



**T.C.**  
**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DIŞ DESTEK (OUTRIGGER) KİRİŞLERİNİN DEPREM ETKİSİNDEKİ  
BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN  
DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Halil İbrahim ÇELİK**

**KASIM 2019**

**GÜMÜŞHANE**

**T.C.**  
**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DIŞ DESTEK (OUTRIGGER) KİRİŞLERİNİN DEPREM ETKİSİNDEKİ  
BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN  
DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Halil İbrahim ÇELİK**

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”**

**Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.11.2019**

**Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 18.12.2019**

**KASIM 2019**



KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR danışmanlığında Halil İbrahim ÇELİK tarafından hazırlanan “DIŞ DESTEK (OUTRIGGER) KİRİŞLERİNİN DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Şükrü YETGİN

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR

Üye : Prof. Dr. Süleyman ADANUR

ONAY

Bu tez 29/01/20 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

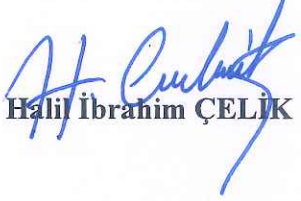
Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“DIŞ DESTEK (OUTRIGGER) KİRİŞLERİNİN DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ”** isimli tez çalışmada; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

26/11/2019

  
Halil İbrahim ÇELİK



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### **DIŞ DESTEK (OUTRIGGER) KİRİŞLERİNİN DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

Halil İbrahim ÇELİK

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR

2019, 161 sayfa

Günümüzde yaygın kullanım alanı bulan yüksek yapılar yapı yüksekliği arttıkça, özellikle yatay yükler altında rijitlik ve yerdeğiştirme problemlerini beraberinde getirmiştir. Yüksek yapıların yatay yüklere karşı da istenilen emniyete sahip olabilmelerini sağlamak için taşıyıcı sistemlerinin uygun olarak seçilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018) esas alınarak 29 katlı betonarme perde-çerçeve bir yüksek yapının deprem yükleri altındaki davranışı incelenmiştir. TBDY-2018’de tavsiye niteliğinde dış destek kirişlerin yüksek binalarda dayanım fazlalıklarının sınırlandırılmasının gerekliliğine dikkat çeken maddesi

dikkate alınarak incelenen 29 katlı yapıya, yapı yüksekliği  $H$  olmak üzere  $0.33H$  ve  $0.66H$  mesafelerinde dış destek kirişler ilave edilmiştir. Oluşturulan iki farklı model için öncelikle dayanıma göre tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal hesap yöntemlerinden mod birleştirme yöntemine göre spektrum analizi gerçekleştirilmiştir. Yüksek yapıların davranışını daha doğru tahmin edebilmek için diğer gelişmiş ülkelerdeki deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi TBDY-2018’de de doğrusal olmayan şekildeğiştirme esaslı tasarım yaklaşımı önerilmektedir. Bu amaçla; 29 katlı toplam yüksekliği 116.0 metre olan betonarme yüksek bir bina dış destek kirişli ve dış destek kirişsiz olarak ele alınmıştır. Ayrıca bu binaların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir.

Birinci bölümde; yüksek katlı binaların tarihçesi, performans analizine giriş, yüksek yapılarda dış destek kiriş hakkında genel bilgiler, yüksek binalar hakkında yapılmış çalışmalar, doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri hakkında bilgilere yer verilmiştir. İkinci bölümde; bina modelleri hakkında bilgiler ve kullanılan yöntemler ile yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde; yapılan çalışmalar ve analizler sonucu varılan değerler, tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Dördüncü bölümde; yapılan çalışmalar kapsamında bulunan sonuçlar dahilinde genel çıkarımlar ve önerilerden bahsedilmiştir.

Çalışmanın sonucunda incelenen iki model için hedeflenen performans etkileri dahilinde kalınıp kalınmadığı tespit edilmiştir ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Dış destek kiriş kullanılan modelde yapı rijitliği ve perdelerde kesme kuvvetlerinin arttığı görülürken, buna bağlı olarak; yerdeğiştirmeler, görelî kat ötelemeleri, plastik dönme değerleri ve perdeler için eğilme momenti değerlerinin azaldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek binalar, Dış destek (outrigger) kirişler, Deprem Performans Analizi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Mod Birleştirme Yöntemi, Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz.

## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF OUTRIGGER BEAMS ON PERFORMANCE OF A HIGH-RISE REINFORCED CONCRETE BUILDING UNDER SEISMIC EFFECTS BY LINEAR AND NONLINEAR METHODS**

Halil İbrahim ÇELİK

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Associate Professor Özlem ÇAVDAR

2019, 161 sayfa

Today, high-rise buildings, which are widely used, have brought about problems of stiffness and displacement, especially under horizontal loads. In order to ensure that high structures have the desired safety against horizontal loads, the carrier systems must be selected appropriately.

In this thesis, the behavior of a 29-story reinforced concrete framed high-rise structure under earthquake loads is examined based on Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBDY-2018).

Outrigger beams were added to the 29-story structure on 0.33H and 0.66H levels (H is height of structure), because, these were advised in an article of TBDY-2018 for the necessity of limiting the excess strength of the beams in high-rise buildings. For two different models, firstly, spectrum analysis according to mode superposition methods of linear computational methods to be used within the scope of design according to strength is performed. In order to determinate more accurately the behavior of tall buildings, as in the earthquake regulations of other developed countries, the TBDY-2018 advised a nonlinear deformation based design approach. For this purpose; A 29-storey reinforced concrete building with a total height of 116.0 meters was investigated with outrigger beams and without outrigger beams. In addition, the nonlinear time history analysis of these buildings was performed.

In the first section; information about history of high-rise buildings, introduction to performance analysis, general information about outrigger beams in high-rise buildings, studies on high-rise buildings and linear and nonlinear analysis methods were given. In the second part; information about the building models and studies about the methods used were mentioned. In the third section; the values obtained as a result of the studies and analyzes were given in tables and graphs. In the fourth section; conclusions and suggestions were mentioned within the scope of the studies.

As a result of these analyzes, it was determined whether the two models examined were within the targeted performance effects or not and the results were given comparatively. In the model having outrigger beams, stiffness and shear forces in shear walls were increased. Thus, displacements, relative story drift, plastic rotations and bending moments of shear walls were decreased.

**Keywords:** High-rise buildings, Outrigger beams, Earthquake Performance Analysis, Turkish Building Earthquake Code-2018, Mod superposition Method, Nonlinear time history analysis.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği programı çerçevesinde gerçekleştirilen bu yüksek lisans tez çalışmasında, yakın bir zamanda yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği uyarınca, İstanbul il sınırları içerisinde yapılacak betonarme yüksek bir binanın doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerle performansı incelenmiştir.

Yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi, tecrübe ve yardımlarını benimle paylasan, yüksek lisans tezimi hayata geçirebilmem konusunda en büyük paya sahip olan danışman hocam sayın Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR'a sonsuz müteşekkirim.

Tez çalışmam esnasında karşılaştığım birtakım sorunların çözümünde bilgi ve tecrübesinden yararlandığım, Arş. Gör. Fezayıl SUNCA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yasamım boyunca maddi ve manevi desteklerini üzerimden hiçbir zaman eksik etmeyen, her daim bana destek olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Ayrıca yoğun tez çalışma temposunda beni yalnız bırakmayıp destekleyen ve motive eden değerli arkadaşım Yük. İnş. Müh. Osman AKÇAY'a teşekkür ederim.

Halil İbrahim ÇELİK

Gümüşhane, 2019

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET .....	IV
ABSTRACT .....	VI
TEŞEKKÜR .....	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XIV
TABLolar DİZİNİ.....	XX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XXII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Yüksek Katlı Binaların Tarihçesi.....	2
1.1.2. Yüksek Yapılarda Dış Destek (Outrigger) Giriş.....	4
1.1.3. Yapılmış Çalışmalar.....	6
1.1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	10
1.2. Doğrusal Olmayan Davranış ve Performans Kavramı.....	11
1.2.1. Doğrusal Olmayan Davranış .....	11
1.2.1.1. Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Elemanlar .....	12
1.2.1.2. Donatı Çeliği Gerilme – Şekildeğiştirme Diyagramı.....	13
1.2.1.3. Betonun Gerilme–Şekildeğiştirme Diyagramı.....	14
1.2.2. Kullanılan Malzemeler Yönünden Doğrusal Olmayan Sistemler.....	17
1.2.3. Plastik Mafsallık Kavramı.....	17
1.2.4. Performans Kavramı ve Zaman Tanım Alanında Hesap .....	20

1.3.	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Doğrusal Tasarım İlkeleri .....	20
1.3.1.	Deprem Yer Hareketi Düzeyleri .....	21
1.3.2.	Standart Yer Hareketi Spektrumları.....	21
1.3.2.1.	Harita Spektral İvme Katsayıları ve Tasarım Spektral İvme Katsayıları.....	21
1.3.2.2.	Yerel Zemin Etki Katsayıları .....	23
1.3.2.3.	Yatay Elastik Spektrumu .....	24
1.3.2.4.	Düşey Elastik Tasarım Spektrumu.....	26
1.3.3.	Deprem Etkisi Altında Binalar İçin Tasarım Esasları.....	27
1.3.3.1.	Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları .....	27
1.3.3.2.	Deprem Tasarım Sınıfları .....	28
1.3.3.3.	Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıfları.....	29
1.3.3.4.	Binalar Performans Düzeyleri.....	30
1.3.3.5.	Binalar Performans Hedefleri ve Uygulanacak Tasarım Yaklaşımları.....	30
1.3.3.6.	Düzensizlik Durumları.....	32
1.3.4.	Yüksek Binaların Dayanıma Göre Tasarım Hesap Esasları .....	32
1.3.4.1.	Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ve Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı.....	32
1.3.4.2.	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları .....	33
1.3.4.3.	Yatay Deprem Etkisi Altında Azaltılmış Tasarım İvme Spektrumu .....	35
1.3.4.4.	Yatayda Birbirine Dik Doğrultulardaki Deprem Etkilerinin Birleştirilmesi .	35
1.3.4.5.	Düşey Deprem Etkisi Hesabı ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi .....	35
1.3.5.	Doğrusal Hesap İçin Taşıyıcı Sistemin Modellenmesine İlişkin Kurallar.....	36
1.3.6.	Kullanılacak Malzeme Özellikleri .....	36
1.3.7.	Doğrusal Hesap Yöntemleri ve Hesap Yönteminin Seçilmesi .....	37
1.3.8.	Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması ve İkinci Mertebe Etkileri .....	39
1.3.9.	Betonarme Elemanların Tasarım Kuralları .....	40
1.3.9.1.	Genel Tasarım Kuralları.....	40



1.4.	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Doğrusal Olmayan Tasarım ....	41
1.4.1.	Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım Yaklaşımı .....	42
1.4.1.1.	Tanım .....	42
1.4.1.2.	Performans Hedefleri ve Tasarım Aşamaları.....	42
1.4.2.	Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi.....	43
1.4.3.	Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri .....	44
1.4.3.1.	Yığılı Plastik Davranış Modeli .....	44
1.4.3.2.	Yayılı Plastik Davranış Modelleri.....	44
1.4.4.	Doğrusal Olmayan Hesap İçin Taşıyıcı Sistemin Modellenmesi .....	45
1.4.4.1.	Genel Modelleme Kuralları .....	45
1.4.4.2.	Betonarme Elemanların Etkin Kesit Rijitlikleri.....	46
1.4.5.	Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri .....	47
1.4.5.1.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap (Time History) .....	48
1.4.6.	Şekildeğiştirmelerin Değerlendirilmesi .....	49
1.4.6.1.	Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi İçin Sınır Değerler.....	49
1.4.6.2.	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi İçin Sınır Değerler.....	51
1.4.6.3.	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi İçin Sınır Değerler .....	51
1.4.7.	Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemleri İçin Özel Kurallar.....	51
1.4.8.	Yüksek Bina Taşıyıcı Sistem Eleman Davranış Özellikleri .....	52
1.4.8.1.	Doğrusal Olmayan Sünek Elemanların Davranış Özellikleri .....	52
1.4.8.2.	Doğrusal Davranan Elemanların Davranış Özellikleri .....	52
1.4.9.	Yüksek Bina Tasarım Aşamaları .....	53
1.4.9.1.	Tasarım Aşaması I .....	53
1.4.9.2.	Tasarım Aşaması II .....	54
1.4.9.3.	Tasarım aşaması III.....	56
1.4.10.	Tasarımın Sonuçlandırılması .....	57

