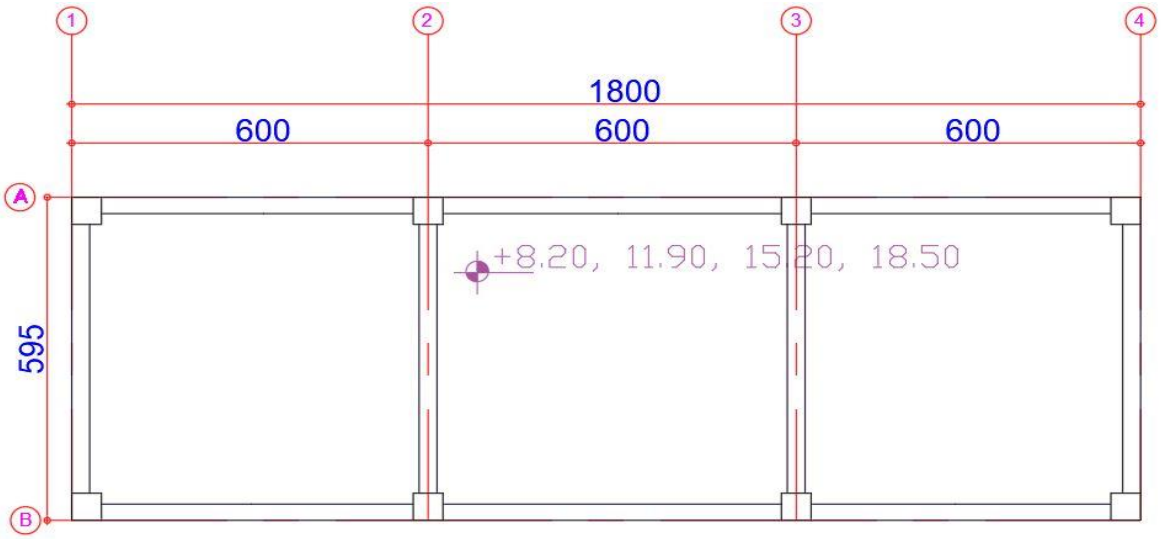
Bölüm 2.1'de verilen bilgiler dahilinde *İdeCAD* yazılımında yapı modellenmiştir. Kolon ve kirişler çubuk eleman olarak, döşeme ve perdeler kabuk eleman olarak modellenmiş olup, kabuk elemanlar 40x40 cm olacak şekilde sonlu elemanlara bölünmüştür ve 6 serbestlik derecesi dikkate alınarak analiz yapılmıştır. Tüm modeller için önce elastik tasarım yapılacak olup sonrasında şekildeğiştrmeye göre tasarım yapılacaktır. Yapının gerekçi şekilde modellenip analiz edildiğinin teyidi maksadıyla ilk örnekteki model SAP2000 programıyla ayrıca çözülerek sonuçları karşılaştırılacaktır.

2.2.1 15cm plaklı kirişli sistem

Bu modelde kolon ve kirişlerin ebatları değiştirilmeden tali kirişler iptal edilmiştir. Döşeme 15 cm olarak tasarlanmıştır.

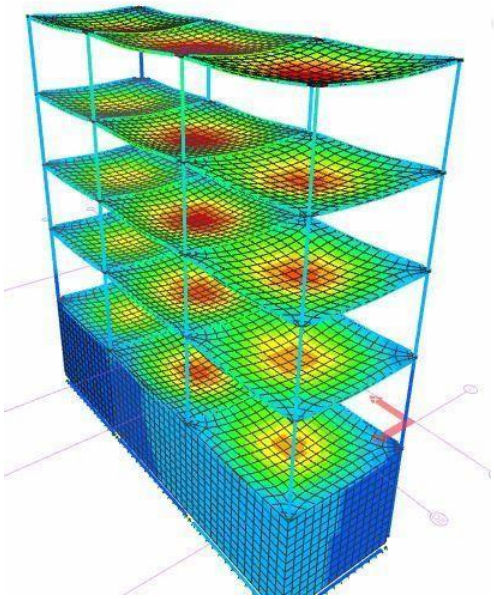


Şekil 15. 15 cm plaklı kirişli sistem modelinin render görüntüsü



Şekil 16. 15 cm plaklı kirişli sistem modelinin kat kalıp planı

Düşey yükler altında en büyük düşey yerdeğiştirme 19.7 mm olarak hesaplanmıştır. Yapı toplam ağırlığı 5669 kN olarak tespit edilmiştir. Yapıdaki en büyük yatay azaltılmış yer değiştirme binanın uzun cephesine dik olan doğrultuyu temsil eden Y yönünde 58.40 mm, azaltılmamış yer değiştirmesi ise 58,40 * 8 = 467.2 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 17. 15 cm Plaklı kirişli modelin kabuk eleman düşey yer değiştirmesi

Tablo 11. 15 cm plaklı kirişli modelin burulma düzensizliği

X Yönü

Katlar		+5%				-5%			
Kat	h [m]	$\Delta_{i(max)}$ [mm]	$\Delta_{i(min)}$ [mm]	$\Delta_{i(ort)}$ [mm]	η_{bi}	$\Delta_{i(max)}$ [mm]	$\Delta_{i(min)}$ [mm]	$\Delta_{i(ort)}$ [mm]	η_{bi}
4. KAT	3.30	4.938-S407	4.411-S403	4.675	1.056	4.613-S407	4.405-S403	4.509	1.023
3. KAT	3.30	7.229-S307	6.625-S303	6.927	1.044	6.752-S307	6.603-S303	6.678	1.011
2. KAT	3.30	9.018-S207	8.268-S203	8.643	1.043	8.406-S207	8.226-S203	8.316	1.011
1. KAT	4.00	10.490-S107	9.079-S101	9.784	1.072	9.678-S105	8.969-S101	9.324	1.038
ZEMİN KAT	4.50	3.726-SZ06	1.629-SZ01	2.677	1.392	3.186-SZ06	1.499-SZ01	2.342	1.360

Y Yönü

Katlar		+5%				-5%			
Kat	h [m]	$\Delta_{i(max)}$ [mm]	$\Delta_{i(min)}$ [mm]	$\Delta_{i(ort)}$ [mm]	η_{bi}	$\Delta_{i(max)}$ [mm]	$\Delta_{i(min)}$ [mm]	$\Delta_{i(ort)}$ [mm]	η_{bi}
4. KAT	3.30	6.544-S404	5.891-S401	6.218	1.052	7.243-S401	5.748-S404	6.496	1.115
3. KAT	3.30	8.673-S304	7.455-S301	8.064	1.076	9.346-S301	7.469-S304	8.407	1.112
2. KAT	3.30	10.614-S204	8.561-S201	9.588	1.107	10.843-S201	9.046-S204	9.945	1.090
1. KAT	4.00	14.459-S104	9.352-S101	11.905	1.214	12.401-S104	11.807-S101	12.104	1.025
ZEMİN KAT	4.50	11.382-SZ08	4.424-SZ01	7.903	1.440	10.192-SZ08	5.167-SZ05	7.680	1.327

Burulma düzensizliği katsayısı 1.4'ün üzerinde çıkmıştır ancak binanın kat sayısının küçük olması ve tek modlu itme analizi için istenen koşulların çok yakınında değerler elde edilmesi sebebiyle tek modlu itme analizi yapılacaktır. İtme analizi sonucu yapıda meydana gelen hasarlar aşağıdaki 12, 13, 14 ve 15 numaralı tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 12. 15 cm plaklı kirişli modelin düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti Yüzdeleri (X)

Kat	Nonlineer İtme +X +0.3Y			
	SH	BH	İH	GB
4. KAT	100	0	0	0
3. KAT	33.8	66.2	0	0
2. KAT	38.7	61.3	0	0
1. KAT	12	88	0	0
ZEMİN KAT	100	0	0	0
Maksimum	100	88		

Tablo 13. 15 cm plaklı kirişli modelin düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti Yüzdeleri (Y)

Kat	Nonlineer İtme -Y -0.3X			
	SH	BH	İH	GB
4. KAT	100	0	0	0
3. KAT	60.7	39.3	0	0
2. KAT	100	0	0	0
1. KAT	40.4	59.6	0	0
ZEMİN KAT	79.8	20.2	0	0
Maksimum	100	59.6		

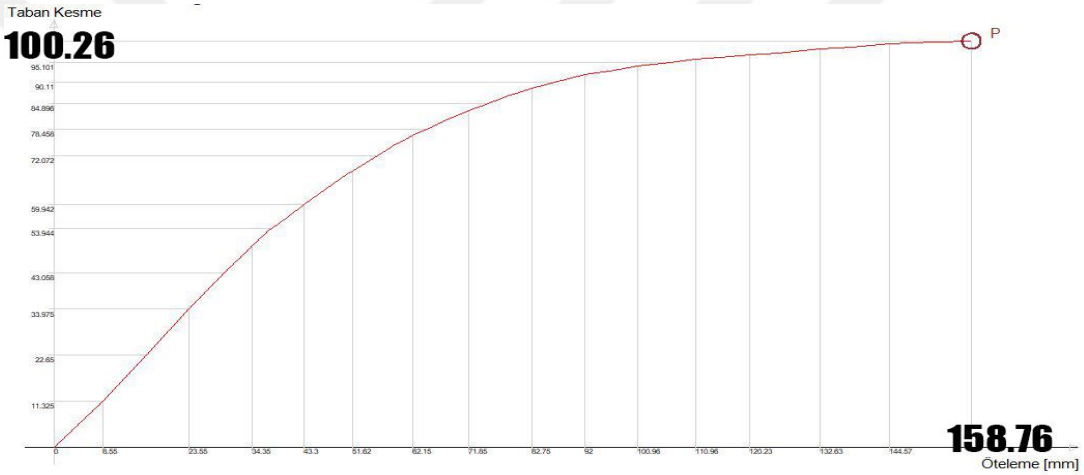
Tablo 14. 15 cm plaklı kirişli modelin kiriş hasar yüzdeleri (X)

Kat	Kiriş adedi	Nonlineer İtme +X +0.3Y			
		SH	BH	İH	GB
4. KAT	6	100	0	0	0
3. KAT	6	0	100	0	0
2. KAT	6	0	100	0	0
1. KAT	6	0	100	0	0
ZEMİN KAT	6	83.3	16.7	0	0
Maksimum		100	100		

Tablo 15. 15 cm plaklı kirişli modelin kiriş hasar yüzdeleri (Y)

Kat	Kiriş adedi	Nonlineer İtme -Y -0.3X			
		SH	BH	İH	GB
4. KAT	4	75	25	0	0
3. KAT	4	0	100	0	0
2. KAT	4	0	100	0	0
1. KAT	4	0	100	0	0
ZEMİN KAT	4	25	75	0	0
Maksimum		75	100		

İtme eğrisi ve bina performans sonucu aşağıda Şekil 18 ve 19'da gösterilmiştir. Modal $\alpha_1^{(x)}$ ve $d_{1,max}^{(x)}$ değerleri sırasıyla 0.3185[g] ve 136.07[mm] hesaplanmıştır.



Şekil 18. Performans hedefi için taban kesme-öteleme eğrisi

Sınırlı Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir	100%	X
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		X

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %35'i İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir	0%	√
İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır	0%	√
En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %40'ın altında olmalıdır	0%	√
Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	0%	√
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı ya da Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		√

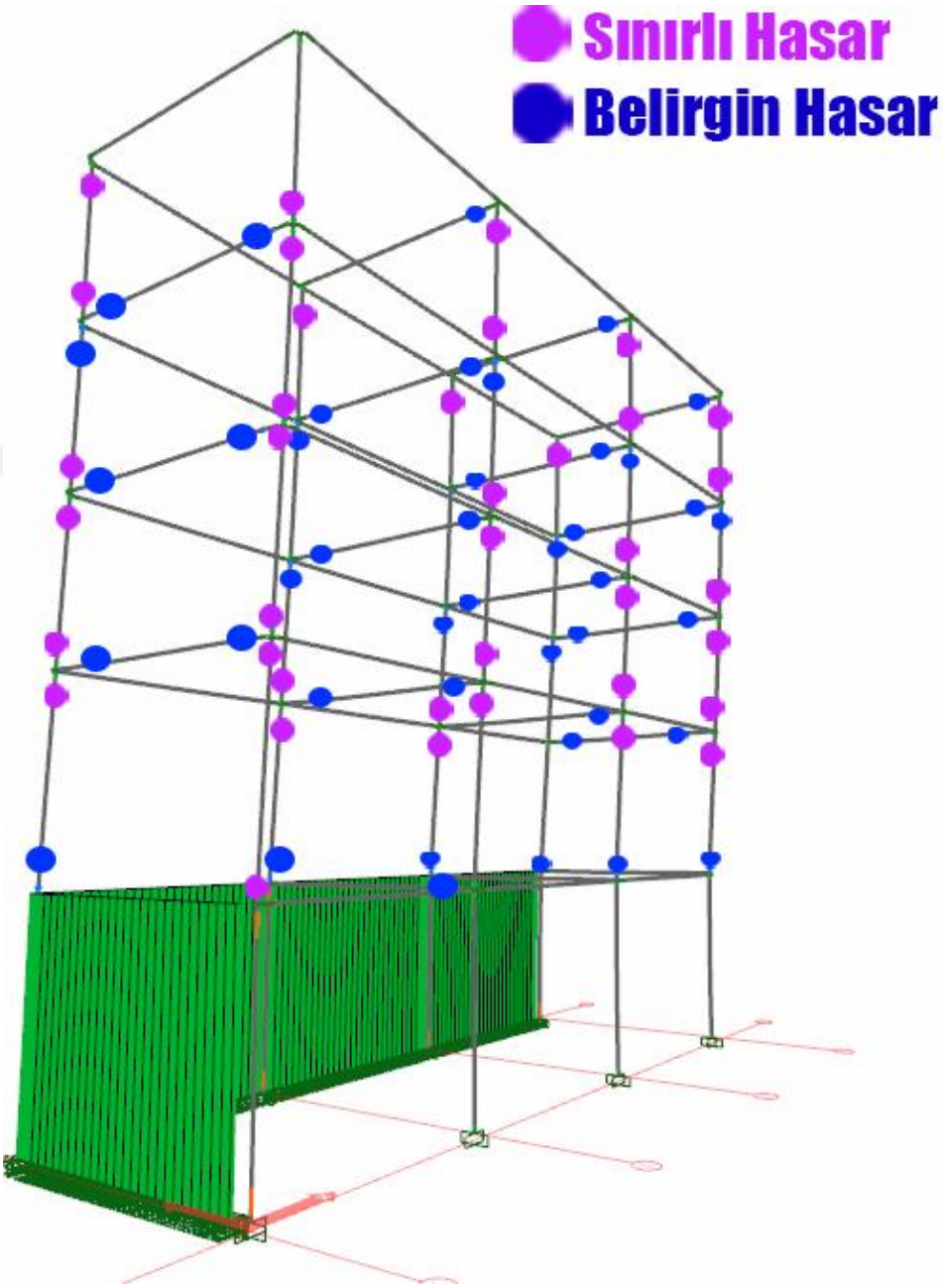
Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir	0%	√
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı, Belirgin ya da İleri Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		√
Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	0%	√

BİNA PERFORMANSI : KONTROLLÜ HASAR

Şekil 19. Yapı performansı

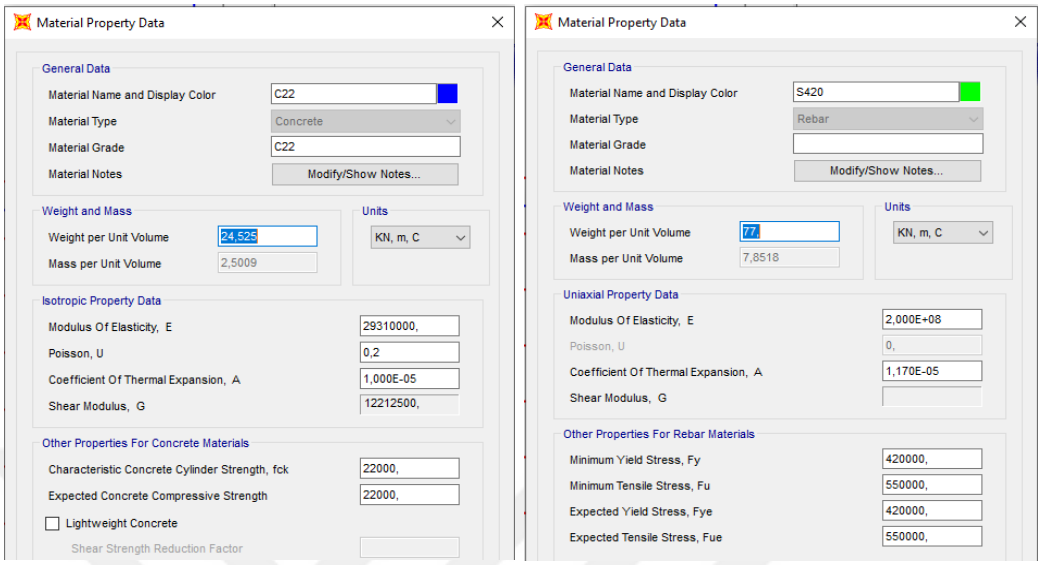
Analiz sonucunda yapı yönetmeliğe göre “Kontrollü Hasar Performans Düzeyi” nde çıkmıştır. Güçlendirme projesine gerek yoktur. Yapının belirgin hasar bölgesine geçen elemanları aşağıda Şekil 20’de gösterilmiştir.