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	58
2.1.	Doğrusal Analizlerin Gerçekleştirilmesi .....	66
2.1.1.	Deprem tasarım spektrumunun belirlenmesi .....	66
2.1.2.	Bina Önem Katsayısı, Deprem Tasarım Sınıfı ve Bina Yükseklik Sınıfı .....	67
2.1.3.	Bina Performans Hedefi ve Tasarım Yaklaşımının Belirlenmesi .....	68
2.1.4.	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı .....	68
2.1.5.	Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ve Azaltılmış Tasarım İvme Spektrumu ..	69
2.1.6.	Düşey Deprem Etkisi .....	70
2.1.7.	Etkin Kesit Rijitlikleri .....	70
2.1.8.	Doğrusal Hesap Yönteminin Seçilmesi .....	70
2.1.9.	Eşdeğer Deprem Yüğü Kontrolü .....	70
2.1.10.	Betonarme hesap .....	71
2.1.10.1.	Kolon Betonarme Hesabı .....	71
2.1.10.2.	Kiriş Betonarme Hesabı .....	78
2.1.10.3.	Perde Betonarme Hesabı .....	80
2.2.	Doğrusal Olmayan Analizlerin Gerçekleştirilmesi .....	84
2.2.1.	Performans Hedefleri ve Sınır Değerler .....	84
2.2.1.1.	Performans Hedefleri .....	84
2.2.1.2.	Sınır Değerlerin Belirlenmesi .....	85
2.2.2.	Malzeme Özellikleri .....	91
2.2.2.1.	Beklenen Dayanımlar .....	91
2.2.2.2.	Etkin Rijitlik Değerleri .....	91
2.2.4.	Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi .....	92
2.2.5.	Doğrusal Olmayan Modelleme ile İlgili Gözönüne Alınan Diğer Hususlar ..	107
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER .....	108
3.1.	Doğrusal Analiz Sonuçları ve İrdelemeler .....	108

3.1.1.	Modal Analiz Sonuçları .....	108
3.1.2.	Bina Modelleri İçin Kat Ağırlıkları .....	109
3.1.3.	(A1) Burulma Düzensizliği Kontrolü .....	111
3.1.4.	(A2) Döşeme Süreksizliği Kontrolleri .....	116
3.1.5.	(A3) Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliği .....	117
3.1.6.	(B1) Komşu Katlar Arası Dayanım (Zayıf Kat) Düzensizliği .....	117
3.1.7.	(B2) Komşu Katlar Arası Rijitlik (Yumuşak Kat) Düzensizliği.....	118
3.1.8.	(B3) Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği .....	122
3.1.9.	Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü .....	123
3.1.10.	Yapıda İkinci Mertebe Etkileri .....	128
3.2.	Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları ve İrdelemeler .....	131
3.2.1.	Modal Analiz Sonuçları .....	131
3.2.2.	Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü .....	133
3.2.3.	Kiriş Plastik Dönmelerinin Kontrolü .....	136
3.2.4.	Kolon Plastik Dönmelerinin Kontrolü .....	137
3.2.5.	Perde Birim Şekildeğiştirme Kontrolü.....	139
3.2.6.	Kesme Kuvvetleri, Momentler ve Plastik Mafsallaşma.....	141
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	154
5.	KAYNAKLAR .....	157
	ÖZGEÇMİŞ	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.1. Büyük Gize Piramidi .....	2
Şekil 1.2. Empire State ve Burj Halife Binası .....	3
Şekil 1.3. İş Bankası Kulesi .....	4
Şekil 1.4. Yüksek yapılarda kullanılan dış destek kiriş uygulaması için yatay ve düşey model görüntüsü (Calayır ve Dedeoğlu, 2017). ....	5
Şekil 1.5. Dış destek kiriş deprem etkilerinde çalışma prensibi (Calayır ve Dedeoğlu, 2017). ....	6
Şekil 1.6. Şematik yük-şekildeğiştirme diyagramı (Çakıroğlu; Özer, 1980). ....	12
Şekil 1.7. Malzeme idealleştirmeleri (Çakıroğlu; Özer, 1980). ....	13
Şekil 1.8. Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Çetin, 2007). ....	13
Şekil 1.9. Donatı gerilme-şekildeğiştirme idealleştirilmiş ilişki (TBDY, 2018). ....	14
Şekil 1.10. Beton gerilme-şekildeğiştirme diyagramı (Çakıroğlu; Özer, 1980). ....	14
Şekil 1.11. Değişik dayanıma sahip betonların şekildeğiştirme eğrileri (Celep, 2011)...	15
Şekil 1.12. Yanal basınç etkisindeki betonun şekildeğiştirme eğrisi (Celep, 2011). ....	15
Şekil 1.13. Etriyelerin beton üzerindeki sarılma etkisi (Celep, 2011). ....	16
Şekil 1.14. Sargılı ve sargısız beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Kaltakçı; Köken; Yılmaz, 2006). ....	16
Şekil 1.15. Birinci ve ikinci mertebe etkilerinin karşılaştırılması (Güven, 2018). ....	17
Şekil 1.16. Kiriş boyunca plastik eğrilik değişimi (Celep, 2007). ....	18
Şekil 1.17. Eğilme moment-eğrilik diyagramı (Özer, 2009). ....	19
Şekil 1.18. Plastik mafsallık kabulü (Özer, 2009). ....	19
Şekil 1.19. İdealleştirilmiş moment-eğrilik diyagramı (Özer, 2009). ....	20

Şekil 1.20. Tasarım spektral ivme-periyot grafiği (TBDY, 2018).....	25
Şekil 1.21. Tasarım spektral yerdeğiştirme-periyot grafiği (TBDY, 2018).....	25
Şekil 1.22. Tasarım spektral düşey ivme-periyot grafiği (TBDY, 2018). ....	26
Şekil 1.23. Özel deprem etriye ve çiroz geometrileri (TBDY-2018). ....	41
Şekil 1.24. Perdelerde lifli modelleme (Güven, 2018). ....	45
Şekil 2.1. Tasarlanan model için düşünülen lokasyon (Bostancı/İstanbul) .....	58
Şekil 2.2. Bodrum katlar kalıp planı (Birimler cm'dir.) .....	60
Şekil 2.3. Normal katlar kalıp planı (Birimler cm'dir.) .....	61
Şekil 2.4. Dış destek kirişli model için uygulama kalıp planı (Birimler cm'dir.).....	62
Şekil 2.5. Dış destek kirişsiz model için 3D görüntüsü .....	63
Şekil 2.6. Dış destek kirişsiz model için XZ uygulama planı .....	64
Şekil 2.7. Dış destek kirişli model için XZ Eksenli uygulama planı .....	65
Şekil 2.8. Deprem tasarım parametreleri .....	66
Şekil 2.9. DD-2 Deprem düzeyi tasarım spektrumu .....	67
Şekil 2.10. Deprem yükü azaltma katsayısı .....	69
Şekil 2.11. Azaltılmış tasarım ivme spektrumu .....	69
Şekil 2.12. Kirişler için Moment-Eğrilik diyagramı .....	86
Şekil 2.13. C100X100 kolon için Moment-Eğrilik diyagramı .....	87
Şekil 2.14. C90X90 kolon için Moment-Eğrilik diyagramı .....	88
Şekil 2.15. C80X80 kolon için Moment-Eğrilik diyagramı .....	89
Şekil 2.16. Peer deprem kaydı arama sayfası .....	93
Şekil 2.17. Ölçeklendirilen ivme kayıtlarına ait tepki spektrumları ve hedef spektrumu .....	95
Şekil 2.18. RSN164-CPE147 İvme-Zaman grafiği.....	95
Şekil 2.19. RSN164-CPE237 İvme-Zaman grafiği.....	96
Şekil 2.20. RSN164 İvme tepki spektrum grafiği.....	96

Şekil 2.21. RSN265-045 İvme-zaman grafiği .....	96
Şekil 2.22. RSN265-315 İvme-zaman grafiği .....	97
Şekil 2.23. RSN265 İvme tepki spektrum grafiği.....	97
Şekil 2.24. RSN313-L İvme-zaman grafiği .....	97
Şekil 2.25. RSN313-T İvme-zaman grafiği .....	98
Şekil 2.26. RSN313 İvme tepki spektrum grafiği.....	98
Şekil 2.27. RSN359-PV1000 İvme-zaman grafiği .....	98
Şekil 2.28. RSN359-PV1090 İvme-zaman grafiği .....	99
Şekil 2.29. RSN359 İvme tepki spektrum grafiği.....	99
Şekil 2.30. RSN587-MAT083 İvme-zaman grafiği.....	99
Şekil 2.31. RSN587-MAT353 İvme-zaman grafiği.....	100
Şekil 2.32. RSN587 İvme tepki spektrum grafiği.....	100
Şekil 2.33. RSN827-000 İvme-zaman grafiği .....	100
Şekil 2.34. RSN827-090 İvme-zaman grafiği .....	101
Şekil 2.35. RSN827 İvme tepki spektrum grafiği.....	101
Şekil 2.36. RSN864-000 İvme-zaman grafiği .....	101
Şekil 2.37. RSN864-090 İvme-zaman grafiği .....	102
Şekil 2.38. RSN864 İvme tepki spektrum grafiği.....	102
Şekil 2.39. RSN963-090 İvme-zaman grafiği .....	102
Şekil 2.40. RSN963-360 İvme-zaman grafiği .....	103
Şekil 2.41. RSN963 İvme tepki spektrum grafiği.....	103
Şekil 2.42. RSN1006-090 İvme-zaman grafiği.....	103
Şekil 2.43. RSN1006-360 İvme-zaman grafiği.....	104
Şekil 2.44. RSN1006 İvme tepki spektrum grafiği.....	104
Şekil 2.45. RSN1633-L İvme-zaman grafiği .....	104
Şekil 2.46. RSN1633 İvme-zaman grafiği.....	105

Şekil 2.47. RSN1633 İvme tepki spektrum grafiği.....	105
Şekil 2.48. RSN1787-000 İvme-zaman grafiği.....	105
Şekil 2.49. RSN1787-090 İvme-zaman grafiği.....	106
Şekil 2.50. RSN1787 İvme tepki spektrum grafiği.....	106
Şekil 2.51. RSN1614-E İvme-zaman grafiği.....	106
Şekil 2.52. RSN1614-N İvme-zaman grafiği.....	107
Şekil 2.53. RSN1614 Spektral ivme tepki grafiği .....	107
Şekil 3.1. Her iki model için X doğrultusunda ötelemelerin karşılaştırılması.....	115
Şekil 3.2. Her iki model için Y doğrultusunda ötelemelerin karşılaştırılması.....	116
Şekil 3.3. Her iki model için X doğrultusunda kat öteleme karşılaştırılması .....	127
Şekil 3.4. Her iki model için Y doğrultusunda kat öteleme karşılaştırılması .....	127
Şekil 3.5. X Doğrultusunda her bir deprem kaydı için görel kat ötelemeleri .....	134
Şekil 3.6. Y Doğrultusunda her bir deprem kaydı için görel kat ötelemeleri .....	134
Şekil 3.7. X Doğrultusunda ortalama görel kat ötelemeleri .....	135
Şekil 3.8. Y Doğrultusunda ortalama görel kat ötelemeleri .....	135
Şekil 3.9. Dış destek kirişsiz model için B1 kirişi dönme değerleri .....	136
Şekil 3.10. Dış destek kirişli model için B1 kirişi dönme değerleri .....	137
Şekil 3.11. Dış destek kirişsiz model için C1 kolonu X doğrultusu dönme değerleri .....	138
Şekil 3.12. Dış destek kirişsiz model için C1 kolonu Y doğrultusu dönme değerleri .....	138
Şekil 3.13. Dış destek kirişli model için C1 kolonu X doğrultusunda dönme değerleri .....	139
Şekil 3.14. Dış destek kirişli model için C1 kolonu Y doğrultusunda dönme değerleri .....	139
Şekil 3.15. Dış destek kirişsiz model P1 Perdesi dönme değerleri .....	140
Şekil 3.16. Dış destek kirişli model P1 perdesi dönme değerleri .....	140
Şekil 3.17. X Doğrultusunda RSN164 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	141
Şekil 3.18. Y Doğrultusunda RSN164 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	141