Şekil 20. Hasar bölgesine geçen elemanlar

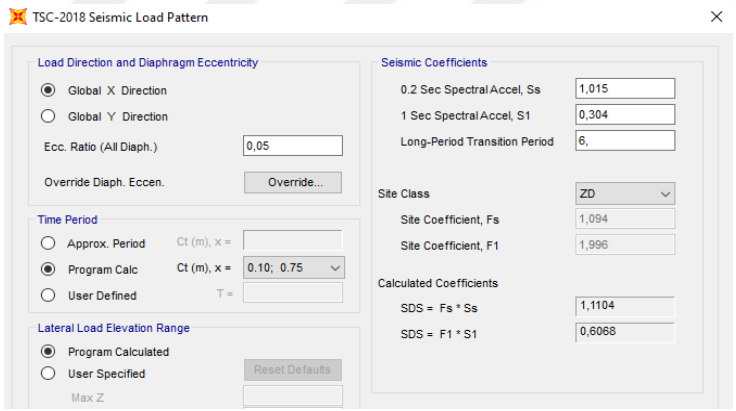
Yapının doğru modellendiğinin teyidi maksadıyla sonuçların karşılaştırılması için *SAP2000* yazılımıyla yapı aynı parametrelerle modellenmiştir. Bahse konu programda aynı örnek için iki farklı model oluşturulmuştur. Bunun sebebi; yönetmelik gereği elastik ve plastik tasarımlarda farklı etkin kesit rijitlikleri ve farklı malzeme elastisite modülleri kullanılmasıdır. İlk başta burulma düzensizliği katsayısının tespit

edilebilmesi için elastik tasarıma göre bir model oluşturulmuştur. Malzemelerin programa tanıtılması için *Define>Materials* menüsü kullanılmış olup aşağıda Şekil 21'de gösterildiği üzere bilgiler girilmiştir.



Şekil 21. Malzeme bilgileri

Malzeme ve kesitler programa tanıtıldıktan sonra, eşdeğer deprem yüklerinin belirlenebilmesi için zemin, spektral ivme değerleri ve sönüm oranı aşağıda Şekil 22'de gösterildiği üzere tanımlanmıştır.

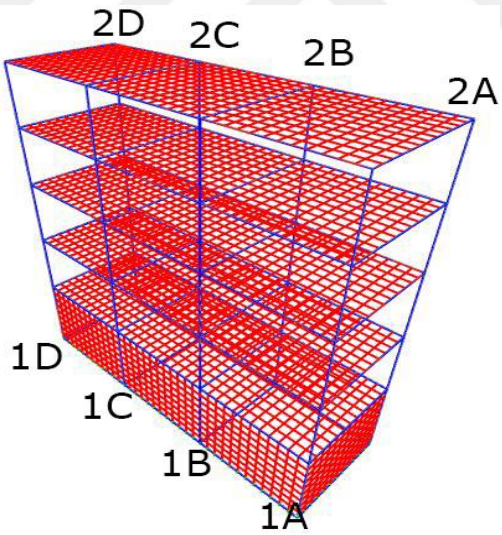


Şekil 22. Sismik yük bilgileri

Son olarak mesnet ve diafra koşulları, yük kombinasyonları ve canlı-ölü yükler tanımlandıktan sonra analiz yapılır. Veriler *Display>Show Tables* kısmından elde edilebilmektedir. Burulma düzensizliğinin kontrolü için her katta 4 köşeden seçilen düğüm noktalarının deprem yönü doğrultusundaki yer değiştirmelerine bakılmıştır. Veriler *Excel*'de formulize edilerek burulma düzensizlik katsayısı aşağıda Tablo 16'da gösterildiği üzere hesaplanmıştır.

Tablo 16. Burulma düzensizliği katsayısı hesabı

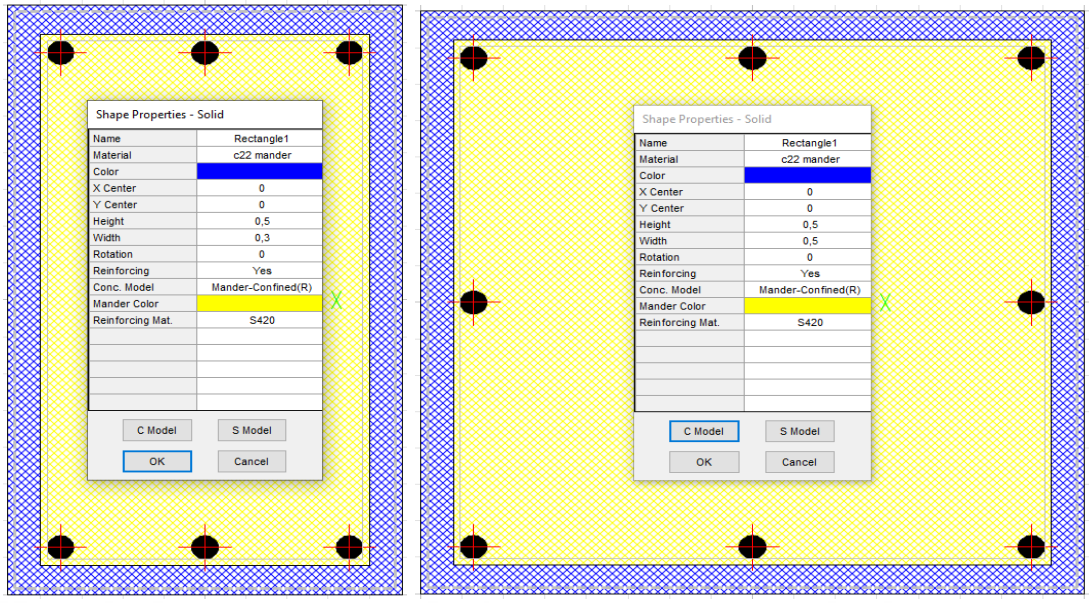
Yüklemeler	Katlar	Azaltılmış Ötelenmeler				Azaltılmış Göreli Ötelenmeler				Burulma Düzensizliği Katsayısı			
		1A	2A	1D	2D	1A	2A	1D	2D	1A	2A	1D	2D
		u_2(mm)				u_i-u_{i-1}(mm)				Δ_{min}	Δ_{maks}	Δ_{mean}	n_{bi}
Ey+5%	1.kat	8,004	8,066	19,293	19,407	8,004	8,066	19,293	19,407	8,004	19,407	13,705	**1,416**
	2.kat	21,497	21,486	40,503	40,504	13,494	13,420	21,211	21,097	13,420	21,211	17,316	1,225
	3.kat	37,461	37,458	61,657	61,657	15,964	15,972	21,153	21,153	15,964	21,153	18,559	1,140
	4.kat	49,855	49,852	77,342	77,339	12,394	12,394	15,685	15,682	12,394	15,685	14,039	1,117
	5.kat	59,945	59,943	89,831	89,829	10,090	10,091	12,489	12,490	10,090	12,490	11,290	1,106
		u_2(mm)				u_i-u_{i-1}(mm)				Δ_{min}	Δ_{maks}	Δ_{mean}	n_{bi}
Ey-5%	1.kat	8,600	8,674	16,921	17,004	8,600	8,674	16,921	17,004	8,600	17,004	12,802	1,328
	2.kat	24,690	24,681	34,632	34,630	16,090	16,007	17,711	17,626	16,007	17,711	16,859	1,051
	3.kat	43,908	43,906	52,073	52,072	19,218	19,225	17,442	17,443	17,442	19,225	18,333	1,049
	4.kat	58,539	58,536	65,210	65,207	14,631	14,630	13,136	13,135	13,135	14,631	13,883	1,054
	5.kat	70,086	70,084	75,961	75,959	11,547	11,548	10,751	10,752	10,751	11,548	11,150	1,036
		u_1(mm)				u_i-u_{i-1}(mm)				Δ_{min}	Δ_{maks}	Δ_{mean}	n_{bi}
Ex+5%	1.kat	1,290	2,795	1,327	2,925	1,290	2,795	1,327	2,925	1,290	2,925	2,108	1,388
	2.kat	8,736	11,105	8,722	11,118	7,447	8,310	7,395	8,192	7,395	8,310	7,853	1,058
	3.kat	17,915	20,910	17,907	20,907	9,178	9,804	9,185	9,790	9,178	9,804	9,491	1,033
	4.kat	24,089	27,484	24,081	27,479	6,174	6,574	6,175	6,572	6,174	6,574	6,374	1,031
	5.kat	28,022	31,692	28,021	31,699	3,933	4,208	3,940	4,220	3,933	4,220	4,077	1,035
		u_1(mm)				u_i-u_{i-1}(mm)				Δ_{min}	Δ_{maks}	Δ_{mean}	n_{bi}
Ex-5%	1.kat	1,252	2,435	1,301	2,543	1,252	2,435	1,301	2,543	1,252	2,543	1,897	1,340
	2.kat	8,983	10,340	8,973	10,348	7,732	7,905	7,672	7,805	7,672	7,905	7,789	1,015
	3.kat	18,563	19,782	18,555	19,779	9,579	9,442	9,582	9,431	9,431	9,582	9,507	1,008
	4.kat	25,030	26,127	25,023	26,122	6,467	6,345	6,467	6,343	6,343	6,467	6,405	1,010
	5.kat	29,167	30,200	29,166	30,207	4,138	4,073	4,144	4,085	4,073	4,144	4,108	1,009



Şekil 23. Kolon numaralandırması

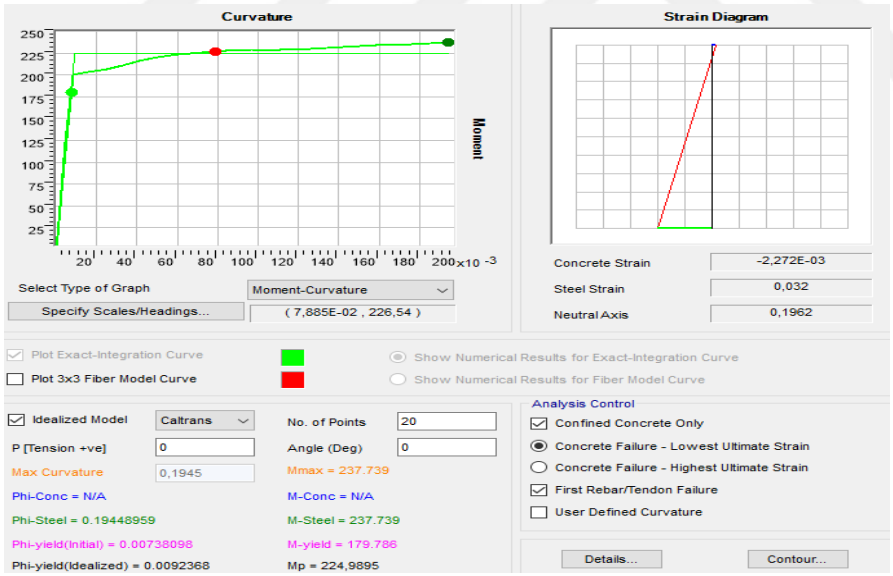
İki programdan çıkan sonuçlara bakınca burulma düzensizliği sayıları arasındaki fark gözardı edilebilecek düzeyde düşüktür. Dolayısıyla yapının doğru modellendiği çıkarımı yapılabilmektedir.

Doğrusal ötesi davranış için Mander beton modeli kullanılacak olup programa *Define>Frame Section>Section Designer* menüsünden kolon ve kirişler aşağıda Şekil 24'te gösterildiği üzere tanıtılmıştır.



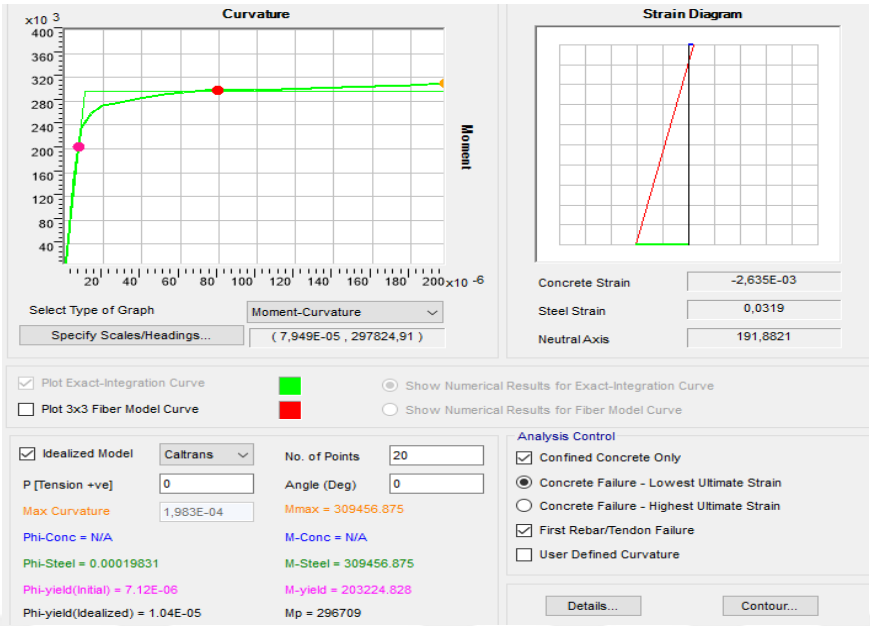
Şekil 24. Kesit bilgileri

Akma dayanımı (M_y) ve dönme eğriliği (θ_y) değerleri *SAP2000* tarafından hesaplanmakta olup *Section Designer>Moment Curvature Curve* grafiğinden aşağıda Şekil 25'ten görülebileceği üzere sırasıyla 224.99 kNm ve 0.0092 m^{-1} olarak tespit edilmiştir.



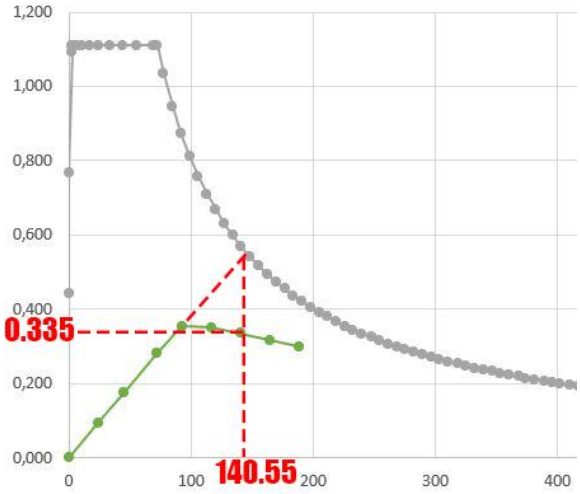
Şekil 25. Kiriş için akma dayanımı ve dönme eğriliği

Aynı işlemler kolon kesiti için yapılmış olup akma ve dönme değerleri Şekil 26'da gösterildiği üzere 296.71 kNm ve 0.0104 m^{-1} olarak tespit edilmiştir.



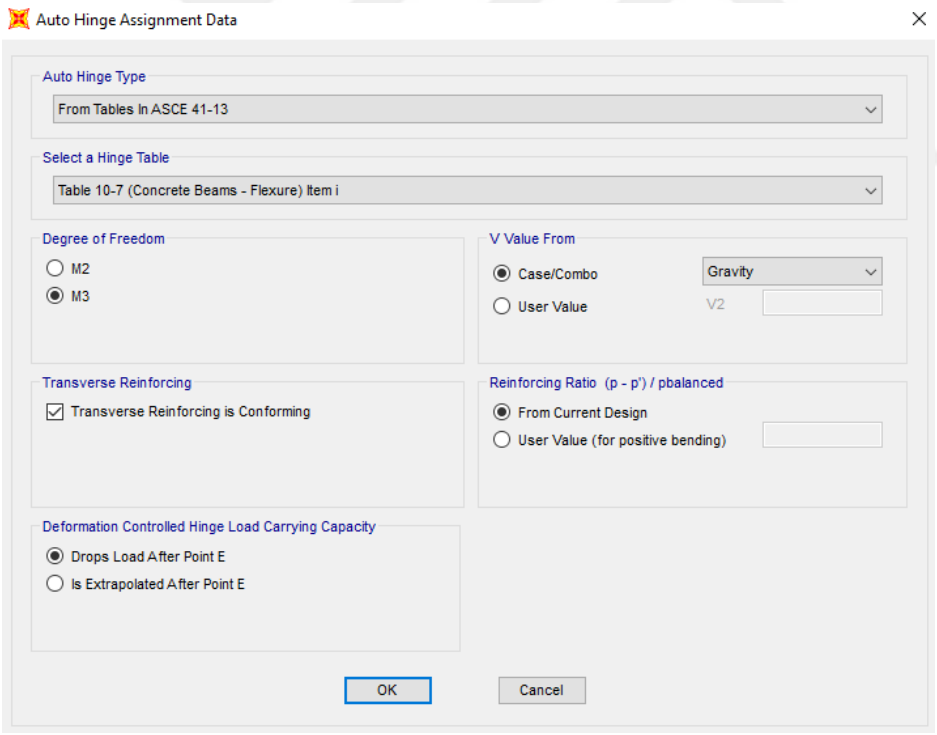
Şekil 26. Kolon için akma dayanımı ve dönme eğriliği

İtme analizi için son olarak elastik ötesi bir yükleme senaryosu *Define>Load Case* sekmesinden tanımlanır. Öncül koşul olarak, G+nQ kombinasyonu seçilir. Yani ilk adımda program zati yükler altında hesap yaptıktan sonra itme adımlarına başlar. Analiz sonucunda yapıya ait itme eğrisi *Display>Show Static Pushover Curve* seçeneğiyle açılır. Eğriye ait X ve Y koordinatlarına *Excel*'e aktarmak mümkündür. *SAP2000* programında doğrusal tasarım için TBDY 2018 yönetmeliğiyle uyumlu olmasına rağmen, doğrusal ötesi tasarımı desteklememektedir. Dolayısıyla itme eğrisinin modal yerdeğiştirme ve modal sözde-ivme eğrisine dönüştürülebilmesi için *Excel* programı kullanılacaktır. Öncelikle AFAD'ın interaktif web sitesinden lokasyon ve zemin sınıfına bağlı olarak oluşturulan yatay elastik tasarım spektrumunun X ve Y değerleri *Excel*'e aktarılmıştır. Sonrasında bu spektrum Denklem 27 kullanılarak ivme spektrumunun yer değiştirmeye bağlı grafiği haline getirilmiştir. Modal $\alpha_1^{(x)}$ ve $d_{1,max}^{(x)}$ değerleri Şekil 27'den görülebileceği üzere sırasıyla 0.335[g] ve 140.55[mm] olarak hesaplanmıştır. *İdeCAD* yazılımından elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında gözardı edilebilecek düzeyde bir fark çıkmıştır. Dolayısıyla sonuçların tutarlı olduğu varsayımı yapılabilmektedir.



Şekil 27. Modal sözdeivme-modal yerdeğiştirme eğrisi

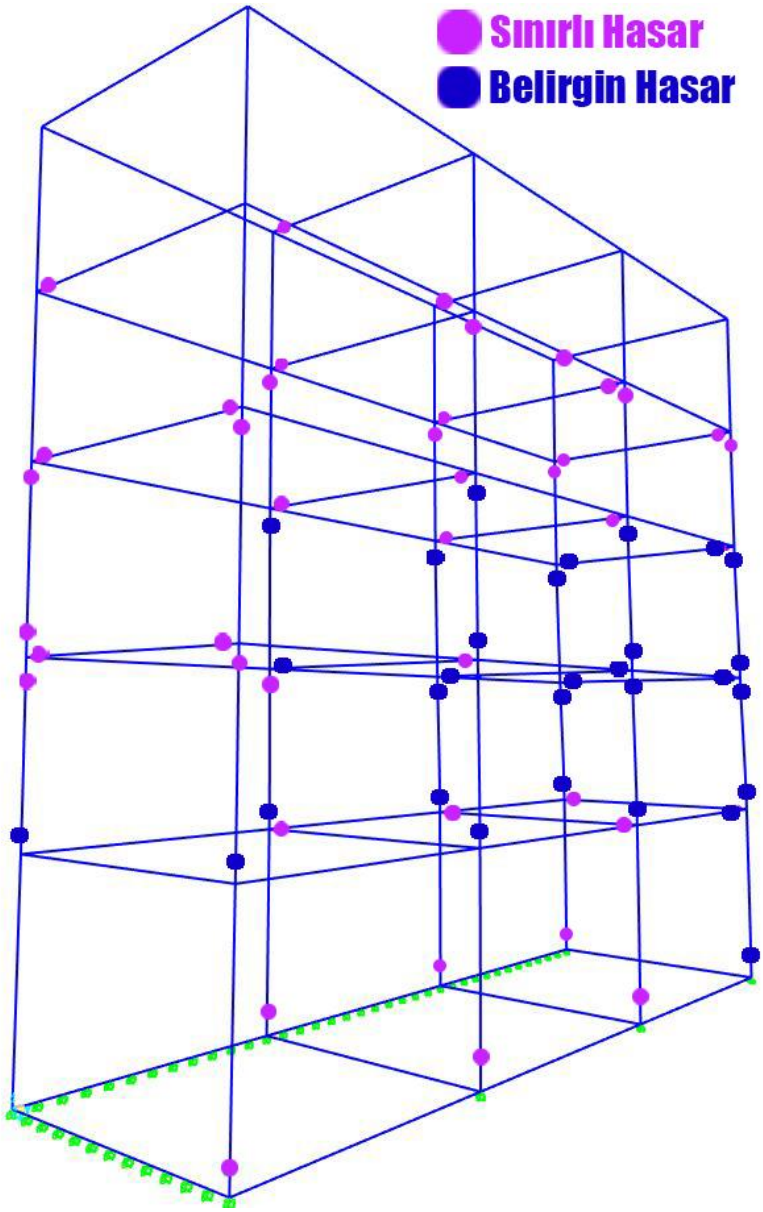
Bir sonraki adım ise, mafsal özelliklerini tanımlamaktır. İlk önce *Assign>Frame>Hinges…* menüsü seçilir. Şekil 28'de görüldüğü üzere ayarlaması yapılır;



Şekil 28. Mafsal bilgileri

SAP2000 yazılımında doğrusal tasarım için TBDY 2018 yönetmeliğinin koşulları tanımlı olmasına karşın; doğrusal ötesi tasarım için, özellikle mafsal tanımlamalarında bu imkan bulunmamaktadır. Dolayısıyla mafsal ve hasar bölgesi tanımları *ASCE 41-13 (Seismic Evaluation and Retrofit Rehabilitation of Existing*

Buildings) yönetmeliğine göre yapılmıştır. Aynı işlem kolonlar için de tekrarlanır, ancak sadece M3 serbestliğinde değil, P-M2-M3 tesirlerinde de mafsallık durumu incelenir. Mafsallar ve hasar tanımları belirlendikten sonra analiz yapılır. Analiz sonucu Şekil 29'da gösterilmiştir.



Şekil 29. *SAP2000* hasar bölgesine geçen elemanlar

2.2.2 Tali kirişli sistem

Yapının mevcut sistemidir. Açıklıklar ortasında sehimi azaltmak amacıyla 20 x 50 cm tali saplama kirişler atılmış olup 15 cm döşeme kalınlığı kullanılmıştır. Kat kalıp planları Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'te daha önce verilmiştir. Yapının *render* görüntüsü Şekil 30'da görülmektedir.



Şekil 30. Mevcut yapı modelinin render görüntüsü

Elastik tasarımda ölü yükler altında en büyük düşey yerdeğiştirme 17.7 mm olarak hesaplanmıştır. Tablo 18 uyarınca bina ağırlığı 5754.61 kN olarak hesaplanmıştır.

Tablo 17. Mevcut yapı kat kütleleri

Katlar	Yapı Ağırlığı			
Kat	g_i [kN]	q_i [kN]	Hareketli Yük Kütle Katılım	w_i [kN]
4. KAT	908.32	407.52	0.30	1030.58
3. KAT	908.32	407.52	0.30	1030.58
2. KAT	908.32	407.52	0.30	1030.58
1. KAT	942.65	407.52	0.30	1064.90
ZEMİN KAT	1474.23	412.46	0.30	1597.97

Aşağıdaki Tablo 19 görülebileceği üzere yapıdaki en büyük burulma düzensizliği katsayısı 1.435 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 18. Mevcut yapı kat ötelemeleri

X Yönü

Katlar		+5%				-5%			
Kat	h [m]	$\Delta_{i(max)}$ [mm]	$\Delta_{i(min)}$ [mm]	$\Delta_{i(ort)}$ [mm]	η_{bi}	$\Delta_{i(max)}$ [mm]	$\Delta_{i(min)}$ [mm]	$\Delta_{i(ort)}$ [mm]	η_{bi}
4. KAT	3.30	4.79-S405	4.24-S402	4.51	1.061	4.46-S405	4.23-S402	4.35	1.026
3. KAT	3.30	7.04-S305	6.42-S302	6.73	1.046	6.57-S305	6.40-S302	6.48	1.013
2. KAT	3.30	8.82-S205	8.06-S202	8.44	1.045	8.21-S205	8.01-S202	8.11	1.012
1. KAT	4.00	10.37-S107	8.94-S104	9.66	1.074	9.55-S107	8.83-S104	9.19	1.039
ZEMİN KAT	4.50	3.72-SZ06	1.60-SZ01	2.66	1.398	3.17-SZ06	1.47-SZ01	2.32	1.367

Y Yönü

Katlar		+5%				-5%			
Kat	h [m]	$\Delta_{i(max)}$ [mm]	$\Delta_{i(min)}$ [mm]	$\Delta_{i(ort)}$ [mm]	η_{bi}	$\Delta_{i(max)}$ [mm]	$\Delta_{i(min)}$ [mm]	$\Delta_{i(ort)}$ [mm]	η_{bi}
4. KAT	3.30	6.32-S408	5.68-S405	6.00	1.053	7.02-S405	5.52-S408	6.27	1.120
3. KAT	3.30	8.37-S308	7.18-S305	7.78	1.076	9.06-S305	7.17-S308	8.11	1.117
2. KAT	3.30	10.26-S208	8.26-S205	9.26	1.108	10.54-S205	8.70-S208	9.62	1.096
1. KAT	4.00	14.18-S104	9.15-S101	11.67	1.216	12.12-S104	11.62-S101	11.87	1.021
ZEMİN KAT	4.50	11.38-SZ08	4.48-SZ01	7.93	1.435	10.19-SZ08	5.24-SZ05	7.71	1.320

Bu modelde de tek modlu itme analizi yapılmıştır. Bina performansına dair hasar yüzdeleri aşağıda verilmiştir;

Tablo 19. Mevcut yapı düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri (X)

Kat	Nonlineer İtme +X +0.3Y			
	SH	BH	İH	GB
4. KAT	100	0	0	0
3. KAT	52.5	47.5	0	0
2. KAT	26.9	73.1	0	0
1. KAT	24.8	75.2	0	0
ZEMİN KAT	100	0	0	0
Maksimum	100	75.2		

Tablo 20. Mevcut yapı düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri (Y)

Kat	Nonlineer İtme -Y -0.3X			
	SH	BH	İH	GB
4. KAT	100	0	0	0
3. KAT	72.5	27.5	0	0
2. KAT	30.8	69.2	0	0
1. KAT	25.2	74.8	0	0
ZEMİN KAT	100	0	0	0
Maksimum	100	74.8		

Tablo 21. Mevcut yapı kiriş hasar yüzdeleri (X)

Kat	Kiriş adedi	Nonlineer İtme +X +0.3Y			
		SH	BH	İH	GB
4. KAT	6	50	50	0	0
3. KAT	6	50	50	0	0
2. KAT	6	16.7	83.3	0	0
1. KAT	6	0	100	0	0
ZEMİN KAT	4	100	0	0	0
Maksimum		100	100		

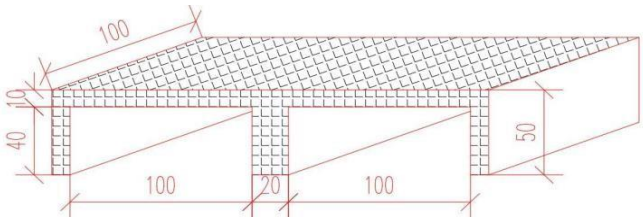
Tablo 22. Mevcut yapı kiriş hasar yüzdeleri (Y)

Kat	Kiriş adedi	Nonlineer İtme -Y -0.3X			
		SH	BH	İH	GB
4. KAT	4	75	25	0	0
3. KAT	4	25	75	0	0
2. KAT	4	0	100	0	0
1. KAT	4	0	100	0	0
ZEMİN KAT	6	16.7	83.3	0	0
Maksimum		75	100		

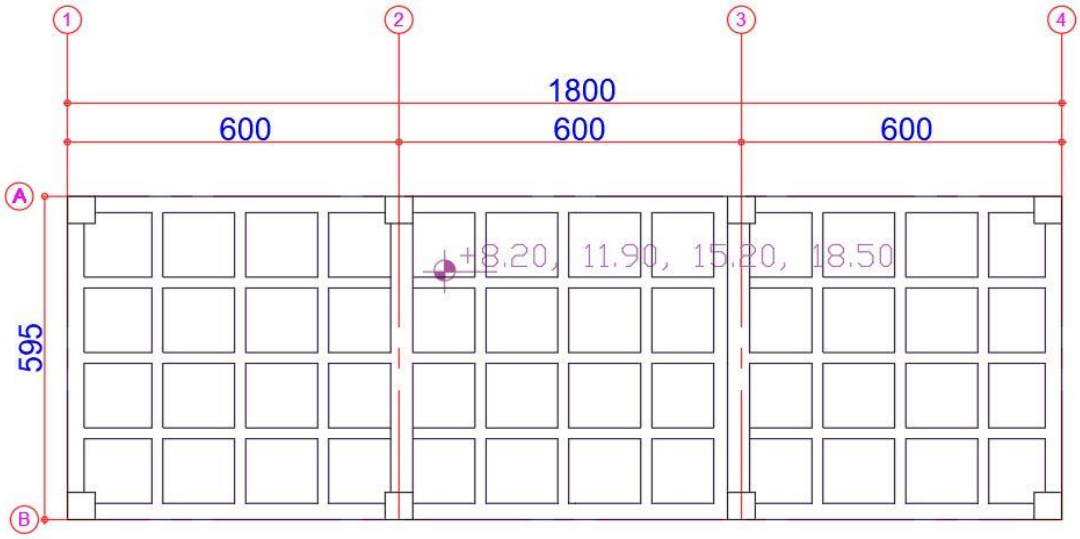
Sonuç olarak, Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nin kriterlerini sağlamakta olup yapının performansı Kontrollü Hasar olarak tespit edilmiştir.