Şekil 3.19. X Doğrultusunda RSN265 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	142
Şekil 3.20. Y Doğrultusunda RSN265 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	142
Şekil 3.21. X Doğrultusunda RSN313 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	142
Şekil 3.22. Y Doğrultusunda RSN313 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	143
Şekil 3.23. X Doğrultusunda RSN359 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	143
Şekil 3.24. Y Doğrultusunda RSN359 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	143
Şekil 3.25. X Doğrultusunda RSN587 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	144
Şekil 3.26. Y Doğrultusunda RSN587 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	144
Şekil 3.27. X Doğrultusunda RSN827 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	144
Şekil 3.28. Y Doğrultusunda RSN827 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	145
Şekil 3.29. X Doğrultusunda RSN864 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	145
Şekil 3.30. Y Doğrultusunda RSN864 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	145
Şekil 3.31. X Doğrultusunda RSN963 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	146
Şekil 3.32. Y Doğrultusunda RSN963 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	146
Şekil 3.33. Y Doğrultusunda RSN1006 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	146
Şekil 3.34. Y Doğrultusunda RSN1006 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	147
Şekil 3.35. X Doğrultusunda RSN1633 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	147
Şekil 3.36. Y Doğrultusunda RSN1633 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	147
Şekil 3.37. X Doğrultusunda RSN1787 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	148
Şekil 3.38. Y Doğrultusunda RSN1787 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	148
Şekil 3.39. X Doğrultusunda RSN1614 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	148
Şekil 3.40. Y Doğrultusunda RSN1614 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti .....	149
Şekil 3.41. RSN164 deprem ivme kaydı için P1 Perdesi eğilme momenti değerleri .....	150
Şekil 3.42. RSN1614 deprem ivme kaydı için P1 Perdesi eğilme momenti değerleri ....	150
Şekil 3.43. RSN164 deprem kaydı için P1 Perdesi eğilme momenti diyagramı .....	151
Şekil 3.44. RSN1614 deprem kaydı için P1 Perdesi eğilme momenti diyagramı .....	152

Şekil 3.45. RSN827 deprem kaydı plastik mafsallaşma karşılaştırması.....	153
--	-----

## TABLOLAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1.1. Yerel zemin sınıfları (TBDY, 2018).....	22
Tablo 1.2. Kısa periyot için yerel zemin etki katsayıları. ....	23
Tablo 1.3. 1.0 saniye için yerel zemin etki katsayıları.....	24
Tablo 1.4. Bina kullanım sınıfları ve Bina önem katsayıları (TBDY, 2018).....	28
Tablo 1.5. Deprem tasarım sınıfları (TBDY, 2018).....	28
Tablo 1.6. Bina yükseklik sınıfları (TBDY, 2018). ....	29
Tablo 1.7. Yüksek binalar için performans hedefleri ve tasarım yaklaşımı .....	31
Tablo 1.8. Süneklilik düzeyi yüksek betonarme bina için katsayılar.....	34
Tablo 1.9. Eşdeğer Deprem yükü yöntemi kullanılacak binalar (TBDY, 2018). ....	37
Tablo 1.10. Beklenen (Ortalama) malzeme dayanımları (TBDY, 2018).....	46
Tablo 1.11. II. Aşama için etkin kesit rijitlikleri (TBDY, 2018). ....	54
Tablo 2.1. Tasarlanan iki model için Yapısal Eleman boyutları.....	59
Tablo 2.2. C100X100 Kolonu için eksenel yük kontrolü .....	72
Tablo 2.3. C90X90 Kolonu eksenel yük kontrolü .....	73
Tablo 2.4. C80X80 Kolonu için eksenel yük kontrolü .....	74
Tablo 2.5. C100X100 Kolonu için eğilme donatı kontrolü .....	75
Tablo 2.6. C90X90 Kolonu için eğilme donatı kontrolü .....	76
Tablo 2.7. C80X80 Kolonu için eğilme donatı kontrolü .....	77
Tablo 2.8. Kolonlar için kesme donatısı kontrolü.....	78
Tablo 2.9. Kirişler için kesme donatısı kontrolü.....	79
Tablo 2.10. Perdeler için eksenel kuvvet kontrolü.....	81
Tablo 2.11. Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri .....	94

Tablo 2.12. Deprem kayıtları için ölçek katsayıları .....	94
Tablo 3.1. Dış destek kirişsiz model için kütle katılım oranları .....	108
Tablo 3.2. Dış destek kirişli model için kütle katılım oranları .....	109
Tablo 3.3. Dış destek kirişsiz model için kat ağırlıkları .....	110
Tablo 3.4. Dış destek kirişli model için kat ağırlıkları .....	111
Tablo 3.5 Dış destek kirişsiz model için X doğrultusunda burulma kontrolü .....	112
Tablo 3.6 Dış destek kirişsiz model için Y doğrultusunda burulma kontrolü .....	113
Tablo 3.7 Dış destek kirişli model için X doğrultusunda burulma kontrolü .....	114
Tablo 3.8 Dış destek kirişli model için Y doğrultusunda burulma kontrolü .....	115
Tablo 3.9. Dış destek kirişsiz bina için X doğrultusu B2 düzensizliği kontrolü.....	119
Tablo 3.10. Dış destek kirişsiz bina için Y doğrultusu B2 düzensizliği kontrolü.....	120
Tablo 3.11. Dış destek kirişli bina için X doğrultusu B2 düzensizliği kontrolü.....	121
Tablo 3.12. Dış destek kirişli bina için Y doğrultusu B2 düzensizliği kontrolü.....	122
Tablo 3.13. Dış destek kirişsiz bina için X doğrultusu Göreli kat öteleme tahkiki .....	123
Tablo 3.14. Dış destek kirişsiz bina için Y doğrultusu Göreli kat öteleme tahkiki .....	124
Tablo 3.15. Dış destek kirişli bina için X doğrultusu Göreli kat öteleme tahkiki .....	125
Tablo 3.16. Dış destek kirişli bina için Y doğrultusu Göreli kat öteleme tahkiki .....	126
Tablo 3.17. X doğrultusunda dış destek kirişsiz model için İkinci Mertebe etkileri .....	128
Tablo 3.18. X doğrultusunda dış destek kirişli model için İkinci Mertebe etkileri .....	129
Tablo 3.19. Y doğrultusunda dış destek kirişsiz model için İkinci Mertebe etkileri .....	130
Tablo 3.20. Y doğrultusunda dış destek kirişli model için İkinci Mertebe etkileri .....	131
Tablo 3.21. Doğrusal olmayan analiz için dış destek kirişsiz model kütle katılım oranları.....	132
Tablo 3.22. Doğrusal olmayan analiz için dış destek kirişli model kütle katılım oranları.....	133

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$(\Delta_i^{(X)})_{\max}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$	: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
a	: Kolonda veya perde uç bölgesinde etriye kollarının arasındaki yatay mesafe
$A_c$	: Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı
$A_{ck}$	: Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı
$A_w$	: Herhangi bir katta, toplam kolon enkesiti etkin gövde alanları
$A_w$	: Kolon enkesiti etkin gövde alanı
$A_{wj}$	: j'inci perdenin gövde enkesit alanı
$b_k$	: Kolon veya perde uç bölgesi çekirdeğinin enkesit boyutu
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
$b_w$	: Kirişin gövde genişliği, perdenin gövde kalınlığı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
c	: Bağ kirişli perde parçalarının enkesit ağırlık merkezleri arasındaki uzaklık
$C_h$	: İkinci mertebe hesabında kullanılan ampirik katsayı
$C_t$	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
D	: Dayanım Fazlalığı Katsayısı
D	: Kirişin faydalı yüksekliği
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	: 50 yılda aşılma olasılığı %68 olan deprem yer hareketi düzeyi
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
e	: %5'lik ek dışmerkezlik
E	: Deprem etkisi
$E_d$	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas toplam deprem etkisi
$E_d^{(H)}$	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
$E_d^{(X)}$	: (X) doğrultusundaki tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Y)}$	: (Y) doğrultusundaki tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	: (Z) doğrultusundaki tasarıma esas deprem etkisi
$F_1$	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı

$f_{cd}$	: Betonun tasarım basınç dayanımı
$f_{ck}$	: Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
$f_{ctd}$	: Betonun tasarım çekme dayanımı
$f_{ctd}$	: Betonun tasarım çekme dayanımı
$F_s$	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
$f_{yd}$	: Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
$f_{yk}$	: Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı
$f_{ywd}$	: Enine donatının tasarım akma dayanımı
$f_{ywk}$	: Enine donatının karakteristik akma dayanımı
$G$	: Sabit yük etkisi
$g$	: Yerçekimi ivmesi [ $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ]
$G\ddot{O}$	: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
$h$	: Kolonun gözönüne alınan deprem doğrultusundaki enkesit boyutu
$H_{cr}$	: Perde kritik yüksekliği
$h_i$	: Binanın $i$ 'inci katın yüksekliği
$H_i$	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümde $i$ 'inci katın üst bölümün tabanından itibaren ölçülen yüksekliği
$h_k$	: Kiriş yüksekliği
$H_N$	: Binanın toplam yüksekliği
$H_w$	: Temel üstünden veya zemin kattan itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
$I$	: Bina Önem Katsayısı
$\ddot{I}HB$	: İleri hasar bölgesi
$KH$	: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
$KK$	: Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
$\ell_b$	: TS 500'de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu
$\ell_n$	: Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği, kirişin kolon veya perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığı
$\ell_w$	: Perdenin plandaki boyu
$\ell_{wj}$	: $j$ 'inci perdenin planda uzunluğu
$M_a$	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
$M_{DEV}$	: Betonarme perdenin veya çaprazlı çerçevenin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momenti
$MHB$	: Minimum hasar bölgesi
$m_i$	: $i$ 'inci katın toplam kütlesi
$m_{i0}$	: $i$ 'inci katın kütle eylemsizlik momenti

$m_j^{(S)}$	: Tipik sonlu eleman düğüm noktası j'ye etkiyen tekil kütle
MN	: Minimum hasar
$M_o$	: Binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momenti
$M_o^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momenti
$M_{pa}$	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda $f_{ck}$ , $f_{yk}$ ve çeliğin dayanım artışı gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi
$M_{pi}$	: Kirişin sol ucu i'deki kolon yüzünde $f_{ck}$ , $f_{yk}$ ve çeliğin dayanım artışı gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi
$M_{pü}$	: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda $f_{ck}$ , $f_{yk}$ ve çeliğin dayanım artışı gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi
$M_{ra}$	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda $f_{cd}$ ve $f_{yd}$ 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
$M_{ri}$	: Kirişin sol ucu i'deki kolon veya perde yüzünde $f_{cd}$ ve $f_{yd}$ 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
$M_{rj}$	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon veya perde yüzünde $f_{cd}$ ve $f_{yd}$ 'ye göre hesaplanan negatif veya pozitif taşıma gücü momenti
$m_t$	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi
$M_{ü}$	: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki toplam kat sayısı
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
$N_d$	: Eksenel kuvvet
$N_{dm}$	: Eksenel kuvvetlerinin en büyüğü
$\emptyset$	: Donatı çapı
$\Theta_p$	: Plastik dönme istemi
Q	: Hareketli yük etkisi
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
$R_a(T)$	: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
s	: Enine donatı aralığı, spiral/sargı donatı adımı
$S_1$	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aeD}(T)$	: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi
SAP 2000	: Structural Analysis and Design Program 2000
$S_{aR}(T)$	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
$S_{D1}$	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı



$S_{de}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi
$S_{DS}$	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
$SH$	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
$S_s$	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
$T$	: Doğal titreşim periyodu
$T_A$	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
$T_{AD}$	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
$T_B$	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
$T_{BD}$	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
$TBDY$	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı
$T_L$	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
$T_{LD}$	: Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
$T_p^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu
$TS\ 500$	: Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları
$V_c$	: Betonun kesme kuvveti dayanımına katkısı
$V_d$	: Düşey yükler ve deprem yüklerinin etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti
$V_{dy}$	: Kirişin herhangi bir kesitinde yük katsayıları ile çarpılmamış düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti
$V_e$	: Kolon, kiriş, birleşim bölgesi ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti
$V_{ik}$	: Binanın i'inci katındaki tüm kolonlarda göz önüne alınan deprem doğrultusunda kesme kuvvetlerinin toplamı
$V_r$	: Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme kuvveti dayanımı
$V_t$	: Binaya etkiyen toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$V_{tE}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda toplam eşdeğer deprem yükü
$V_w$	: Betonarme bir kirişin kesme dayanımına kesme donatısı katkısı
$w_j^{(S)}$	: Tipik sonlu eleman düğüm noktası j'ye etkiyen tekil ağırlık
$w_k$	: k'ıncı kata etkiyen toplam ağırlık
$\beta_{tE}^{(X)}$	: Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
$\beta_v$	: Perdede kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı
$\gamma$	: Bağ kirişinde kullanılan çapraz donatı demetinin yatayla yaptığı açı
$\gamma_E$	: Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısının belirlenmesinde kullanılan ampirik katsayı
$\Delta_i^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda ardışık iki kat arasında azaltılmış görelî kat ötelemesi

$\eta_{bi}$	: i'inci katta burulma düzensizliği katsayısı
$\eta_{bi}$	: i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
$\eta_{ci}$	: i'inci katta tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı
$\eta_{ki}$	: i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
$\theta_{II,i}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda her i'inci kat için ikinci mertebe gösterge değeri
$\theta_{II,max}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda tanımlanan maksimum ikinci mertebe değeri
$\kappa$	: İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında kullanılan katsayı
$\lambda$	: Görelî kat öteleme sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
$\mu$	: Kesme sürtünmesi katsayısı
$\mu_k$	: Taşıyıcı sistem için öngörülen süneklik kapasitesi
$\rho$	: Kiriş mesnedinde üstteki veya alttaki çekme donatısı oranı
$\rho_s$	: Kolonda spiral donatının hacimsel oranı
$\rho_{sh}$	: Perdede yatay gövde donatılarının hacimsel oranı
$\Sigma A_e$	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı
$\Omega$	: Bağ kirişli perdede bağ derecesi katsayısı

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

İnsanlık tarihi, en eski dönemlerden günümüze kadar imparatorluklarının gücü ve ihtişamının sembolü olarak, imkanları dahilinde yüksek ve aynı zamanda kalıcı eserler bırakmaya çalışmıştır. 19. yüzyıla kadar yapılan eserler, taş işçiliğine ve buna bağlı olarak geometrik dizilmesi ile yapılmıştır. Bu yüzden eserlerin yapımı çok meşakkatli ve sınırlı büyüklükte olmuştur. 1824 yılında günümüzde de kullandığımız çimentonun bulunuşu ile taş işçiliğinin yerini, zamanla beton ve donatı harmanlanarak elde edilen betonarme yapılar almıştır. Betonarme yapılar nispeten ekonomik ve kolay olması ile inşa sürelerini kısaltmış ve daha yüksek yapılar ortaya çıkmıştır. Ancak yapılan binalar uzun ve bitmeyen merdivenler nedeniyle belli yüksekliklerde sınırlı kalmıştır. 1853 yılında ilk asansör boşluğu bırakılarak asansörün mevcut binalara entegre edilmesi ile yüksek binaların yapımı için en büyük engel ortadan kalkmıştır.

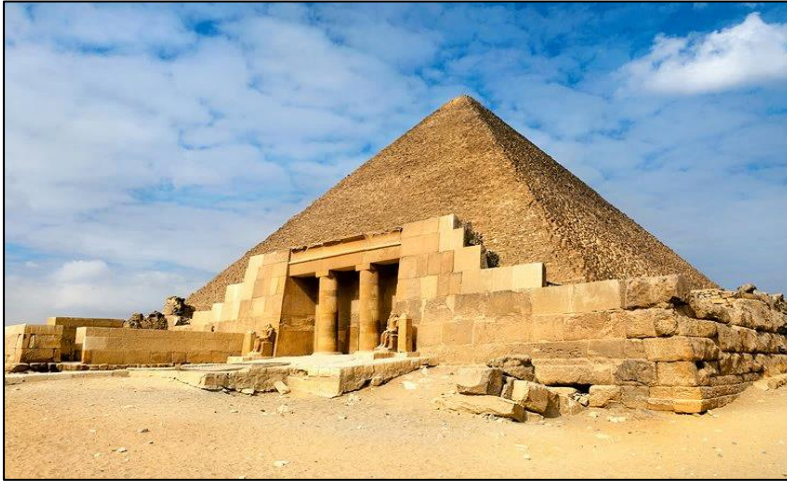
19. yüzyılın sonlarına doğru Amerika ve Avrupa'da yüksek binalar hızla yapılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise teknolojinin gelişmesi ve yayılması ile birçok kıtada da yüksek yapılar inşa edilmiştir. Türkiye'de ise 20. yüzyılın sonlarına doğru yüksek binalar yapılmaya başlanmış, 21. yüzyılda inşaat sektörünün büyümesiyle beraber yüksek bina yapımı artarak devam etmiştir.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)'de yüksek yapılara ait ayrı bir bölüm belirtilmemiştir. Ancak yüksek binalara artan talep doğrultusunda TBDY-2018'de Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerin Tasarımı İçin Özel Kurallar başlığı altında Bölüm 13'de ayrıca irdelenmiştir. Bu tez çalışmasında yürürlüğe yeni giren TBDY-2018'e göre perde-çerçeve taşıyıcı sistemli ve perde-çerçeve taşıyıcı sisteme ek dış destek (outrigger) kiriş kullanılan iki yüksek binanın tasarımı ile doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

### 1.1.1. Yüksek Katlı Binaların Tarihçesi

Artemis Tapınağı, Babil Kuleleri, Mısır Piramitleri, Büyük İskender Feneri gibi görkemli yapılar gerek taşıdıkları sosyal anlam gerekse gelişmişlik simgeleri olmaları nedeniyle tarih boyunca ilgi duyulan yapılardır. En yüksek ve en ihtişamlı yapıları yapmak için gösterilen çaba sonucunda malzeme ve yapı mühendisliği alanlarında sürekli gelişmeler gözlemlenmesine olanak sağlamıştır. Verilen önemin ve çalışmaların sonucu 4-5 katlı benzer çerçevelerden oluşan yapısal taşıyıcı sistemlerden, günümüzün devasa kolonlu, sıra dışı mimarilere sahip yüksek yapılarına ulaşılmıştır.

Eski Mısır medeniyetinde piramitler, kraliyet ailesinin ve üst düzey devlet görevlilerinin mezarları olarak kullanılmışlardır. Kahire'de bulunan dönemin en ihtişamlı ve yüksek yapısı Gize Piramidi (Şekil 1.1) bunlara en güzel örnektir.



Şekil 1.1. Büyük Gize Piramidi

1900'lü yılların başlarından itibaren, taş işçiliğinin yerine betonarme binaların yapımına başlanması, yapılara güvenilir asansörlerin yerleştirilmesi ve bilgisayar bilimleri alanlarında gözlemlenen gelişmelerle birlikte, 4-5 katlı normal yapılardan kısa sürede, Empire State ve Burj Halife (Şekil 1.2) gibi 100 kat ve üzeri yüksek yapılara ulaşılmıştır.



Şekil 1.2. Empire State ve Burj Halife Binası

Günümüz tarzı şehirleşme ve yüksek yapıların tarih sahnesine çıkışları sanayi devriminden sonra gerçekleşmiştir. Sanayi devriminden sonra ülke ekonomilerinin, şehir arazileri öneminin artması, teknolojik ve sosyal sebepler yüksek yapıların hızla yapımına sebep olmuştur. Yalnız yüz veya daha fazla katlı gökdelenlerin yapımında sanayi devriminden sonra hızla gelişmeye ve büyümeye başlayan çelik endüstrisinin payı büyüktür. Özellikle Amerika Birleşik Devleti'nde çeliğin konut tipi yapılar için ana taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanılması gökdelenlerin yapımını hızlandırmıştır. İlerleyen süreç içinde binaların yapımında çelik taşıyıcı sistemler fazlaca kullanılmaya başlanmıştır, çelik yapı malzemesinin yapısal davranışı hakkında yapılan araştırmalar bu bağlamda hız kazanmıştır.

Türkiye'de ise yüksek yapı uygulamaları 20. yüzyılın sonlarına doğru yapılmaya başlanmış ve günümüze kadar artarak devam etmektedir. 1980'li yıllara kadar 20-25 katı geçmeyen yüksek yapılar inşa edilmiştir. Bunlardan bazıları, 13 katlı Ulus İş hanı, 24 katlı Kızılay Emek İş hanı, 20 katlı Stat Otel; 18 katlı Büyük Ankara Otel, 17 katlı Marmara Otel bu tarihlerdeki yapılardan bazılarıdır. 1975–1985 yılları arasında; ülkedeki ekonomik ve politik sorunlar yüksek yapı uygulamalarında durağanlaşmayı beraberinde getirmiştir. Yüksek yapı yapmak fazlaca maliyet ve mühendislik teknolojisi gerektirir. 21. yüzyılda

yüksek bina uygulamaları ülke ekonomisine ve gelişen teknolojiye bağlı olarak artması beklenmektedir. Aşağıda (Şekil 1.3) yapımı 21. yüzyıl başında biten İş Bankası Kulesi gösterilmiştir.