2.2.3 Kaset döşemeli sistem

Bu modelde aşağıda Şekil 31'de detayları belirtildiği üzere çift doğrultuda nervürlü döşeme sistemi kullanılacaktır. Kalıp planı Şekil 32'de verilmiştir.

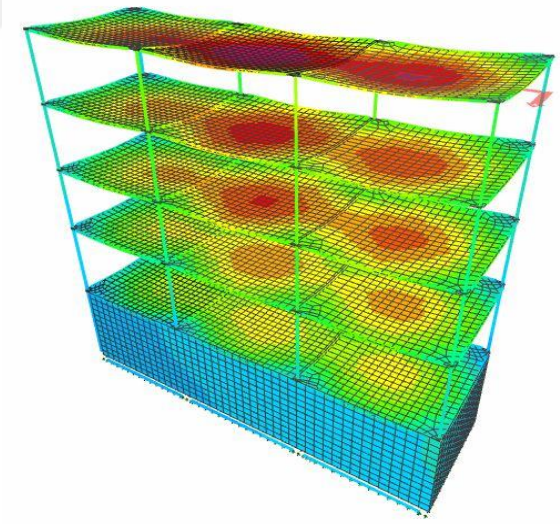


Şekil 31. Kaset döşeme detayı



Şekil 32. Kaset döşemeli sistem mevcut kalıp planı

Düşey yükler altında en büyük düşey yerdeğiştirme 4.8 mm olarak hesaplanmıştır. Yapı toplam ağırlığı 6436.35 kN olarak tespit edilmiştir. Yapıdaki en büyük yatay azaltılmış yer değiştirme binanın uzun cephesine dik olan doğrultuyu temsil eden Y yönünde 62.10 mm, azaltılmamış yer değiştirmesi ise 62.10 * 8 = 496.80 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 33. Kaset döşemeli sistem modelinin kabuk eleman düşey yer değiştirmesi

Tablo 23. Kaset döşemeli modelin kat kütleleri

Katlar	Yapı Ağırlığı			
Kat	g_i [kN]	q_i [kN]	Hareketli Yük Kütle Katılım	w_i [kN]
4. KAT	1016.96	453.70	0.30	1153.07
3. KAT	1016.96	453.70	0.30	1153.07
2. KAT	1016.96	453.70	0.30	1153.07
1. KAT	1051.29	453.70	0.30	1187.40
ZEMİN KAT	1653.63	453.70	0.30	1789.74

Tablo 24. Kaset döşemeli modelin burulma düzensizlik katsayıları

X Yönü

Katlar		+5%				-5%				Kontrol
Kat	h [m]	Δi(max) [mm]	Δi(min) [mm]	Δi(ort) [mm]	ηbi	Δi(max) [mm]	Δi(min) [mm]	Δi(ort) [mm]	ηbi	ηbi > 1.2
4. KAT	3.30	4.23-S405	4.03-S403	4.13	1.024	4.01-S403	3.92-S405	3.97	1.011	Yok
3. KAT	3.30	6.73-S305	6.40-S303	6.56	1.025	6.36-S303	6.24-S305	6.30	1.010	Yok
2. KAT	3.30	8.68-S205	8.18-S203	8.43	1.030	8.12-S204	8.04-S205	8.08	1.005	Yok
1. KAT	4.00	10.12-S105	8.99-S104	9.55	1.059	9.30-S105	8.91-S104	9.10	1.022	Yok
ZEMİN KAT	4.50	1.72-SZ06	0.35-SZ02	1.04	1.660	1.39-SZ06	0.33-SZ02	0.86	1.614	Var

Y Yönü

Katlar		+5%				-5%				Kontrol
Kat	h [m]	Δi(max) [mm]	Δi(min) [mm]	Δi(ort) [mm]	ηbi	Δi(max) [mm]	Δi(min) [mm]	Δi(ort) [mm]	ηbi	ηbi > 1.2
4. KAT	3.30	7.63-S404	6.56-S401	7.10	1.075	7.87-S405	7.22-S404	7.55	1.043	Yok
3. KAT	3.30	10.35-S304	8.57-S301	9.46	1.094	10.47-S301	9.59-S304	10.03	1.044	Yok
2. KAT	3.30	12.63-S204	9.79-S201	11.21	1.127	12.08-S201	11.52-S204	11.80	1.024	Yok
1. KAT	4.00	15.97-S104	9.07-S105	12.52	1.276	14.30-S104	11.33-S105	12.82	1.116	Var
ZEMİN KAT	4.50	9.90-SZ04	0.50-SZ01	5.20	1.904	8.97-SZ04	0.59-SZ01	4.78	1.877	Var

Yapıya ait kiriş ve kolon hasar yüzdeleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 25. Kaset döşemeli modelin kiriş hasar yüzdeleri (X)

Kat	Kiriş adedi	Nonlineer İtme +X +0.3Y			
		SH	BH	İH	GB
4. KAT	6	0	100	0	0
3. KAT	6	0	100	0	0
2. KAT	6	0	100	0	0
1. KAT	6	0	100	0	0
ZEMİN KAT	6	0	100	0	0

Tablo 26. Kaset döşemeli modelin kiriş hasar yüzdeleri (Y)

Kat	Kiriş adedi	Nonlineer İtme -Y -0.3X			
		SH	BH	İH	GB
4. KAT	4	0	25	75	0
3. KAT	4	0	25	75	0
2. KAT	4	0	25	75	0
1. KAT	4	0	50	50	0
ZEMİN KAT	4	0	100	0	0

Tablo 27. Düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri (Y)

Kat	Nonlineer İtme +X +0.3Y			
	SH	BH	İH	GB
4. KAT	100	0	0	0
3. KAT	100	0	0	0
2. KAT	100	0	0	0
1. KAT	0	72.7	27.3	0
ZEMİN KAT	100	0	0	0

Tablo 28. Düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri (Y)

Kat	Nonlineer İtme -Y -0.3X			
	SH	BH	İH	GB
4. KAT	100	0	0	0
3. KAT	100	0	0	0
2. KAT	100	0	0	0
1. KAT	0	100	0	0
ZEMİN KAT	83.8	16.2	0	0

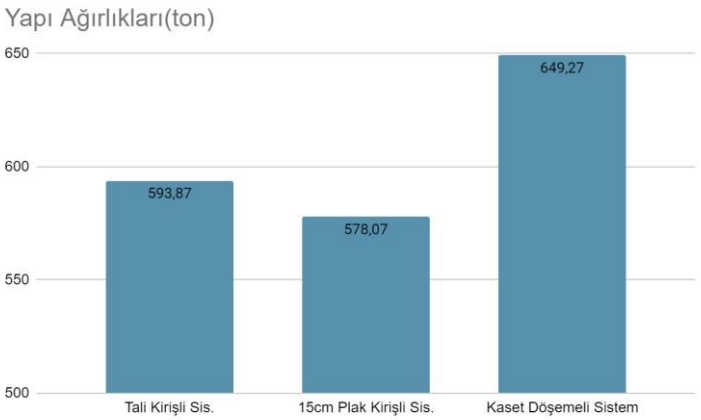
İleri hasar bölgesine geçen kirişler olması sebebiyle yapı performansı Göçme Öncesi olarak tespit edilmiştir. Diğer modellerle kıyaslandığı zaman, en ağır sistem olması dolayısıyla en büyük hasarı da yine bu model almıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KARŞILAŞTIRMA VE GÜÇLENDİRME PROJESİ

3.1 Sonuçların Karşılaştırılması

Yapı ağırlıkları karşılaştırıldığında en ağır yapı kaset döşemeli sistem, ardından tali kirişli sistem, en hafif yapı ise tali kirişi olmayan 15cm plaklı kirişli sistemdir. Analizlerin ilk adımını oluşturan lineer deprem analizleri yapıldığında, aşağıdaki tabloda görüleceği üzere yapılara etkiyecek toplam taban kesme kuvveti ağırlıklarla orantılı bir şekilde artmıştır.

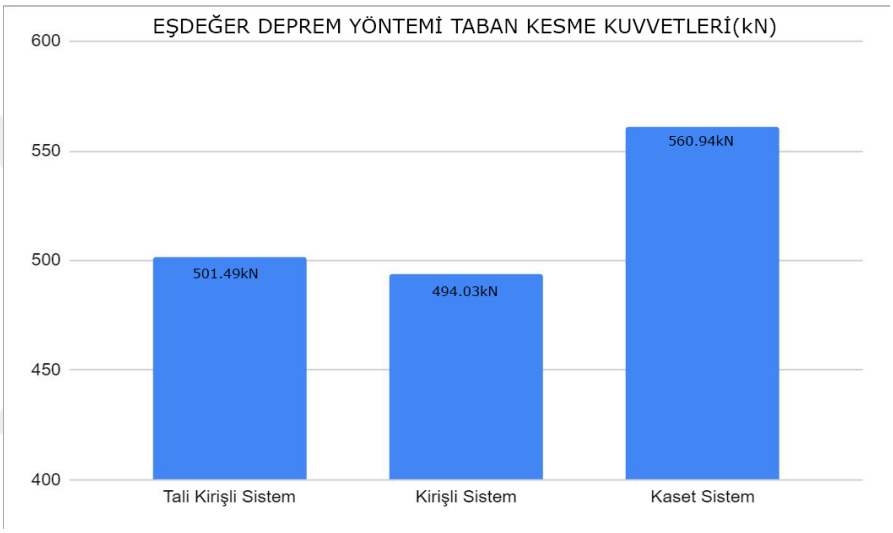


Şekil 34. Modellerin kütleleri



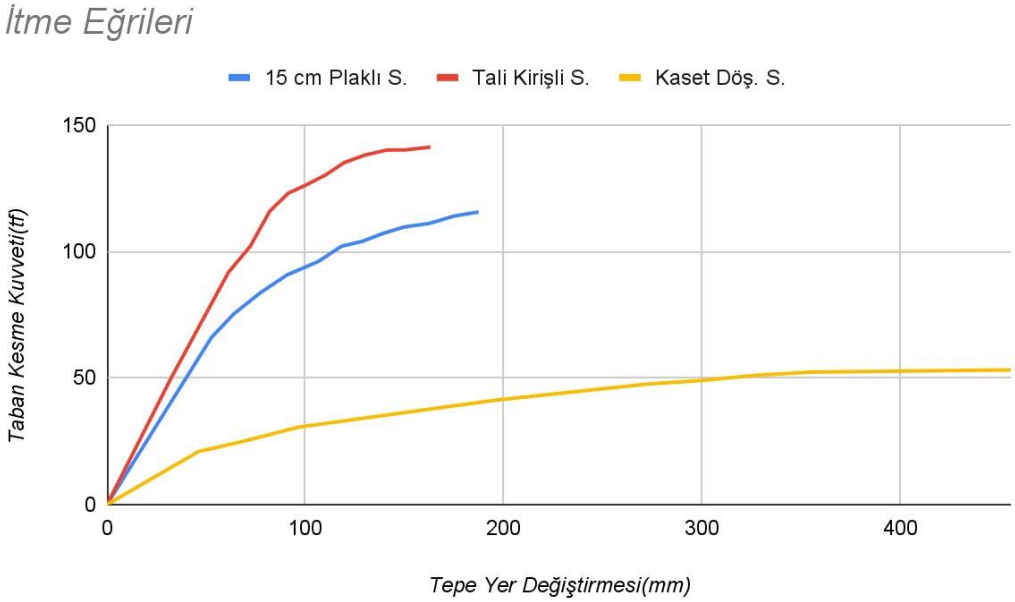
Şekil 35. Modellerin yatay elastik tasarım spektrumları

Yapı dinamiğinin en temel denklemlerinden bilindiği üzere, cismin kütlesi arttığında periyodu da artmaktadır. Burada tutarlı bir şekilde kütlesi fazla olan modellerin doğal periyotlarının arttığını, dolayısıyla daha az spektral ivmeye maruz kaldığını görmekteyiz. Ancak bu durum, yapının daha az eşdeğer deprem yüküne maruz kalacağı anlamına gelmemektedir. Kütle arttıkça ivmenin azalmasına karşın, toplam taban kesme kuvveti spektral ivme ile yapı kütlesinin çarpılmasıyla bulunmaktadır. Dolayısıyla kütlenin artması taban kesme kuvvetini arttırarak yapıyı daha fazla kesit zorlanmalarına maruz bırakmaktadır. Aşağıdaki tabloda modellere etkiyen taban kesme kuvvetleri gösterilmektedir.



Şekil 36. Modellere gelen taban kesme kuvveti

İtme eğrileri karşılaştırıldığında, kaset döşemeli sistemin diğer modellere kıyasla çok daha az taban kesme kuvvetiyle çok fazla deplasman yaptığı görülmektedir. Buradaki en büyük sebep, sistemin rijit kirişlerinin olmaması sebebiyle tam bir çerçeve davranışı gösterememesidir. Dolayısıyla kolonlar yük aktarımını kolayca yapamadığı için tek başlarına daha fazla zorlanmaktadır ve daha kolay mafsallaşmaktadır.

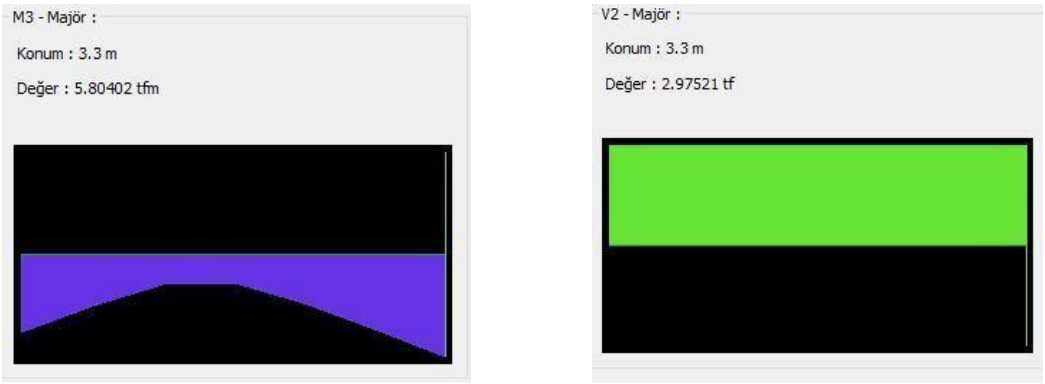


Şekil 37. Modellerin tepe yer değiştirmesi - taban kesme kuvveti

Sonuç olarak, hasar yüzdelerine bakıldığı zaman kasetli sisteme göre hafif olan tali kirişli sistem ve 15 cm plaklı sistem yatay yükleri rijitlikleri sayesinde kolonlara dağıtabilmeleri ve daha az taban kesme kuvvetine maruz kalmaları sebebiyle kontrollü hasar performans sınıfında kalırken, kaset döşemeli sistemin performansı göçmenin önlenmesi durumu olarak karşımıza çıkıyor. Buna bir örnek üzerinden gitmek gerekirse, tali kirişli sistem ile kaset döşemeli sistemde aynı kolonların kesit tesirleri kıyaslanabilir. İkinci kattaki S203 kolonunun M3 ve V2 değerleri aşağıda verilmiştir.

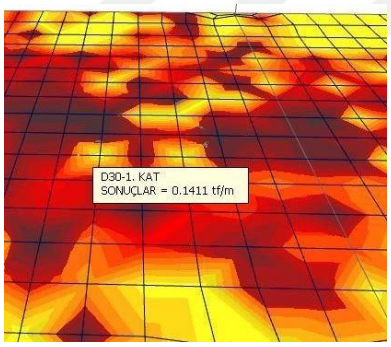


Şekil 38. Kaset döşemeli sistem s203 kolonu iç kuvvetleri

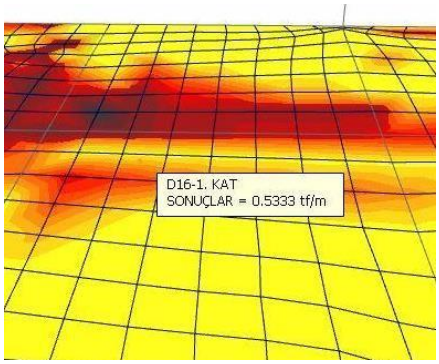


Şekil 39. Kaset döşemeli sistem s203 kolonu iç kuvvetleri

Döşeme tiplerinin farklı kütlelerde olmasından dolayı tesirlerin bu şekilde olması tutarlıdır. Gözardı edilmemesi gereken durum, kütlelerin fazlalığına rağmen döşemelerin aktardığı iç kuvvetlerdir. Aşağıda iki modelin döşemelerinden aynı noktada alınmış F11 iç düzlemsel kuvvetler verilmiştir. Görüldüğü üzere kaset döşeme ağırlığının dezavantajının yanında, daha az kuvvet aktarımı yaparak daha kötü bir çerçeve davranışı sergilemekte olup kolonların daha da zorlanmasına sebebiyet vermektedir.



Şekil 40. Kaset döşemeli sistem döşeme f11 kuvveti



Şekil 41. Tali kirişli sistem f11 kuvveti

3.2 Güçlendirme Çalışması

TBDY 2018'e göre mevcut yapıların performans hedefleri Tablo 40'da verilmiştir.

Tablo 29. Mevcut yerinde dökme betonarme yapılar için performans hedefi

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

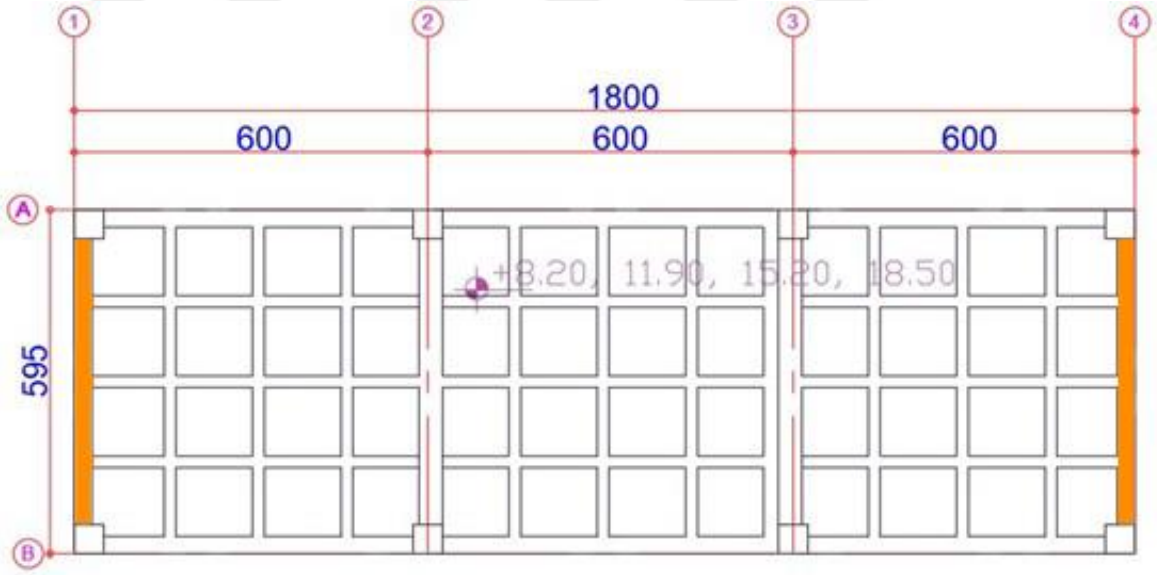
Buna göre, tali kirişli sistem ile 15 cm plaklı kirişli sistem performans hedeflerini sağlarken, kaset döşemeli sistem sağlamamaktadır. Bu sebeple kaset döşemeli sistemde güçlendirme projesi hazırlanacaktır. Güçlendirme projelerinde genellikle iki seçim vardır; yapının sünekliğini arttırarak salınım esnasında yapının daha fazla enerji sönümlemesini sağlamak veya rijit elemanlar ekleyerek mevcut elemanların daha az zorlanmasını sağlamaktır.

Yapının sünekliğini artırmak için uygulanan uygulamalardan en yaygınlarından biri Lifli Polimer Sargı (FRP- *Fiberglass Reinforced Polymer*)'dır. Mukavemeti yüksek, hafif, korozyon ve ısıya dayanıklı, uygulanabilirliğinin kolaylığı ve diğer seçeneklere göre maliyetli oluşu sebebiyle tercih edilen bu malzeme *termoset* reçineleri ve cam elyaftan oluşmaktadır. Dayanımının yetersiz olduğu ve/veya gevrek olduğu tespit edilen elemanların bu malzeme ile sarılmasıyla uygulama tamamlanır. TBDY Bölüm Ek15.B'de hesapları için detaylı bilgi verilmiştir.

Yapının rijitliği arttırmak için yapıya betonarme perdeler eklenmesi yaygın bir uygulama çeşididir. Yapıya içeriden veya dışarıdan betonarme perdeler eklenerek özel koşullarla yapının taşıyıcı sistemine ankrajlanmaktadır. İçeriden perde eklenmesi işçilik açısından daha maliyetlidir, ayrıca uygulama sonrası yapılacak mimari tadilatlar da maliyetini artırmaktadır. Aynı zamanda imalat sırasında yapıdaki günlük kullanımı olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu sebeple yapıya dışarıdan perde eklenmesi daha çok tercih edilir. İşçiliği daha kolaydır, tadilat masrafı daha azdır ki genellikle perdenin astarlanıp sıvanması akabinde boyanmasıyla tamamlanır ve neredeyse yapının günlük kullanımını hiç etkilemez. Bu metottaki ana mantık, yatay deprem salınımlarına bu yeni rijitliği yüksek elemanların direnç göstermesi ve eski elemanlarda eskisi kadar kesit tesiri çıkmaması dolayısıyla deforme olmamasıdır. Bu tez çalışmasında seçilen

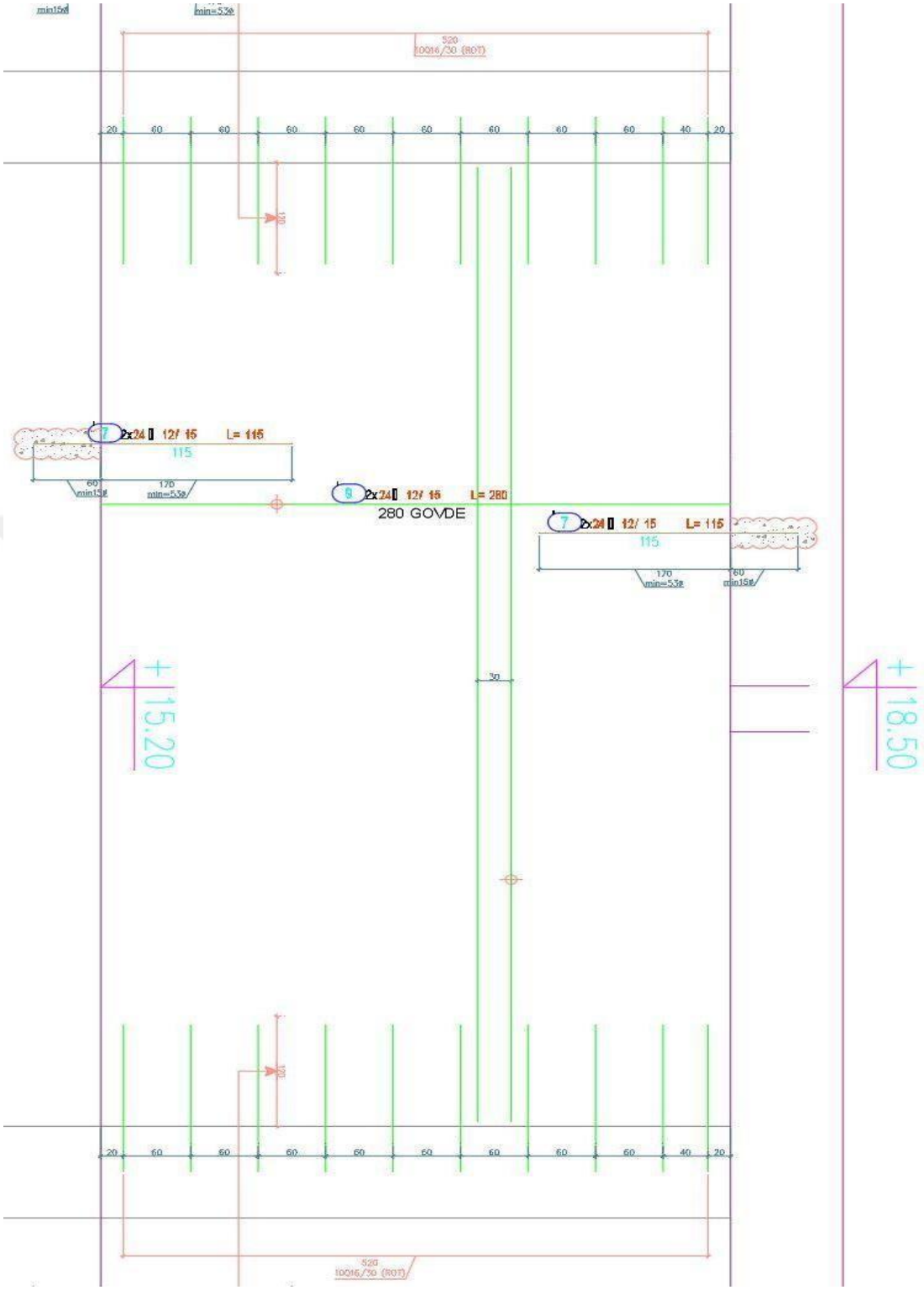
yapı dilatasyon derzleriyle ayrıldığı için dışarıdan perde eklenmesi mümkün değildir bu sebeple güçlendirme metodu olarak yapının içerisine betonarme perde eklenmesi tercih edilmiştir.

Yapı özellikle y yönünde çok savunmasızdır ve bu yönde güçlendirilmesi önemlidir. Mimari kısıtlamalar göz önüne alındığında, 1 ve 4 aksları boyunca A ve B aksları aralığında güçlendirme perdesi ilave edilmesinin herhangi bir olumsuzluk teşkil etmediği tespit edilmiştir. Bu yeni perdelerin rijitlikleri ile doğru orantılı olarak deprem salınımını karşılayacağı ve mevcut elemanlara eskisi kadar yük tesir etmeyeceği planlanmaktadır. C35 betonu ve B420C çeliği donatı olarak kullanılarak 30 santim genişliğinde perde imalatı projelendirilmiştir. Buna göre, yeni modelin normal kat kalıp planı aşağıdaki şekildedir *(Şekil 42)*;



Şekil 42. Kaset Döşemeli Sistem Güçlendirme Sonrası Kalıp Planı

Güçlendirme perdesinde kullanılacak donatı detayı ve çerçeveye ne şekilde ankrajlanacağı alttaki şekilde verilmiştir *(Şekil 43)*;



Şekil 43. Güçlendirme Perdesi Detayı

Güçlendirilen modelin sabit tek modlu itme analizi yapılarak performans hedefine ulaşıp ulaşmadığı irdelenmiştir.

Tablo 30. Güçlendirilmiş modelin kiriş hasar yüzdeleri (X)

Kat	Kiriş adedi	Nonlineer İtme +X +0.3Y			
		SH	BH	İH	GB
4. KAT	6	0	100	0	0
3. KAT	6	0	100	0	0
2. KAT	6	0	100	0	0
1. KAT	6	0	100	0	0
ZEMİN KAT	6	0	100	0	0
Maksimum			100		

Tablo 31. Güçlendirilmiş modelin kiriş hasar yüzdeleri (Y)

Kat	Kiriş adedi	Nonlineer İtme -Y -0.3X			
		SH	BH	İH	GB
4. KAT	2	0	100	0	0
3. KAT	2	50	50	0	0
2. KAT	2	50	50	0	0
1. KAT	2	50	50	0	0
ZEMİN KAT	3	66.7	33.3	0	0
Maksimum		66.7	100		

Tablo 32. Düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri (X)

Kat	Nonlineer İtme +X +0.3Y			
	SH	BH	İH	GB
4. KAT	100	0	0	0
3. KAT	100	0	0	0
2. KAT	100	0	0	0
1. KAT	72.1	27.9	0	0
ZEMİN KAT	100	0	0	0
Maksimum	100	27.9		

Tablo 33. Düşey elemanların taşıdığı kesme kuvveti yüzdeleri (Y)

Kat	Nonlineer İtme -Y -0.3X			
	SH	BH	İH	GB
4. KAT	100	0	0	0
3. KAT	100	0	0	0
2. KAT	100	0	0	0
1. KAT	100	0	0	0
ZEMİN KAT	100	0	0	0
Maksimum	100			

Hiçbir elemanın ileri hasar almadığı bu son duruma göre, performans sonucuyla ilgili aşağıda verilmiştir;

Tablo 34. Güçlendirilmiş modelin performans değerlendirmesi

Sınırlı Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir	100%	X
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		X

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %35'i İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir	0%	√
İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır	0%	√
En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %40'ın altında olmalıdır	0%	√
Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	0%	√
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı ya da Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		√

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir	0%	√
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı, Belirgin ya da İleri Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		√
Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	0%	√

BİNA PERFORMANSI : KONTROLLÜ HASAR

Burada ayrıca dikkat çeken husus, perdeler eklenmeden önce 1.90 olan burulma düzensizliği katsayısı, rijit perdeler eklendikten sonra 1.73'e kadar düşmesidir.