Şekil 1.3. İş Bankası Kulesi

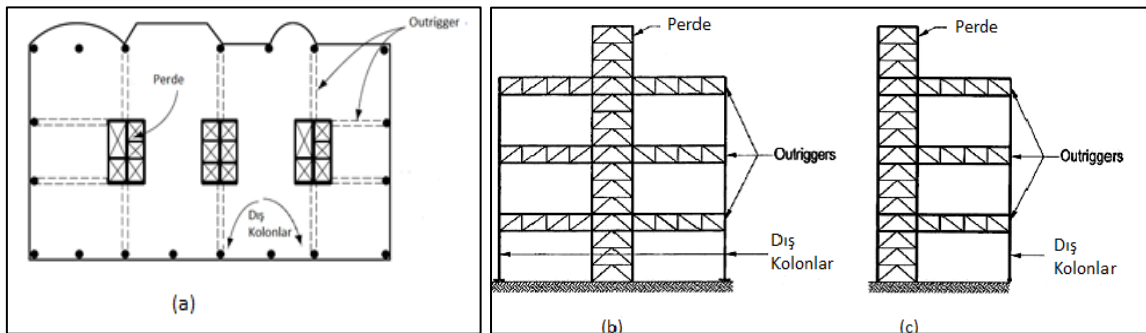
### 1.1.2. Yüksek Yapılarda Dış Destek (Outrigger) Kiriş

Bina modeli tasarlanırken öncelikli etken düşey yükler, yapı yüksekliğinin artmasıyla önemini yatay yüklere bırakmaktadır. Yapıya etkiyen yatay yükler; rüzgâr ve deprem yüklerinin karşılanmasında yapının yanal rijitliği doğrudan önemlidir. Bu nedenle tahmin edilen yatay yüklerin etkilerini karşılayabilecek özelliğe sahip yatay yük taşıyıcı sistemin seçilmesi ve modellenmesi son derece önemlidir. Çerçeve sistemler yatay yüklerin etkilerini yaklaşık 20 kata kadar başarılı bir şekilde karşılamaktadır. Çerçeve sisteme eklenen perde elemanları sayesinde merkezi perdeli-çerçeve sistemler yaklaşık olarak 40 kata kadar yapının yanal etkililerini başarılı bir şekilde karşılamaktadır. Ancak teknolojinin gelişmesi ve benzeri sebepler ile daha yüksek yapıların yapılmaya başlanması alternatif

taşıyıcı sistemler ihtiyacını ortaya çıkartmıştır. Bu sebeple 20. yüzyılın sonlarına doğru yurtdışında merkezi perdeli-çerçeve sisteme ek dış destek kirişli sistemler denenmiştir. 60 kata kadar taşıyıcı sisteme ek kullanılan dış destek kiriş sistemi, yapının yatay yükler altında devirme momenti rijitliğine önemli katkılar verdiği ve taşıyıcı sistem ebatları için ekonomik olduğu gözlemlenmiştir.

Dış destek kiriş sistemi, yapıda belirli seviyelerde bulunan, merkez perde ile dış çeperde bulunan kolanlar arasında sıkı iş birliği sağlayan rijitliği oldukça yüksek bir kiriş olarak işlev gördüğü söylenebilir (Calayır ve Dedeoğlu, 2017).

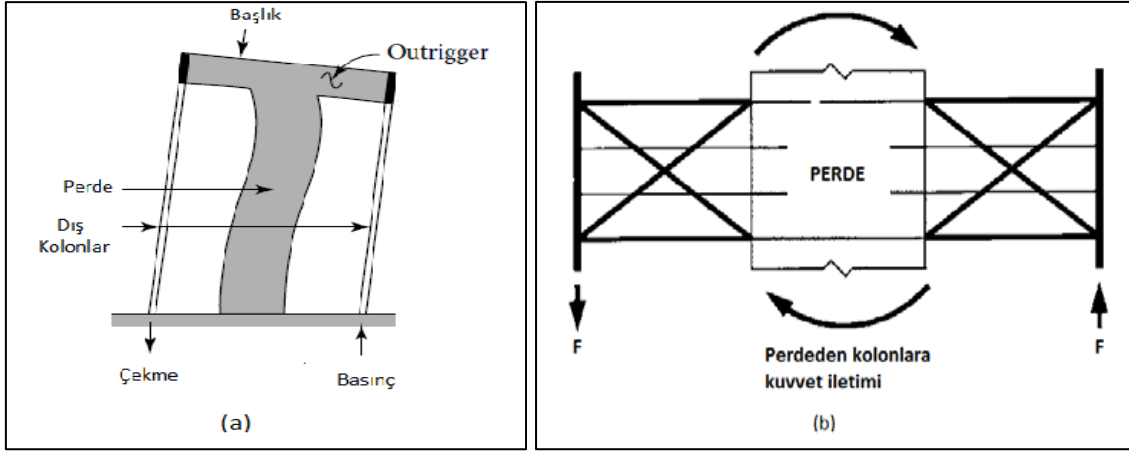
Dış destek kiriş sistemi, yüksek yapılarda belli aralıklarla ve yüksekliklerde kullanılabilir. Ancak yapılan çalışmalarda tek katta kullanılması durumunda kat yüksekliğinin  $0.455H$ 'na denk yükseklikte kullanılması, farklı katlarda kullanılması durumunda ise,  $0.33H$  ve  $0.66H$  yüksekliğine denk kat aralığında olması daha olumlu sonuçlar gözlemlenmiştir. Yüksek yapıda kullanılan dış destek kiriş sistemi merkezi perdelerle dışta ki kolonları çelik-kafes sistemlerle birbirine bağlamaktadır. Yatay ve düşey sistem görünümü Şekil 1.4'de verilmektedir.



Şekil 1.4. Yüksek yapılarda kullanılan dış destek kiriş uygulaması için yatay ve düşey model görüntüsü (Calayır ve Dedeoğlu, 2017).

Merkezi perdelerle dış kolon elemanlarının birbirine bağlanmasıyla deprem anında yanal kuvvetler çelik-kafes sistemle yapının bir ucunda basınç diğer ucunda çekme kuvvetlerine dönüştürülmüş olunur. Bu sayede yüksek yapılarda burulma etkileri ve periyot da azalmalar gözlemlenir. Bu sonuçlar yapıda istediğimiz etkilerdir (Şekil 1.5).





Şekil 1.5. Dış destek kiriş deprem etkilerinde çalışma prensibi (Calayır ve Dedeoğlu, 2017).

Dış destek kiriş sistemi ülkemizde çok kısıtlı çalışmaların olduğu alandır. Bu çalışmada perdeli-çerçeveli sisteme ek dış destek kiriş sistemi kullanılarak yapıya olan etkileri incelenecektir.

### 1.1.3. Yapılmış Çalışmalar

Ülkemizde yapılan yüksek binaların sayısının giderek artması ile yüksek bina kapsamında yapılan çalışmalar da artmaya başladı ve yeni çıkan yönetmelik ile beraber yapılan çalışmaların daha reel ve uygulanabilir olması bekleniyor. Bu kısımda ise mevcut yüksek bina araştırmalarından bazılarına yer verilmiştir.

Chopra ve Goel, (2002), çalışmalarında yüksek mod etkilerinin gözlemlendiği yüksek sistemlerde uygulanabilmesi amacıyla, Modal İtme Analizi için yöntemin esasları ve hesap ilkelerini ortaya koymuşlardır.

Şen (2006), bu çalışmada çok katlı çelik yapıların performansa dayalı tasarım yöntemleri üzerinde durmuştur. Örnek olarak 10 katlı çelik bir çerçeve ele alınmış, kapasite spektrum metodu ve deplasman katsayıları metodu kullanılarak performans değerlendirmesi yapmıştır. Bununla birlikte taşıyıcı sistemin ve yapı elemanlarının sahip olması gereken niteliklerden bahsetmiştir.

Katipoğlu (2008), tez çalışmasında taşıyıcı sistemin süneklilik düzeyi yüksek olan Yüksek Bina'nın tasarımı için, üç taşıyıcı sistem şekli arasında karşılaştırmalar yapmıştır. Bina için en uygun sonucu veren taşıyıcı sistem olarak; merkezi çelik çaprazlı perdelerle

güçlendirilmiş çekirdek, moment aktaran çerçeve ve dış cephe çelik çaprazlı karma sistem olduğu elde edilmiştir.

Pakoğlu (2009), 1. Deprem bölgesinde 1 zemin kat 32 normal kat ve taşıyıcı sistemi tüp perde-çerçeve olan betonarme bir binanın analizini, Sap2000 programı kullanarak tasarım ve performans analizi yapmıştır.

Bozdağ (2010), binaların deprem anında ki performanslarının belirlenmesinde yüksek mod etkilerini göz önüne almak amacıyla modal birleştirme ve enerji esaslı yeni bir artımsal itme analiz yöntemi geliştirilmiştir. İncelenen betonarme yapıların, DBYBHY-2007’de belirtilen Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve geliştirilen yöntemle analizleri gerçekleştirilmiş, bulgular zaman tanım alanında analiz sonuçları ile karşılaştırılarak geliştirilen yöntem ile ilgili irdelemeler yapılmıştır.

Karaçöp (2010), çalışmasında İstanbul’da yapılacak betonarme bir yüksek binanın DBYBHY-2007’e göre doğrusal analiz yapıp, yapı elemanları boyutlandırdıktan sonra, yapının deprem etkilerine maruz kaldığında ki performansını İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmelik (İYBDY)’ine göre incelemiştir.

Carpenter vd. (2011), tarafından hazırlanmış olan çalışmada 2010 yılında Şili’de meydana gelen depremde hasarlanan yüksek binalarda hasarların oluştukları yerler ve oluşma nedenleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonunda onarım ve güçlendirme örneklerinde bulunulmuştur.

Ünerdem (2011), DBYBHY-2007’de belirtilen doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden olan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile 30 katlı betonarme bir binanın deprem performansının değerlendirilmesini irdelemiştir.

Çeri (2012), tez çalışmasında 23 katlı 1. Derece deprem bölgesinde kirişsiz plak döşeme ve Z2 zemin sınıfına ait malzeme olarak C40/S420 betonarme bir binanın DBYBHY-2007’ye göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yaparak deprem performansı belirlemiştir.

Kamath vd. (2012), bu çalışmada 40 katlı, 140 m yükseklikte merkezi çekirdekli – çerçeve taşıyıcı sisteme sahip Yüksek Katlı Bina Tasarımı yapmışlardır. Ayrıca taşıyıcı sisteme dış destek kiriş uygulaması bina toplam yüksekliğine 0.4H, 0.5H, 0.75H ve 0.975H oranlarında ekleyerek analiz etmişlerdir. Sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Liu vd. (2012), tarafından hazırlanmış olan çalışmalarında Çin’de yer alan 117 katlı binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirilmiştir. Yapılan zaman tanım alanında analizlerde yapay üretilmiş deprem verileri kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen değerler yorumlanmıştır.

Özgün (2012), İYBDY ve DBYBHY-2007’e göre kurallar ve yöntemler takip edilerek 38 katlı betonarme yüksek bir binanın analizini yapmıştır.

Balcı (2013), tez kapsamında yüksek binaları modellerken bina geometrisinin binaya olan olumlu/olumsuz etkilerini incelemiştir.

Berahman (2013), tarafından hazırlanmış olan çalışmada Dubai’de yer alan ve mimari yapısıyla dikkat çeken 160 m yüksekliğindeki otel olarak kullanılan binanın doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Seçilen farklı deprem kayıtlarına göre yapılan zaman tanım alanında analizler sonucunda elde edilen veriler yorumlanmıştır.

Özgeldi (2013), İstanbul’da 90 metre bina yüksekliğine sahip, 25 katlı, tabliyeleri iki yönlü kaset döşeme planlanan yüksek katlı betonarme binanın deprem performansını incelemiştir. Analiz sonucunda ise; uygulanan kaset döşeme sistemi boyutları büyük kirişlere ve moment aktarımına uygun olmayan kolon-kiriş birleşimlerine yol açtığı için başka bir döşeme seçilmesi ya da kolon kiriş birleşimlerinin daha iyi tasarlanması gerektiğini tespit etmiştir.

Temiz (2014), tez çalışmasında 28 katlı, Z2 zemin sınıfına ait, malzeme olarak C40/S420, taşıyıcı sistem olarak; kirişli plak döşeme, perde çerçeve taşıyıcı sisteme sahip betonarme bir bina seçmiştir. Yürürlükte bulunan DBYBHY-2007’e göre binayı modelleyip İYBDY’nde ki yer alan analiz aşamalarını kullanarak yapının deprem performansını incelemiştir.

Uzun (2014), tez çalışmasında 116.5 m bina yüksekliği, 33 katlı, Z2 zemin sınıfına ait, 1. Dereceden deprem bölgesinde betonarme bir yüksek binayı, 4 farklı döşeme sistemi ile modelleyerek DBYBHY-2007 ve İYBDY Taslağı kapsamında belirtilen lineer analiz yöntemleri kullanılarak analiz etmiş, analizler sonucunda bu 4 farklı tipteki döşemenin bina davranışına etkisi incelemiştir.