Tablo 35. Güçlendirilmiş yapının burulma düzensizlik katsayıları

X Yönü

Katlar		+5%				-5%				Kontrol
Kat	h [m]	Δi(max) [mm]	Δi(min) [mm]	Δi(ort) [mm]	ηbi	Δi(max) [mm]	Δi(min) [mm]	Δi(ort) [mm]	ηbi	ηbi > 1.2
4. KAT	3.30	1.69-S405	1.48-S403	1.58	1.067	1.59-S403	1.53-S405	1.56	1.019	Yok
3. KAT	3.30	1.71-S305	1.44-S303	1.57	1.084	1.58-S303	1.54-S305	1.56	1.012	Yok
2. KAT	3.30	1.61-S205	1.33-S204	1.47	1.097	1.46-S202	1.44-S205	1.45	1.006	Yok
1. KAT	4.00	1.63-S105	1.25-S104	1.44	1.133	1.44-S105	1.39-S104	1.42	1.020	Yok
ZEMİN KAT	4.50	0.90-SZ07	0.35-SZ02	0.62	1.441	0.77-SZ07	0.39-SZ02	0.58	1.331	Var

Y Yönü

Katlar		+5%				-5%				Kontrol
Kat	h [m]	Δi(max) [mm]	Δi(min) [mm]	Δi(ort) [mm]	ηbi	Δi(max) [mm]	Δi(min) [mm]	Δi(ort) [mm]	ηbi	ηbi > 1.2
4. KAT	3.30	6.73-S404	1.14-S405	3.93	1.710	6.14-S404	1.33-S401	3.73	1.644	Var
3. KAT	3.30	7.56-S304	1.18-S301	4.37	1.729	6.90-S304	1.37-S301	4.13	1.669	Var
2. KAT	3.30	7.62-S204	1.14-S205	4.38	1.741	6.96-S204	1.30-S201	4.13	1.685	Var
1. KAT	4.00	8.32-S104	1.14-S101	4.73	1.759	7.59-S104	1.30-S101	4.44	1.708	Var
ZEMİN KAT	4.50	4.53-SZ04	0.69-SZ05	2.61	1.735	4.17-SZ04	0.77-SZ05	2.47	1.687	Var

Yapı yönetmelik koşullarını sağlamış olup güçlendirme projesi başarıyla amacına ulaşmıştır. Yapıya eklenen betonarme perdelerin metrajlarına dair bilgi yazılım sayesinde hesaplanmış olup aşağıdaki şekildedir;

Tablo 36. Güçlendirilmiş model metrajı

1-	BS35 BETON	47.97
2-	BETON KALIP	329.70
3-	B420C DONATI (İNCE)	4215.34
	B420C DONATI (KALIN)	1908.68
	B420C DONATI (TOPLAM)	6124.02

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Modellerin kütlelerinden de anlaşılabileceği üzere imalatında daha fazla beton kullanılan kaset döşemeli sistem, aynı zamanda daha dayanıksız olduğu için güçlendirme projesi maliyetleriyle diğer döşeme tiplerine kıyasla çok daha pahalı bir hal almaktadır. Türkiye deprem kuşağında olan ve yıkıcı depremlerle tarih boyunca acı tecrübeler yaşayan gelişmekte olan bir ülkedir. Ülkede harcanan kaynakların verimliliğiyle orantılı bir şekilde büyüme potansiyeline sahip olduğumuz göz önüne alındığında, uygulamacıların ve projecilerin döşeme tercihinde bulunurken sadece mimari kaygıları değil, bahse konu bu faktörleri de göz önüne alması gerekmektedir. Çalışmanın daha da ilerlemesi için daha fazla yapıda daha farklı zeminlerde çalışma tekrarlanabilir, istatistiki veri kaynağı oluşturulabilir. Çalışmanın sonuçları liste şeklinde vermek gerekirse;

- Hem *İdeCAD* hem de *SAP2000* modellenmiş yapıların sonuçları karşılaştırıldığında, iki program sonuçlarının birbiriyle çelişmediği, sonuçların arasındaki farkın gözardı edilebilecek düzeyde olduğu çıkarımı yapılabilir.
- İki modelde mafsallaşan bölgeler karşılaştırıldığı zaman kaydedeğer bir fark görülmemektedir. Yine de aradaki farkı açıklamak gerekirse; *İdeCAD* programında mafsallaşma ve hasar bölgeleri tanımları TBDY 2018'e göre tanımlanmışken; *SAP2000* programında *ASCE 41-13* yönetmeliğine göre tanımlanmıştır. Kriterlerin farklı olması sebebiyle aynı elemanlarda farklı hasar tanımları görülebilmektedir.
- En ağır yapı olan "kaset döşemeli sistem" elastik tasarımda en fazla taban kesme kuvvetine maruz kalmıştır. En fazla burulma düzensizliği yine bu modelde görülmüştür.
- En az düzlem içi rijitliğe kaset döşemeli sistem sahiptir.
- En az hasar gören sistem tali kirişli sistem olmuştur.
- Tali kirişli sistem ve 15cm plaklı kirişli sistem TBDY 2018'in kontrollü hasar performans kriterlerini sağlarken, kaset döşemeli sistem göçme öncesi durumunda performans göstermiştir.
- Yönetmelik şartlarını karşılaması maksadıyla kaset döşemeli sisteme güçlendirme projesi hazırlanmıştır. Diğer modeller günlük kullanıma

uygunken, bu model için ciddi bir vakit ve nakit ihtiyacı doğmuştur. Bu yönüyle döşeme tipi seçiminin ne denli önemli olduğu vurgulamıştır.

KAYNAKLAR

1. Uzun, D., 33 katlı betonarme yüksek bir binanın deprem davranışına farklı döşeme sistemlerinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.

2. Akkaş, Y., TBDY 2018' e göre farklı döşeme tiplerinin yüksek bina sınıfındaki bir yapıda doğrusal olmayan davranışa olan etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi, Mersin, 2021

3. Yalçın, Ö., Betonarme yapıların deprem altındaki davranışına döşeme modellemelerinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2000

4. Aksu, B., Plak döşemeli 5 katlı betonarme yapılarda döşeme geometrisinin yapının davranışı ve maliyeti üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, 2022.

5. Turan, G.E., 2007 ve 2018 Türkiye Deprem Yönetmeliklerine Göre Farklı Döşeme Sistemlerine Sahip Betonarme Bir Yapının Deprem Davranışlarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, 2020.

6. Karadeniz, T., Az katlı yapıların TDY 2007'ye göre performans analizi uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, 2017

7. Demir, U., Mevcut bir binanın performans analizinin doğrusal olmayan yöntemlerle incelenmesi , Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversites, İstanbul, 2020

8. Samav, S., Farklı döşeme kabullerine göre tasarlanmış betonarme yapıların performans analizi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2022

9. Kutlu, A., Farklı döşeme boşluğuna sahip yapıların yatay deprem kuvveti etkisi altında davranışlarının incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013

10. Akyol, B., Plak ve asmolen döşemelerin yapı maliyetine etkisinin araştırılması, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, 2017

11. Işık, E., Karaşin, İ. B., & Öncü, M. E. (2022). Asma katın neden olduğu döşeme süreksizliklerinin yapısal performans üzerine etkisi. *DergiPark*. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2278850

12. Minos Patlaması (2024, Mayıs 5) İçinde *Vikipedia*. https://tr.wikipedia.org/wiki/Minos_Patlamas%C4%B1

13. Yıldırım, K. ve Nişancı, H. (2023). Antik Çağlardan 10'uncu Yüzyıla Kadar Anadolu'da Depremler. Avrasya Dosyası Dergisi Cilt 14 (Sayı 1): 112-136, İstanbul

14. 1999 Gölcük Depremi (2024,Temmuz 23) İçinde *Vikipedia* https://tr.wikipedia.org/wiki/1999_G%C3%B6lc%C3%BCk_depremi

15. Ekin 2011 Depremi (2022, Ağustos 7) İçinde *Vikipedia* https://tr.wikipedia.org/wiki/Ekim_2011_Van_depremi

16. Erzincan Depremi (2021,Eylül 23) İçinde *Vikipedia* https://tr.wikipedia.org/wiki/1983_Erzurum_depremi

17. 1912 Mürefte Depremi (2024, Haziran 29) İçinde *Vikipedia* *https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=1912_M%C3%BCrefte_depremi&action=history*

18. 1976 Van Depremi (2024,Temmuz 11) İçinde *Vikipedia* *https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=1976_%C3%87ald%C4%B1ran_depremi&action=history* .

19. 1999 Gölcük Depremi (2024,Temmuz 23) İçinde *Vikipedia* https://tr.wikipedia.org/wiki/1999_G%C3%B6lc%C3%BCk_depremi

20. Ekin 2011 Depremi (2022, Ağustos 7) İçinde *Vikipedia* https://tr.wikipedia.org/wiki/Ekim_2011_Van_depremi

21. 2023 Kahramanmaraş Depremi (2024,Temmuz 27) İçinde *Vikipedia* https://tr.wikipedia.org/wiki/2023_Kahramanmara%C5%9F_depremleri

22. AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı). (n.d.). Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Erişim tarihi Ağustos 6, 2024, https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi

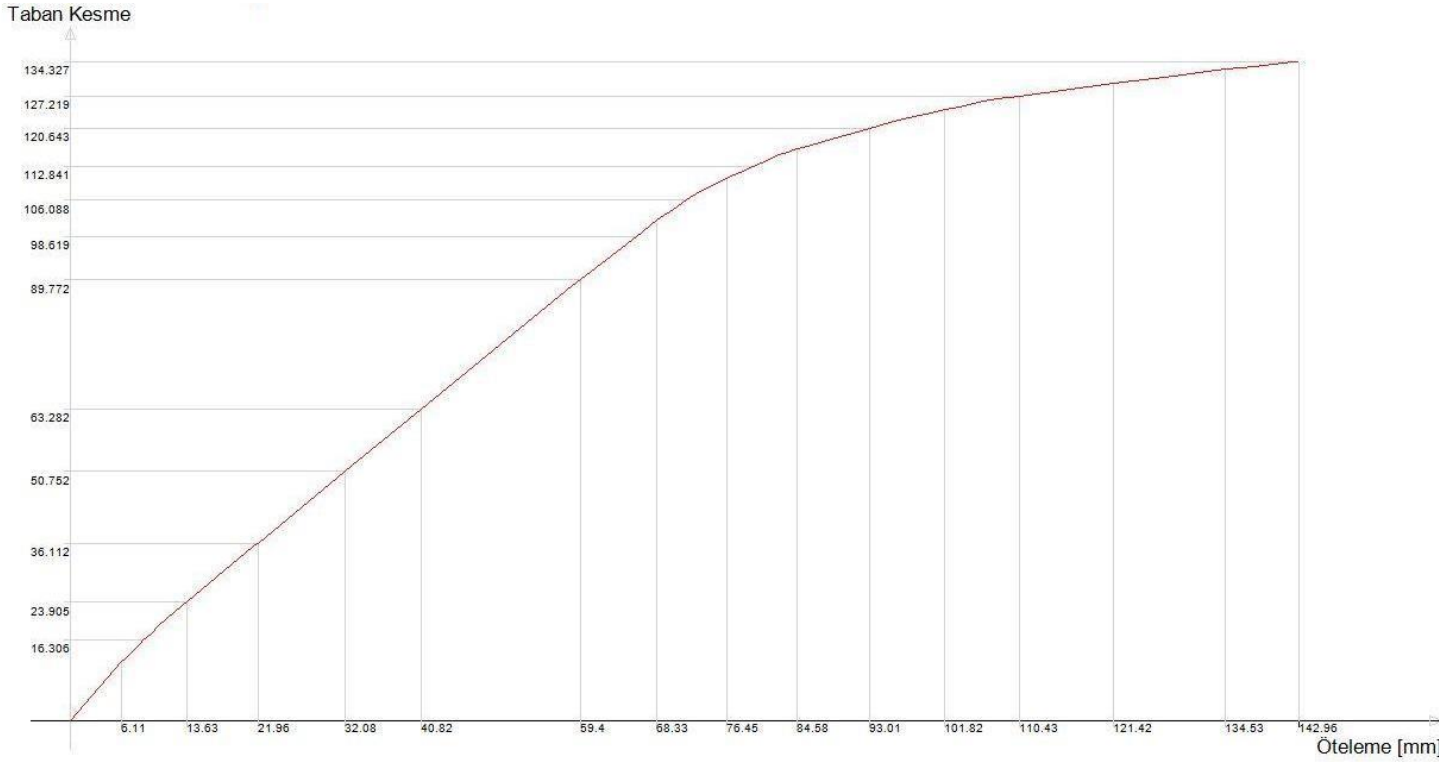
23. Cansız, S. (Ocak 2022) Türkiye'de Kullanılan Deprem Yönetmeliklerinin Özellikleri ve Eşdeğer Yatay Deprem Yükü Hesabının Değişimi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi(C1-14)

24. Erzincan Depremi (2021,Eylül 23) İçinde *Vikipedia* https://tr.wikipedia.org/wiki/1983_Erzurum_depremi

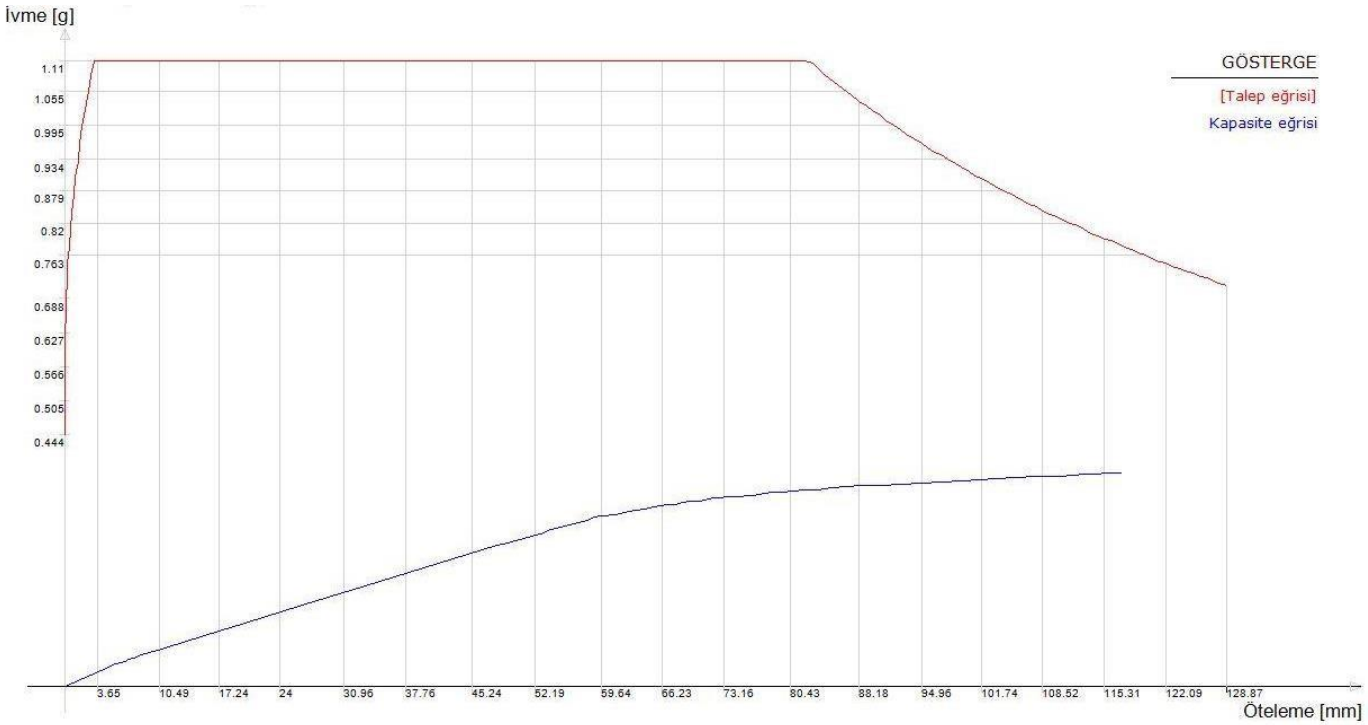
25. Aydınoğlu, M. N., (2003), An Incremental Response Spectrum Analysis Procedure Based on Inelastic Spectral Displacements for Multi-Mode Seismic Performance Evaluation, Bulletin of Earthquake Engineering, 1, 3–36.

EKLER

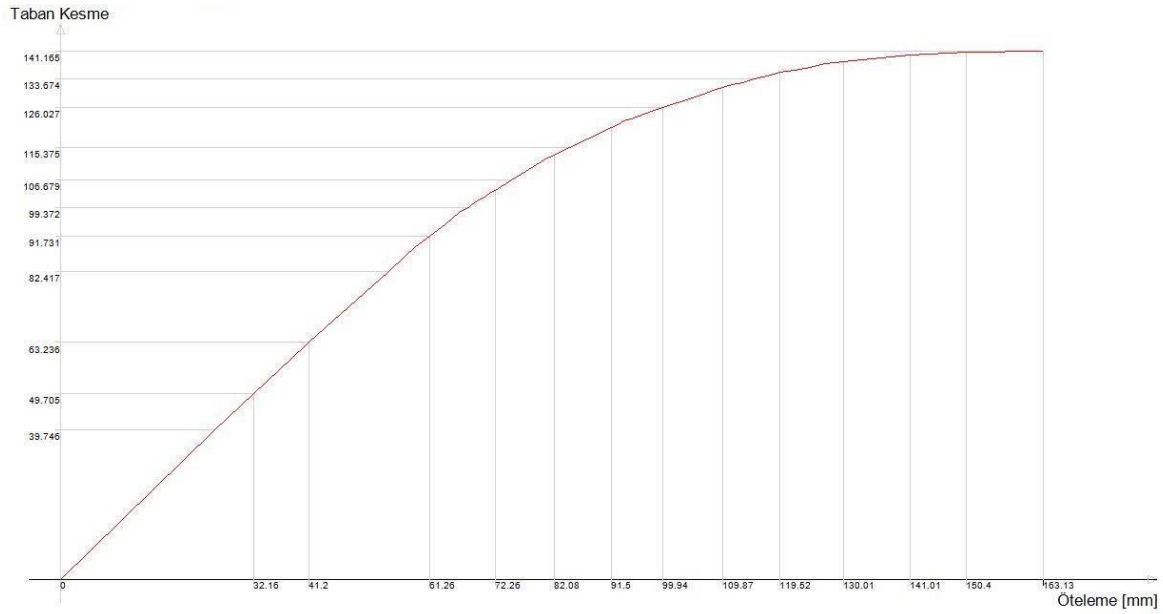
Ek Grafik 1. Tali kirişli sistem x yönü doğrusal olmayan itme eğrisi



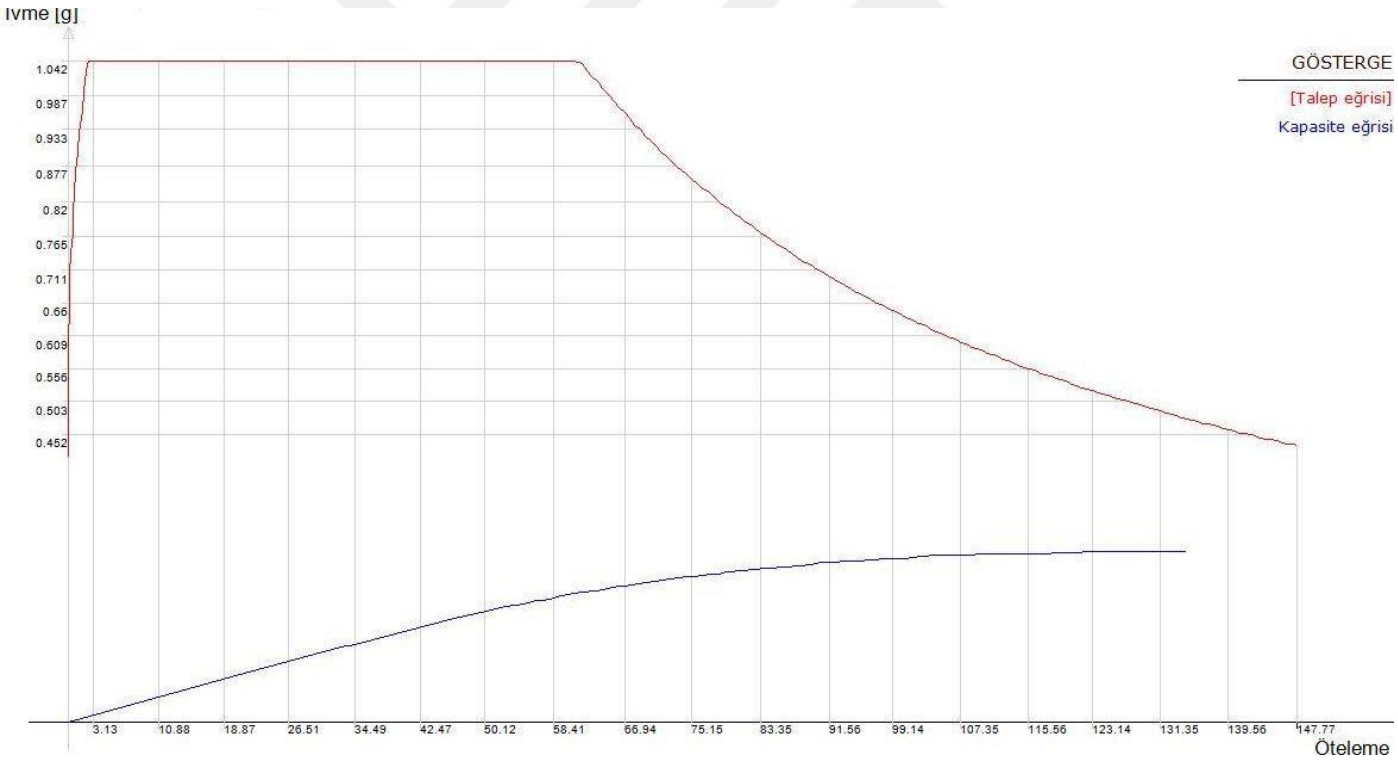
Ek Grafik 2. Tali kirişli sistem x yönü modal kapasite eğrisi



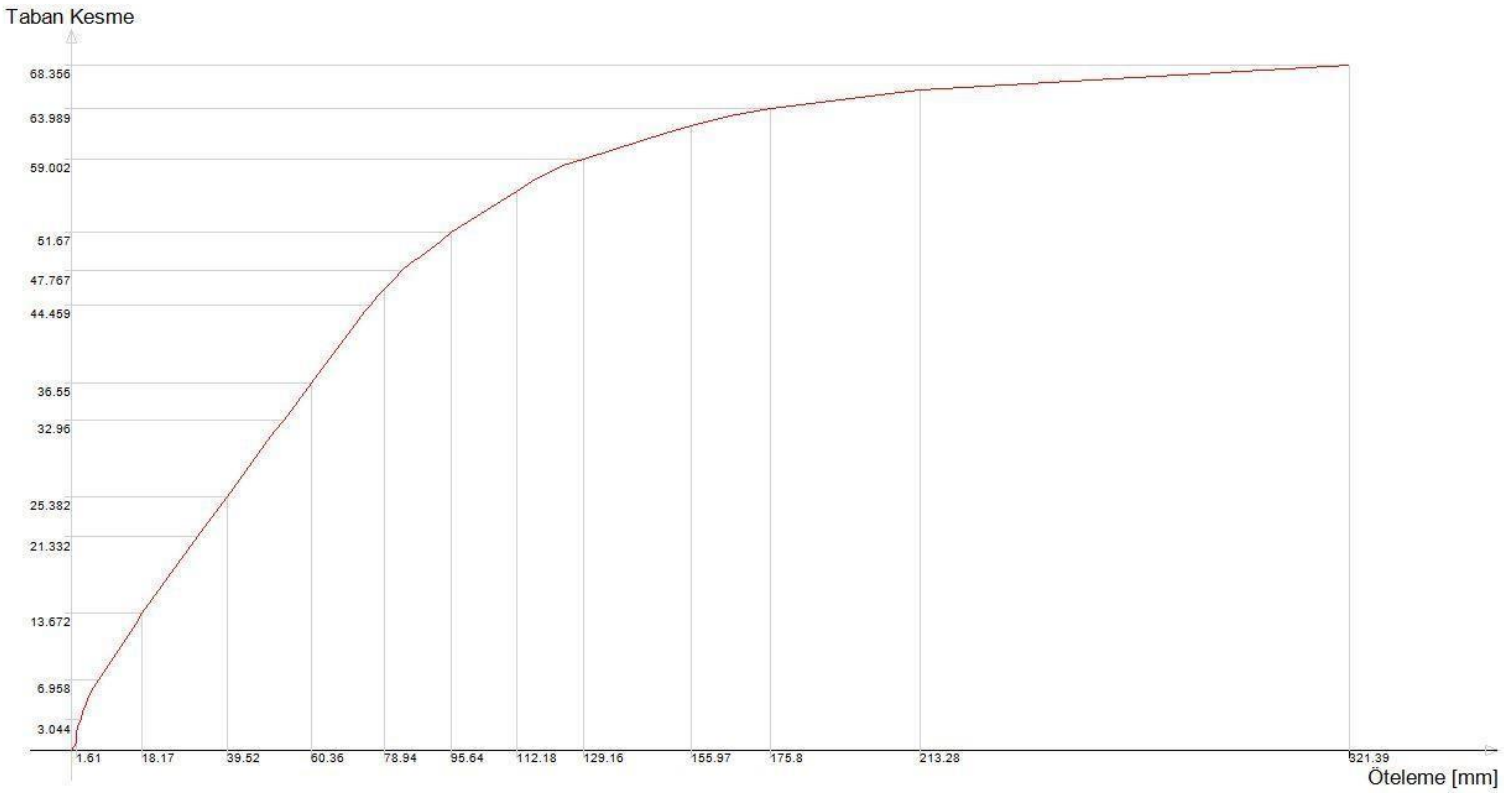
Ek Grafik 3. Tali kirişli sistem y yönü doğrusal olmayan itme eğrisi



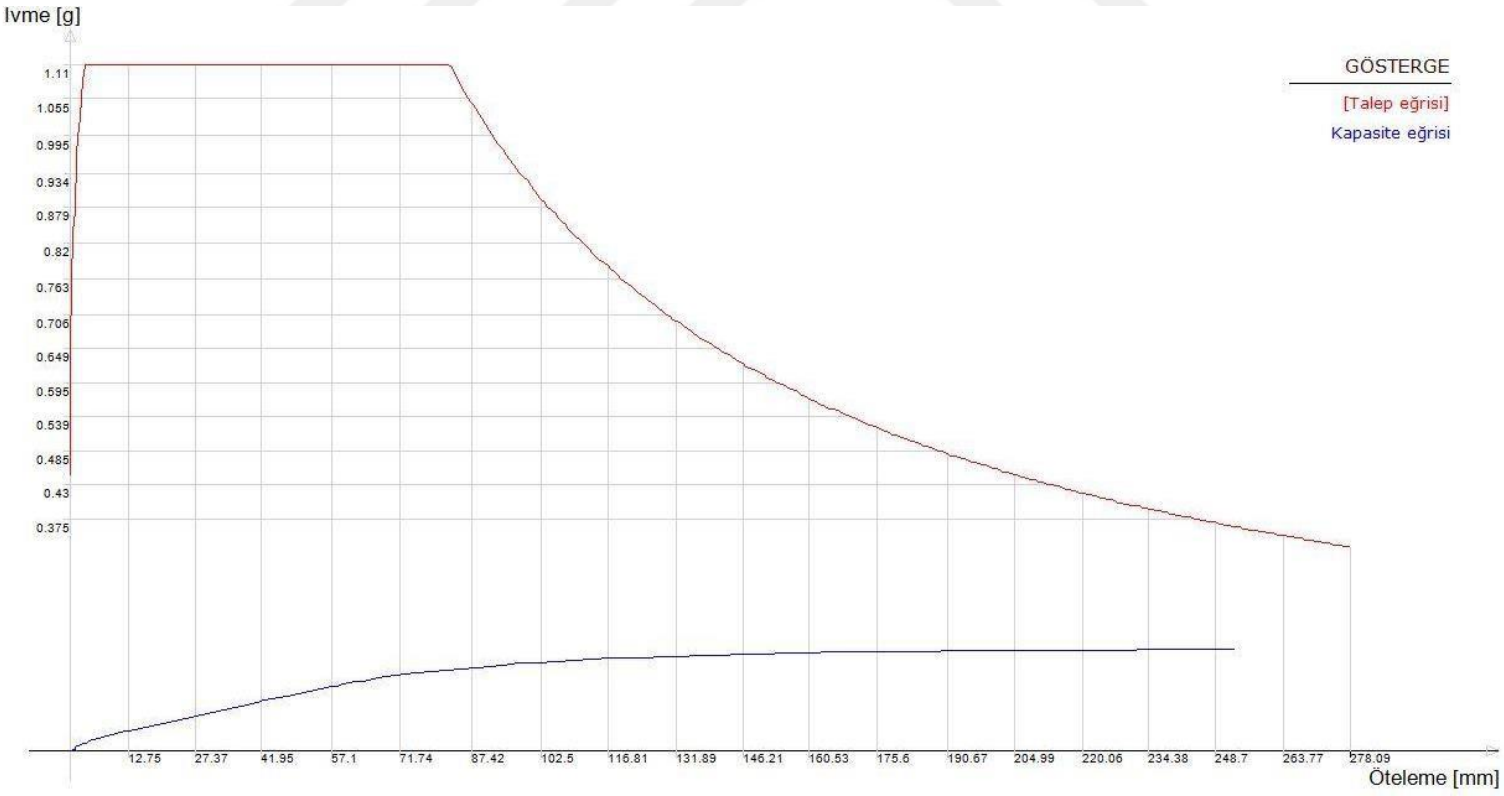
Ek Grafik 4. Tali kirişli sistem y yönü modal kapasite eğrisi



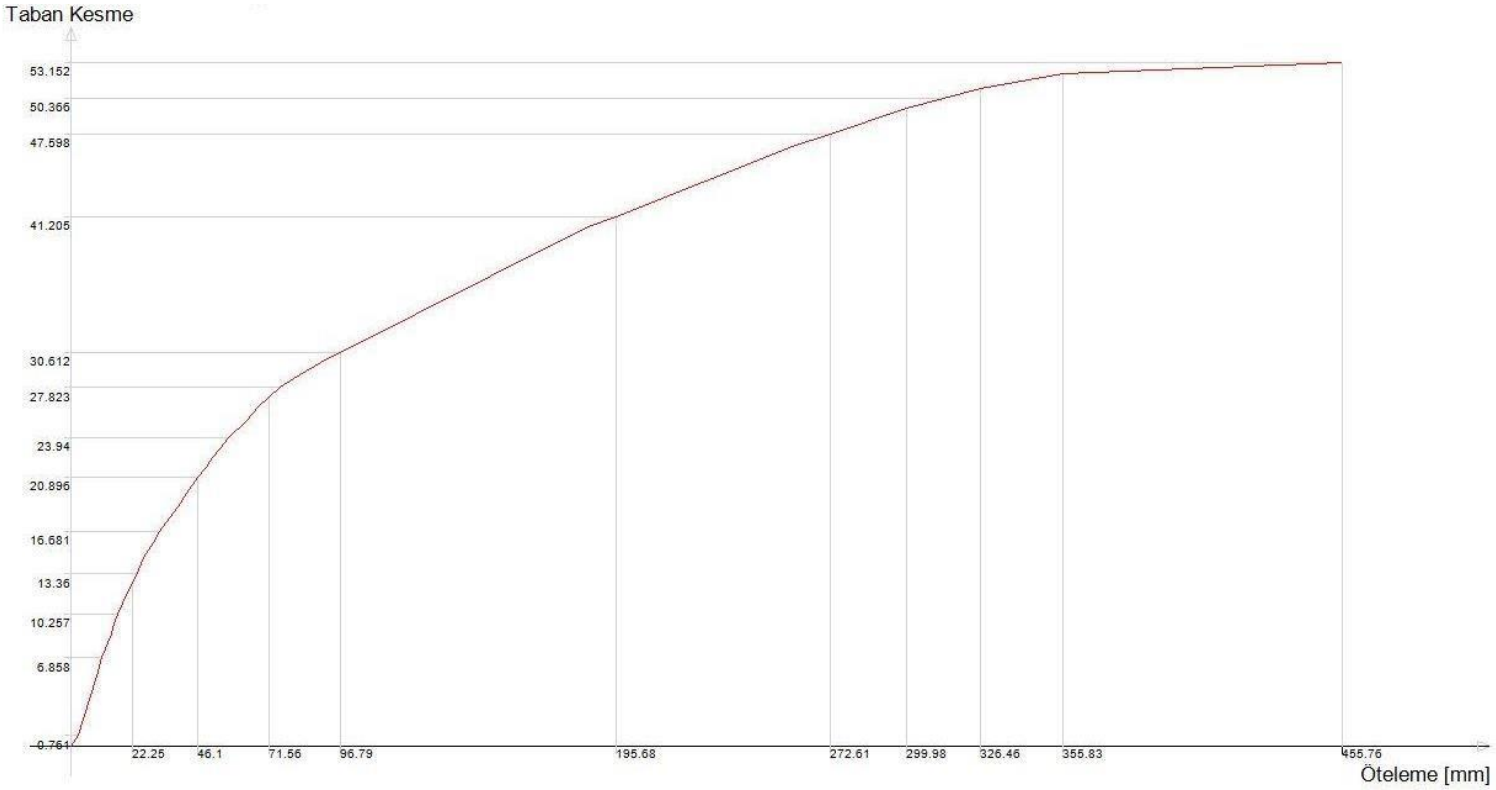
Ek Grafik 5. Kaset döşemeli sistem x yönü doğrusal olmayan itme eğrisi