Çavdar ve Bayraktar (2014), çalışmalarında 2011 Van depreminde göçen bir binanın deprem performansını incelemişlerdir. 6 katlı betonarme perdeli yapıyı deprem sonrasında inceledikleri bina enkazından alınan örnek numuneler yardımıyla, malzeme dayanımı ve

donatı detaylarını tespit etmişler. Mevcut binanın doğrusal olmayan statik itme ve zaman tanım alanında analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın onucunda 2007 Türkiye Bina yönetmeliğine göre binanın can güvenliği performans seviyesini sağlamadığını belirlemişlerdir.

Budak ve Sucuoğlu (2015), tez çalışmalarında yüksek yapıların tasarımında performans esaslı yaklaşımların neden gerekli olduğunu açıklamaya çalışmışlardır. İstanbul da inşa edilmesi planlanan 34 katlı bir binayı DBYBHY-2007 kriterlerine göre tasarımını yaparak elastik ötesi zaman tanım alanında 7 farklı (çift yönlü) deprem etkisi altında performans kontrolü yapmışlardır.

Kogilgeri ve Shanthapriya (2015), 128 m yüksekliğinde, 40 katlı, X – Y yönünde 5 açıklıklı simetrik ve Outrigger Kirişli 3 farklı Yüksek Bina tasarlamışlardır. Birinci modelde kullanılan Outrigger Kiriş ebatları kat yüksekliği boyunca, ikinci modelde ise 2/3 oranına ve üçüncü modelde Outrigger kiriş ebatları 1/3 oranına indirmişlerdir. Modellemeler için sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Türkel (2016), tez çalışmasında betonarme taşıyıcı sistem de tünel kalıp kullanılan çok katlı yüksek bir binada maliyet ile bina özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve bu amaç doğrultusunda da bina maliyetlerinin düşürülmesini kapsayan çalışma yürütmüştür.

Al-Luhaibi (2017), deprem bölgesindeymiş gibi yüksek betonarme bir binayı rüzgâr ve deprem etkilerine maruz kalacak şekilde tasarlayarak performans analizi yapmıştır. Aynı yapıyı deprem bölgesinde olmayacak şekilde analiz edip taşıyıcı sistemi güncellemiştir ve sonuçları karşılaştırmıştır. Her iki bölge için, seçilen taşıyıcı sistem ve ebatları sınır değerlerini karşılamış fakat deprem bölgesinde olmayan binalar için deprem bölgesindeymiş gibi tasarım yapmak taşıyıcı sistem için abartılı olduğunu ve ekonomik olmadığını gözlemlemiştir.

Calayır ve Dedeoğlu (2017) tez çalışmasında 45 katlı iki adet Yüksek Bina modellemiştir. Birinci bina taşıyıcı sistemi olarak ‘perde – çerçeveli sistem’ seçmişlerdir. İkinci model de ise taşıyıcı sistem yanal rijitliğini arttırmak ve burulma etkilerini azaltmak için ‘perde-çerçeve taşıyıcı sisteme’ ek Outrigger Kiriş uygulaması kullanmışlardır. Yapılan iki model için analiz sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Çırpan (2017), tez kapsamında değişik geometrik formlarda ki yapı sistemlerinin taşıyıcı sistem davranışına etkisi, yükler altındaki davranışları ile yapım maliyetleri karşılaştırarak sistemlerin avantaj ve dezavantajları araştırmıştır. Tez çalışması kapsamında aynı taban alanına, aynı kat yüksekliğine, aynı zemin sınıfında ve deprem bölgesine yer alan farklı geometrideki dört adet yapı modellenmiştir. Bu yapıların yer değiştirme, periyot, taban kesme kuvvetleri, katlardaki göreceli ötelenmeler ve burulma düzensizliği sonuçları araştırılmış ve toplam bina ağırlıkları ile yapım maliyetleri karşılaştırmıştır.

Eroğlu (2017), tez çalışmasında Haziran 2016 yılında taslak olarak yayınlanan TBDY tasarım kriterlerine göre taşıyıcı sistemi farklı olan 2 yüksek binanın analizlerini yapmıştır. Birinci modelde taşıyıcı sistem olarak çekirdek – perdeli çerçeve sistem, ikinci modelde ise burkulması önlenmiş çaprazlı sistem tercih etmiştir. Analizler sonucunda; iki yapıda da ‘Hemen Kullanım’ performans hedefi sağladığını görmüştür.

Keskin ve Bozdoğan (2018), DBYBHY-2007 ve TBDY-2018’i ayrı ayrı kullanarak Kırklareli ili için 4 katlı bir binanın deprem analizini farklı zemin sınıfları seçerek ETABS programı yardımıyla yapmışlardır. Analiz sonuçlarını 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre ayrı ayrı değerlendirerek sonuçları karşılaştırmışlardır.

Öztürk (2018), taslak halinde olan TBDY-2018 yürürlüğe girmesi ile DBYBHY-2007 yürürlükten kalkacaktır. Ayrıca koordinata dayalı deprem tehlike haritası yürürlüğe girecektir, eski sismik haritası yürürlükten kalkacaktır. Bu nedenle bu tez çalışmasında İç Anadolu bazında bir karşılaştırma yapılmıştır. 1996 tarihli deprem tehlike haritasında sırasıyla 1. 2. 3. ve 4. bölgede yer alan Kırşehir-Merkez, Eskişehir-Merkez, Kayseri-Merkez ve Konya-Selçuk Üniversitesi Kampüs bölgelerinde tasarım depremi için 2 farklı zemin cinsi altında ve 2 farklı periyot değeri için eski ve yeni yönetmeliklerin karşılaştırmasını grafik ve tablolar yardımıyla yapılmıştır.

Güven (2018), tez çalışmasında Türk ve Amerikan yönetmeliklerine göre, İstanbul’da 84 m yükseklikte, 21 katlı, taşıyıcı sistemi “süneklik düzeyi yüksek perde-çerçevelerden” oluşan betonarme binayı tasarlayarak yönetmeliklere göre analiz etmiştir. İki yönetmelik için analiz sonuçlarını karşılaştırmış ve değerlendirmiştir.

#### **1.1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Yüksek yapıların davranışını daha doğru tahmin edebilmek için diğer gelişmiş ülkelerdeki deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi TBDY-2018’de de dayanıma göre

tasarım yerine şekildeğiştirmeye göre tasarım yaklaşımı kabul edilmektedir. Bu tez çalışmasının amacı; betonarme yüksek binaların deprem performansının belirlenmesinde kullanılan doğrusal analiz için dayanım esaslı tasarım yöntemlerinden Mod Birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile yeni yürürlüğe giren TBDY-2018'e göre araştırmaktır. Bu amaçla; 29 katlı toplam yüksekliği 116.0 metre olan betonarme yüksek bir bina dış destek kirişli ve dış destek kirişsiz olarak ele alınarak binaların doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda incelenen iki model için hedeflenen performans etkileri dahilinde kalınıp kalınmadığı tespit edilerek ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Dış destek Kirişli model için yapı yüksekliği 'H' olmak üzere 0.33H ve 0.66H mesafelerinde dış destek kirişleri ilave edilmiştir. Oluşturulan iki farklı model için öncelikle Dayanıma Göre Tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal hesap yöntemlerin Mod Birleştirme yöntemine göre spektrum analizi gerçekleştirilmiştir. Performans analizi kapsamında ise, bu binaların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan analiz aşamalarında kullanılan deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi hakkında bilgi verilmiştir.

Analizlerden elde edilen iç kuvvetler, düzensizlik tahkikleri, taban kesme kuvveti, moment değerleri, plastik dönmeler, kat yer değiştirmeleri gibi sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak, iki farklı yüksek bina modeli için elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda yüksek binaları rijitleştirmek için kullanılan dış destek kirişli bina modeli performans seviyesi bakımından daha iyi olduğu elde edilmiştir. Destek kirişlerinin farklı konumlara yerleştirilmesi ile perde devrilme momenti ve tepe deplasmanı açısından %27 oranında azaltma değerlerine ulaşılabildiği görülmüştür.

## **1.2. Doğrusal Olmayan Davranış ve Performans Kavramı**

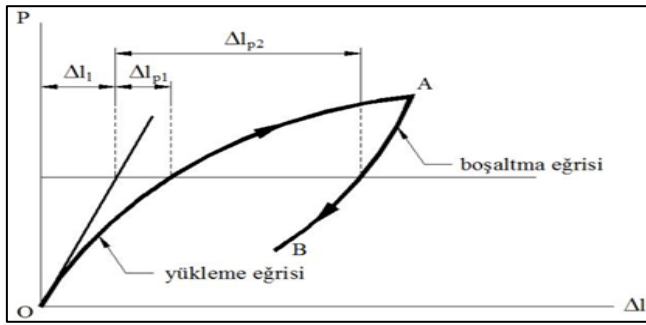
### **1.2.1. Doğrusal Olmayan Davranış**

Yapıların tasarlanmasında, malzeme davranışlarının gerçekçi olarak modellenmesi çok önemli bir yer tutmaktadır. Özel bir durum olmadığı müddetçe servis yükleri altında yapısal sistemler doğrusal-elastik davranış gösterirler. Ancak deprem yükleri gibi seyrek etkiler altında, yapısal sistem doğrusal-elastik sınırı aşar ve doğrusal olmayan bölgeye geçiş yapar. Yapısal sistemlerin doğrusal olmama nedenleri iki ana başlıkta toplanabilir.

Bu nedenler; malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının doğrusal olmaması ve geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin doğrusal olmamasıdır (Özer, 2009).

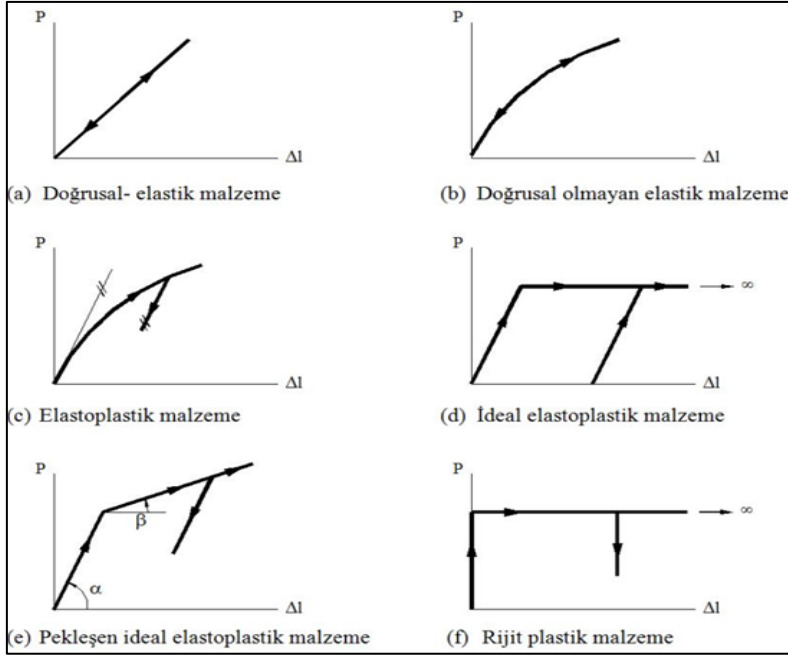
#### 1.2.1.1. Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Elemanlar

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerin modellenebilmesi için yük-şekildeğiştirme tanımlanması gerekmektedir. Şematik yük-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 1.6'de verilmiştir. Diyagramda verilen eğrinin OA arasında kalan kısmına yükleme eğrisi, AB arasında kalan kısmına boşaltma eğrisi adı verilir.  $\Delta l_1$  şekildeğiştirmesi doğrusal şekildeğiştirme,  $\Delta l_{p1}$  ve  $\Delta l_{p2}$  şekildeğiştirmeleri ise doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler olarak tanımlanır.