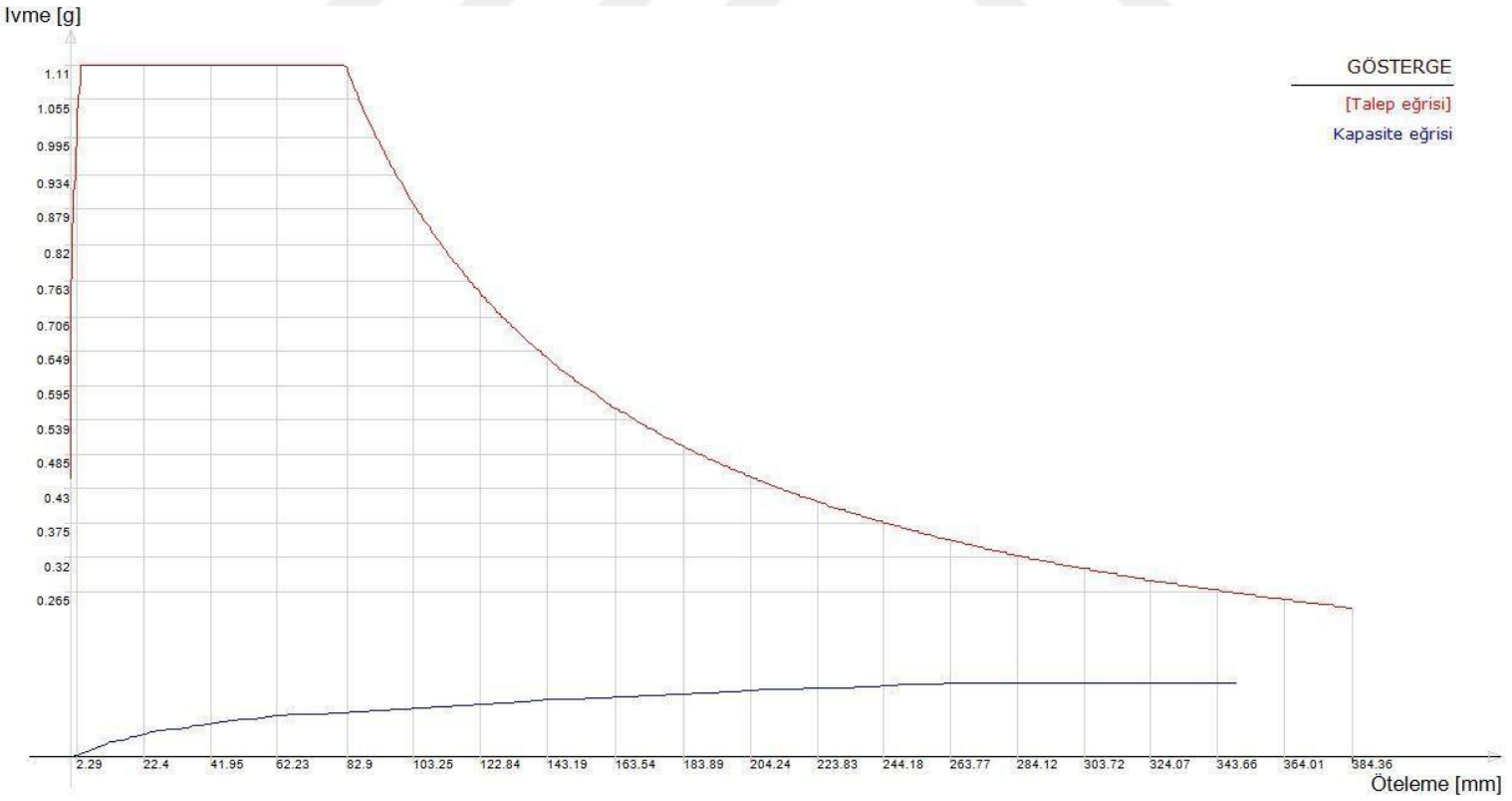
Ek Grafik 6. Kaset döşemeli sistem x yönü modal kapasite eğrisi



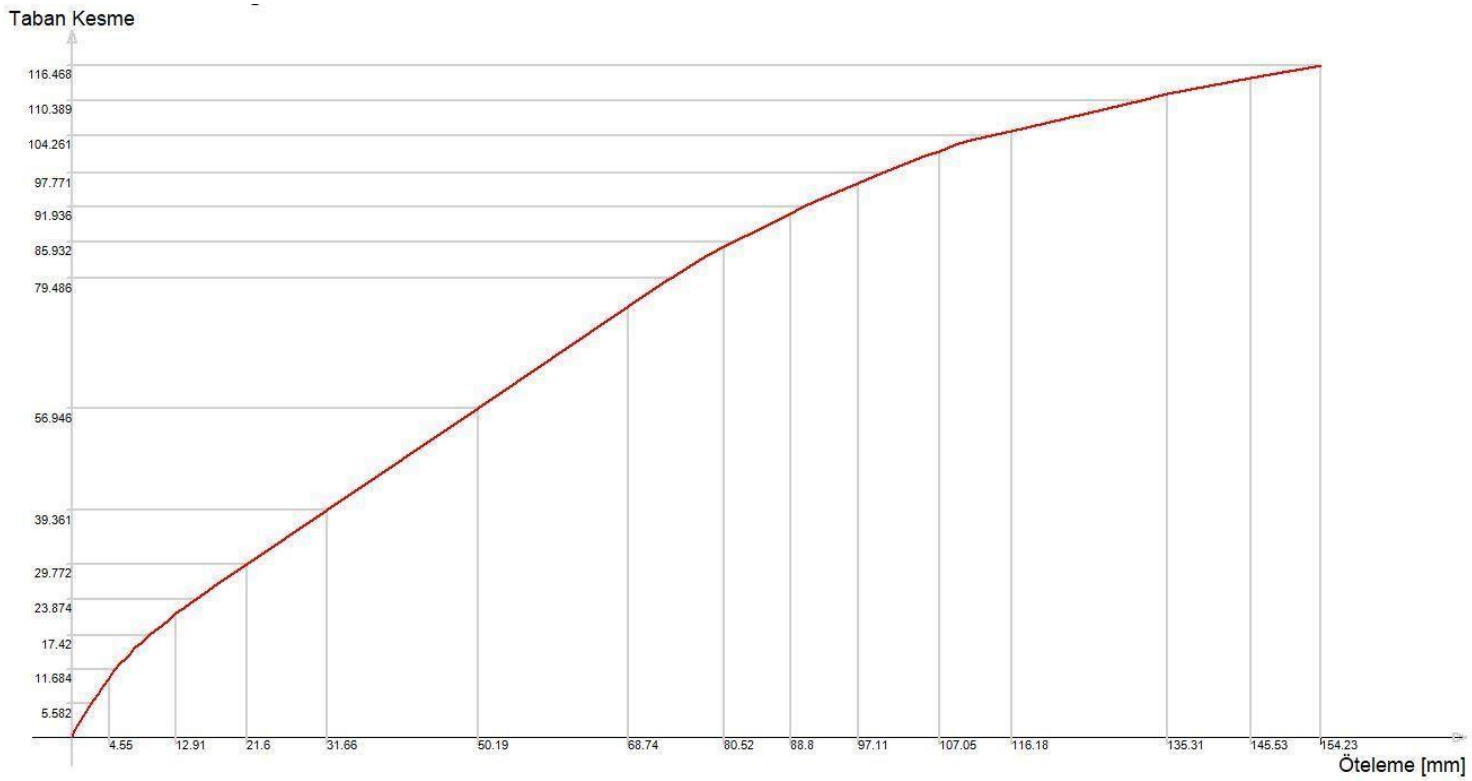
Ek Grafik 7. Kaset döşemeli sistem y yönü doğrusal olmayan itme eğrisi



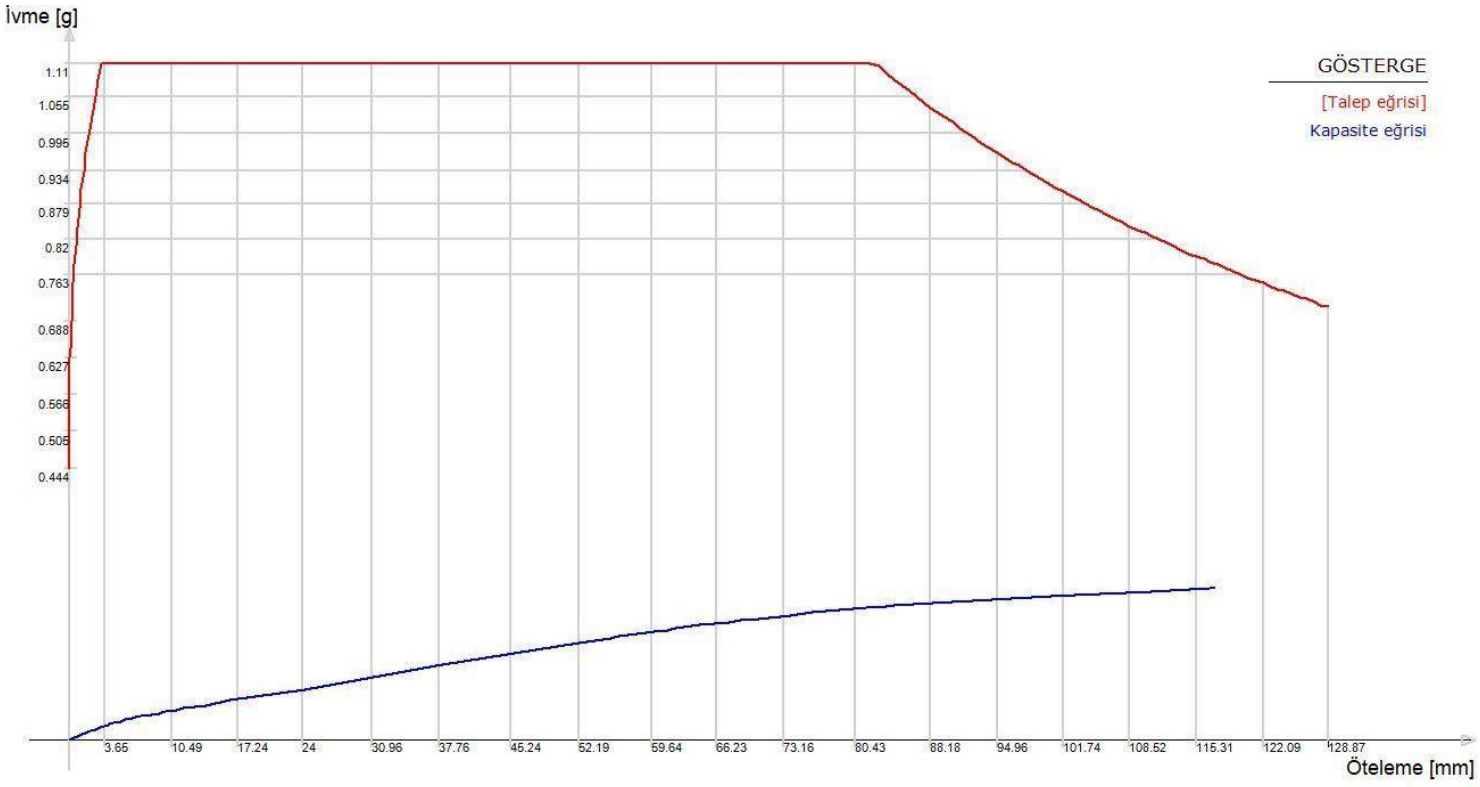
Ek Grafik 8. Kaset döşemeli sistem y yönü modal kapasite eğrisi



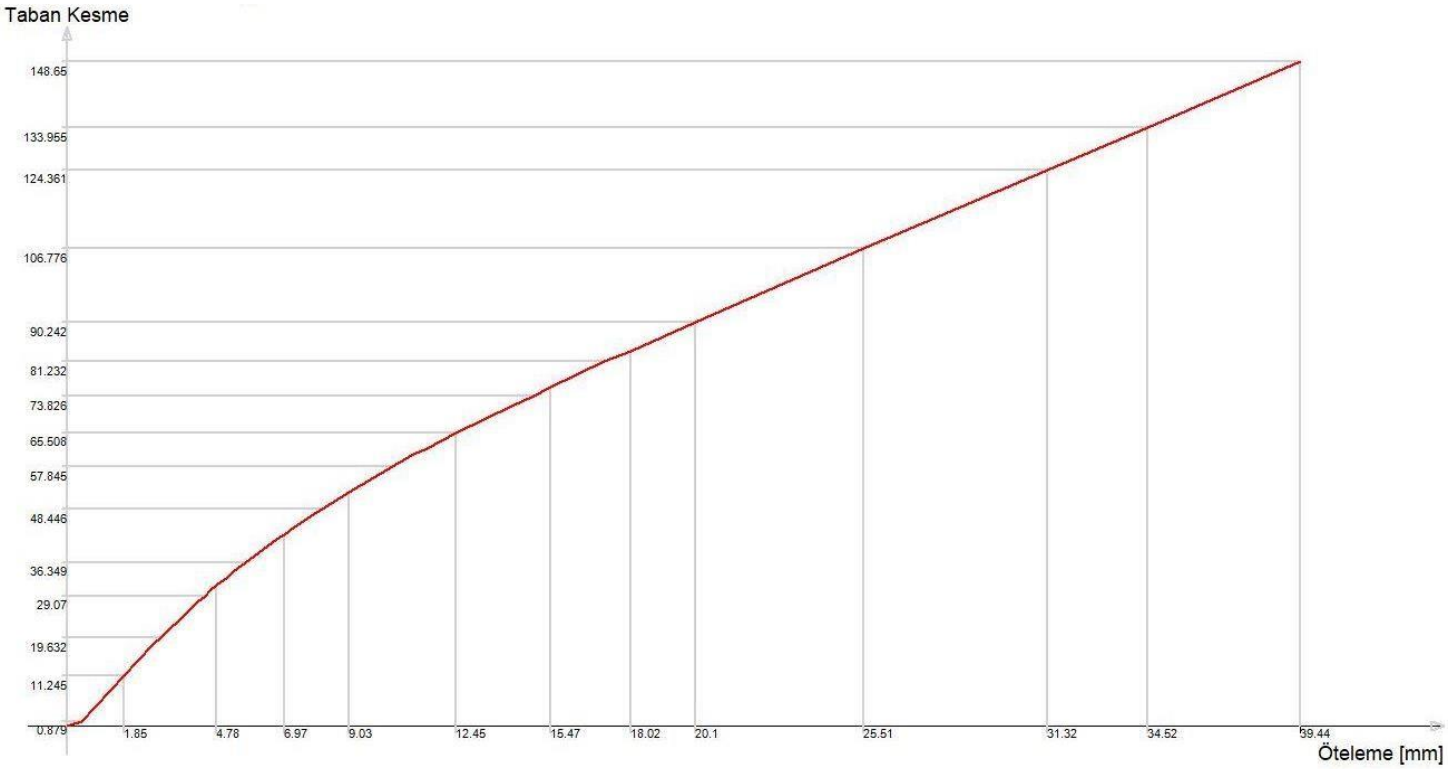
Ek Grafik 9. Güçlendirilmiş sistem x yönü doğrusal olmayan itme eğrisi



Ek Grafik 10. Güçlendirilmiş sistem x yönü modal kapasite eğrisi



Ek Grafik 11. Güçlendirilmiş sistem y yönü doğrusal olmayan itme eğrisi



Ek Grafik 12. Güçlendirilmiş sistem y yönü modal kapasite eğrisi