Şekil 1.6. Şematik yük-şekildeğiştirme diyagramı (Çakıroğlu; Özer, 1980).

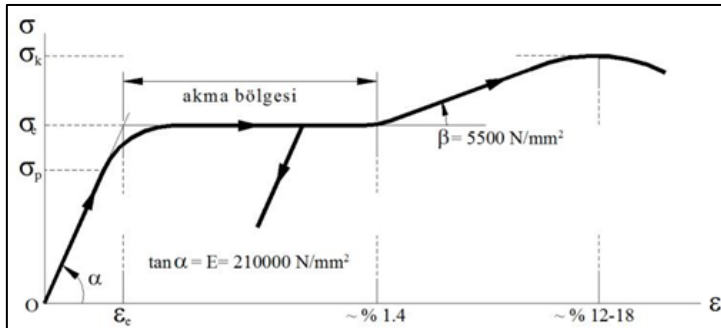
Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerin modellenebilmesi için bazı idealleştirmeler yapmak gerekmektedir. Bu idealleştirmelerden başlıcaları Şekil 1.7'de gösterilmiştir. Modellerin en basiti doğrusal-elastik malzeme ve doğrusal olmayan elastik malzeme modelleri olup diğer modellerler birlikte gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri aşağıda gösterilmiştir (Çakıroğlu; Özer, 1980).



Şekil 1.7. Malzeme idealleştirmeleri (Çakıroğlu; Özer, 1980).

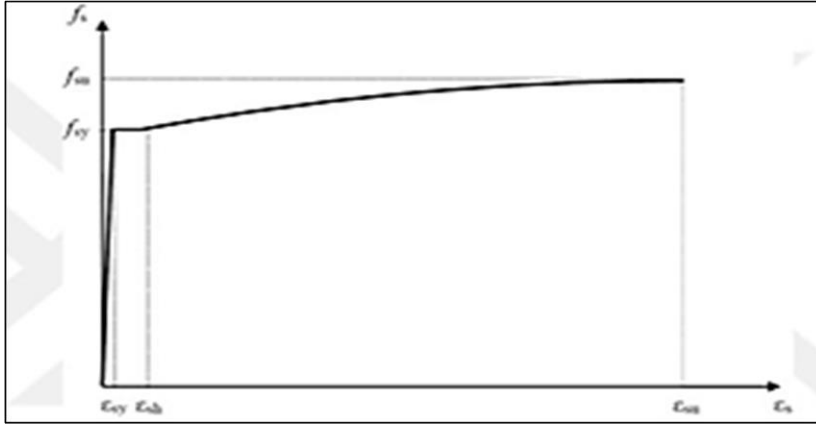
### 1.2.1.2. Donatı Çeliği Gerilme – Şekildeğiştirme Diyagramı

Donatı çeliği için gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı Şekil 1.8’de verilmiştir. Verilen diyagramda  $\sigma_k$  kopma gerilmesini,  $\sigma_e$  akma gerilmesini,  $\sigma_p$  orantılılık sınırı ve  $\epsilon_e$  akma şekildeğiştirmesini göstermektedir. B420C donatı sınıfı için akma gerilmesi 420 MPa, kopma gerilmesi 500 MPa değerlerini almaktadır. TBDY-2018 Ek 5A’da donatı çeliği için idealleştirilmiş gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı verilmiştir (Şekil 1.9).



Şekil 1.8. Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Çetin, 2007).

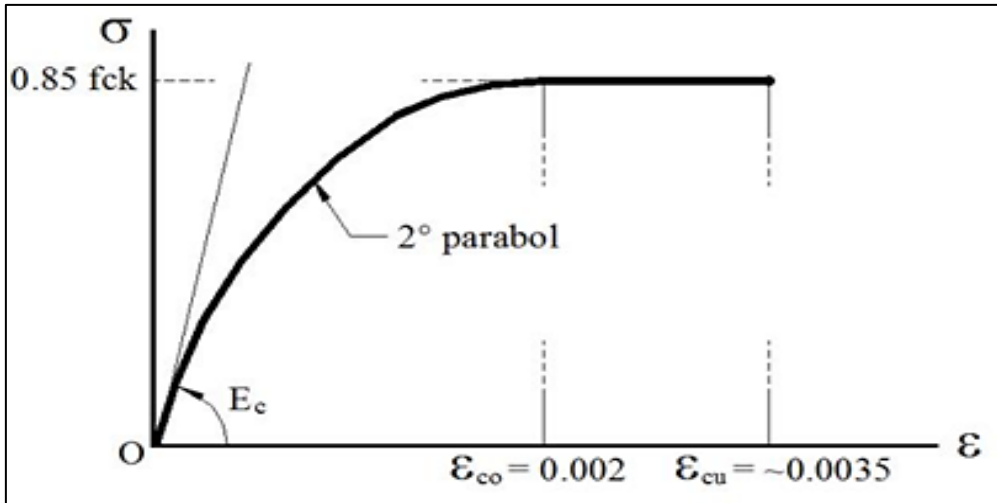




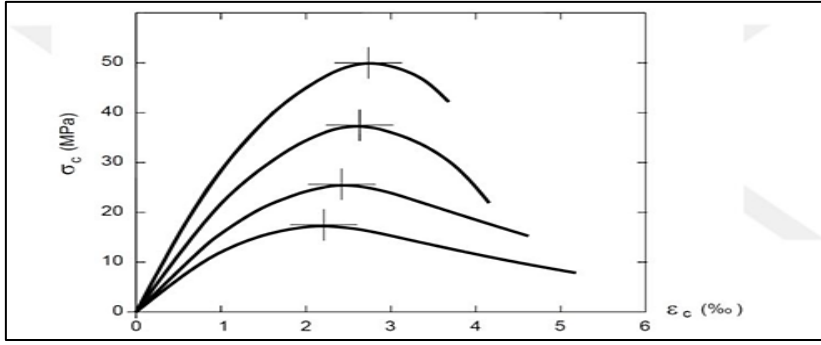
Şekil 1.9. Donatı gerilme-şekildeğiştirme idealleştirilmiş ilişkisi (TBDY, 2018).

### 1.2.1.3. Betonun Gerilme-Şekildeğiştirme Diyagramı

Beton için gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı Şekil 1.10'da verilmiştir. Betonun ezilerek kırılmasına sebep olacak gerilme değerinde beton birim kısalma değeri 0.0035 iken sargılı betonda etriye miktarına bağlı olarak artmaktadır (Çakıroğlu; Özer, 1980). Birim kısalma sınır değeri ayrıca beton gerilme dayanımına bağlı olarak da değişmektedir. Şekil 1.11'de gösterilmiştir (Celep, 2011).

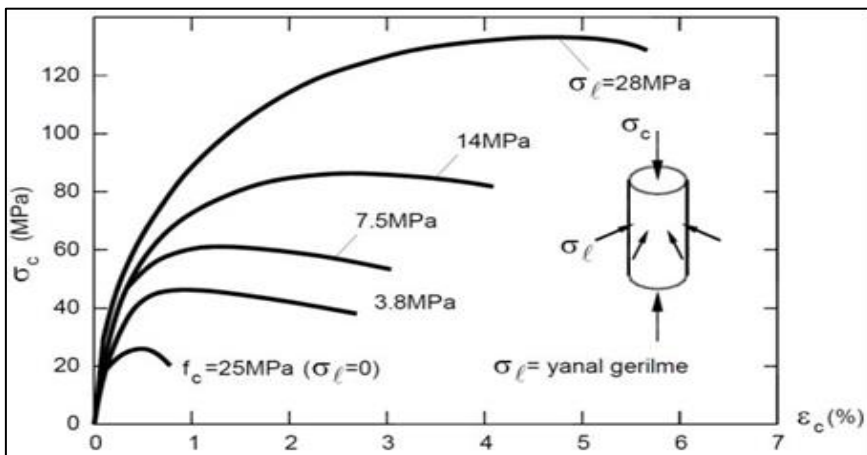


Şekil 1.10. Beton gerilme-şekildeğiştirme diyagramı (Çakıroğlu; Özer, 1980).

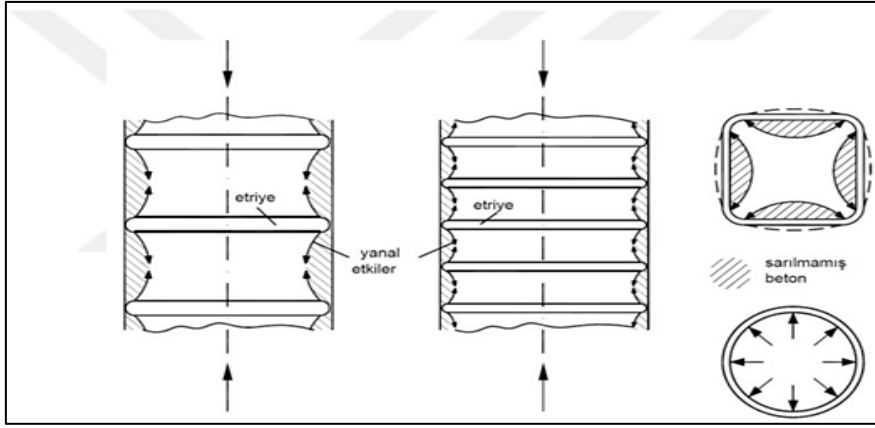


Şekil 1.11. Değişik dayanıma sahip betonların şekildeğiştirme eğrileri (Celep, 2011).

Betonarme; en sade olarak, beton ile çelik olan donatı elemanlarının beraber çalışacak ve birbirlerinin zayıf yönlerini tamamlayacak şekilde bir araya getirilmesi olarak tanımlanabilir. Etriyeler ile sarılmış betonda, etriyelerin yarattığı yanıl basınç etkisi ile betonun maksimum birim kısalma değeri artar. Bu sayede betonun plastik şekildeğiştirmeler yoluyla tüketilen şekildeğiştirme enerjisi de artmaktadır (Celep, 2011). Şekil 1.12’de yanıl basınç etkisindeki beton silindirin gerilme-şekildeğiştirme eğrisi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere yanıl basınç değeri arttıkça betonun gerilme dayanımı ve şekildeğiştirme kapasitesi artmaktadır. Şekil 1.13’te Etriyelerin beton üzerindeki yanıl basınç etkisi gösterilmiştir. Etriyeler beton üzerinde yanıl basınç oluşturarak dayanımlarının ve şekildeğiştirme kapasitelerinin artmasını sağlar. Bu sayede kesitin sünekliği artmaktadır.

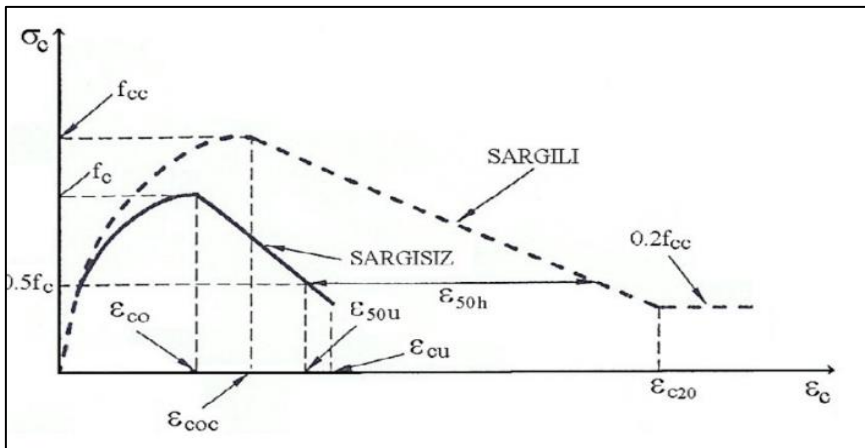


Şekil 1.12. Yanıl basınç etkisindeki betonun şekildeğiştirme eğrisi (Celep, 2011).



Şekil 1.13. Etriyelerin beton üzerindeki sarılma etkisi (Celep, 2011).

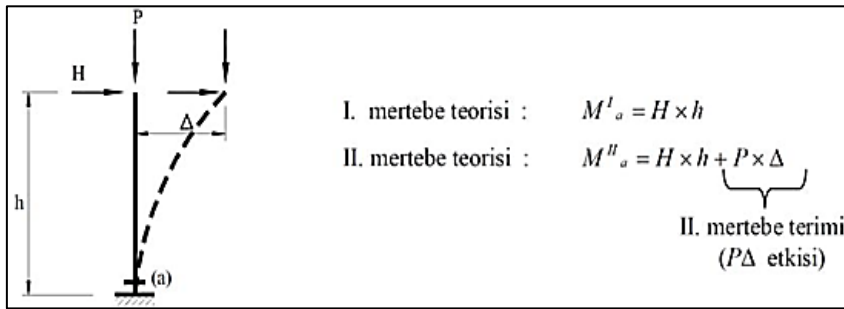
Enine donatı aralıkları azaldıkça enine donatının sargılama etkisi artmaktadır. Sargılama etkisinin artması ile betonun gerilme dayanımı, birim şekildeğiştirme kapasitesi ve sünekliği artmaktadır. Sargılı ve sargısız betonların modellenmesinde Mander, Priestley ve Park'ın önerdiği bağıntılar yaygın olarak kullanılmaktadır (Mander; Priestley; Park, 2011). Bu modeller TBDY-2018 Ek 5A'da özetlenmiştir. Bu kısımda verilen bağıntılar ile sargılı ve sargısız betona ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramları hesaplanabilmektedir. Sargılı ve sargısız betona ait şematik gerilme-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 1.14'te verilmiştir (Güven, 2018).



Şekil 1.14. Sargılı ve sargısız beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Kaltakçı; Köken; Yılmaz, 2006).

### 1.2.2. Kullanılan Malzemeler Yönünden Doğrusal Olmayan Sistemler

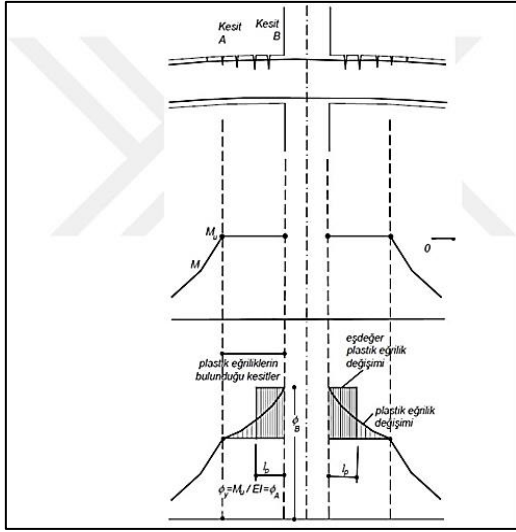
Yapısal sistemlerde deprem yükleri altındaki yerdeğiş-tirmeler yeteri kadar küçük olmadığı takdirde deplasmanların denge denklemlerinde dikkate alınması gerekmektedir. Geometri de-ğişimlerini denge denklemlerine etkisinin gözönüne alındığı bu teoriye ikinci mertebe teorisi denmektedir (Çakıroğlu; Özer, 1980). İkinci mertebe teorisinde yerdeğiş-tirmelerin geometrik süreklilik denklemlerine etkisi terkedilmemektedir. Birinci ve ikinci mertebe etkilerinin karşılaştırılması Şekil 1.15’de gösterilmiştir. Çoğu zaman yapılarda ikinci mertebe etkileri ihmal edilebilecek derecede küçük kalmaktadır. Ancak gö-reli kat ötelemesi değeri %1 değerinden büyük olduğu durumlarda ikinci mertebe etkileri önemli hale gelir ve analizlerde etkisi gözönüne alınması gerekir (Taranath, 2010).



Şekil 1.15. Birinci ve ikinci mertebe etkilerinin karşılaştırılması  
(Güven, 2018).

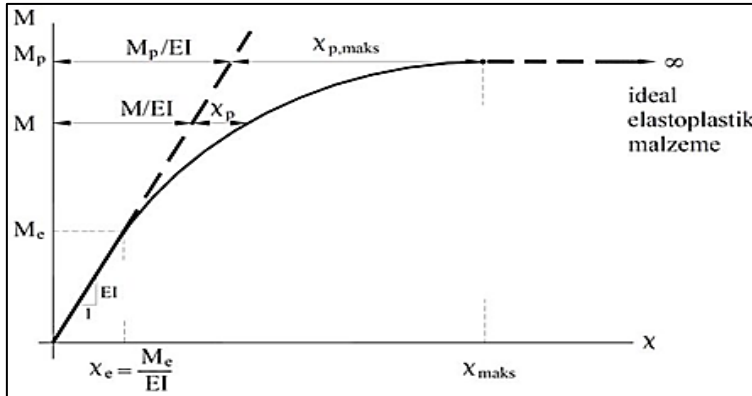
### 1.2.3. Plastik Mafsal Kavramı

Servis yükleri altında yapı elemanları büyük oranda doğrusal-elastik davranış gösterirler. Ancak seyrek görülen deprem yükleri altında yapı elemanları doğrusal- elastik sınırı aşarak doğrusal olmayan davranış gösterirler. Bunun anlamı, seyrek görülen deprem yükleri altında yapıda hasar oluşacağıdır. Yönetmelikler tasarım depreminde, binanın taşıyıcı sisteminde yapısal elemanlarda oluşacak hasarı kabul eder ve sınırlı düzeyde kalmasını öngörür. Yapıların doğrusal-elastik olmayan kesit kabulleri altında çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Bu türden çözümlemede plastik mafsal kullanılması en basit yöntemlerden biridir (Celep, 2014).



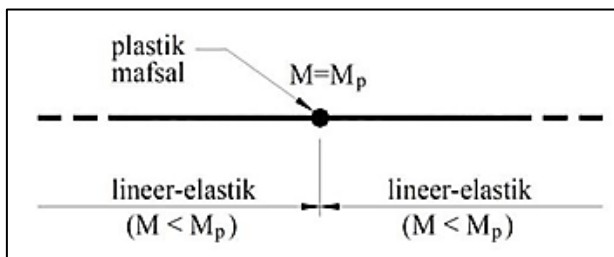
Şekil 1.16. Kiriş boyunca plastik eğrilik değişimi (Celep, 2007).

Basit eğilme etkisi altında kirişlerde plastik şekildeğiştirmeler kiriş eksenini boyunca farklı şekillerde meydana gelir. Şekil 1.16'da görüldüğü üzere A kesitinde moment  $M_u$  değerine ulaşılmış ve akma eğriliği  $\phi_u$  meydana gelmiştir. Momentin daha küçük olduğu kesitlerde elastik eğrilik momentle orantılı olarak  $\phi = M/I$  şeklinde oluşur. Kolon yüzüne yakın kesitlerde moment aynı değerde kalırken, plastik eğrilikler meydana gelmektedir. A ile B kesiti arasındaki eğriliklerin toplamı iki kesitin birbirine göre göreceli dönmesini oluşturur ve eğrilik değişimindeki taralı alana karşılık gelir. Bu dönme elastik ve plastik bölümlerden meydana gelir. B kesitindeki plastik eğrilik esas alınarak taralı alana eşdeğer olarak oluşturulan dikdörtgen alanın boyu  $l_p$  plastik mafsallık boyu olarak kabul edilir. Bu boy eşdeğer plastik eğriliklerin meydana geldiği kiriş parçası olarak da görülebilir (Celep, 2007). Toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsallık adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu hipoteze plastik mafsallık hipotezi adı verilir (Özer, 2009). Düzlem çubuk bir elemana ait kesitin eğilme momenti-eğrilik diyagramı Şekil 1.17'de verilmiştir.

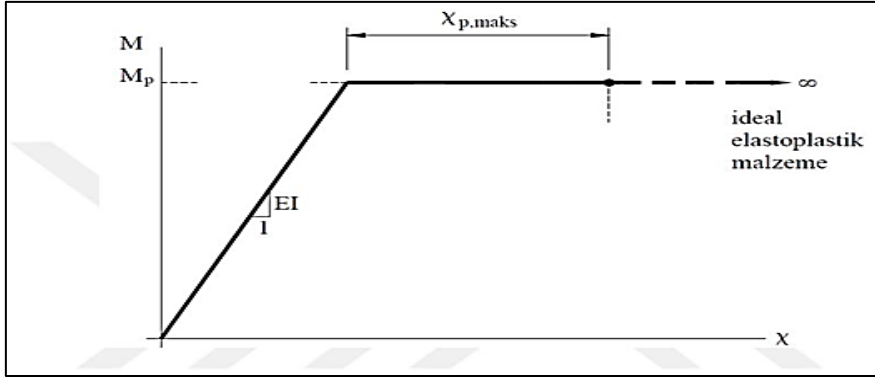


Şekil 1.17. Eğilme moment-eğrilik diyagramı (Özer, 2009).

Plastik mafsalsal hipotezinde, çubuk mafsalsal eleman üzerindeki bir doğrusal noktada olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsalsal adı verilen bir noktada toplandığı varsayılmaktadır (Şekil 1.18). Bu varsayım aynı zamandan yığılı plastik mafsalsal olarak ta adlandırılmaktadır. Buradaki dönme, plastik mafsalsal dönmesi olarak tanımlanır. Moment-eğrilik diyagramları modelleme aşamasında karmaşıklığı azaltmak amacıyla idealleştirebilirler. İki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmiş moment-eğrilik diyagramı Şekil 1.19’da verilmiştir. Kesitlerde doğrusal olmaya davranışın modellenmesinde kullanılan bir diğer yöntem yayılı plastik davranış modelidir. Bu modelde elemanın tüm uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin olduğu kabul edilmektedir. Bu yöntem özellikle betonarme perdelerin modellenmesinde kullanılmaktadır (Güven, 2018).



Şekil 1.18. Plastik mafsal kabulü (Özer, 2009).



Şekil 1.19. İdealleştirilmiş moment-eğrilik diyagramı (Özer, 2009).

#### 1.2.4. Performans Kavramı ve Zaman Tanım Alanında Hesap

Performansa dayalı tasarım; en genel haliyle, bir yapının tasarım depremi etkisinde belirli bir yapısal performans, bir başka deyişle hasar öngörülerek şekil değiştirmeye dayalı tasarım yöntemleri de kullanılarak tasarlanmasıdır (Aydemir vd., 2011). Performansa dayalı tasarım; göz önüne alınan deprem seviyesi ve yapıda oluşması beklenen hasar düzeyi ile ilişkilidir. Performansa dayalı hesap için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler ülkelerin deprem yönetmeliklerinde tanımlanmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapta, sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak kabul edilen bir deprem hareketi altındaki taşıyıcı sistemin hareket denklemi sayısal olarak çözülerek, doğrusal davranışta olduğu gibi sistemin bütün elastik ve plastik şekil değiştirmeleri, yer değiştirmeleri ve kesit iç etkileri zamana bağlı olarak bulunur. Daha sonra sistemdeki plastik mafsallarda dönmesi ve beton ile donatının birim uzama/kısılma talepleri belirlenir. Analiz için seçilen deprem kayıtlarının yönetmelikte verilen spektrum eğrisi ile uyumu ve olabildiğince çok sayıda kayıtlı çözüm yapılması önerilmektedir (Celep, 2015).

#### 1.3. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Doğrusal Tasarım İlkeleri

Tez kapsamında yapılan çalışmada referans kural ve yöntemler olarak Türk yönetmeliklerine-Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS 498, 1997), Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500, 2000) ve TBDY-2018'e- başvurulmuştur. Malzeme mekanik özellikleri, malzeme

katsayıları ve yük birleşimleri için TS 500, hareketli yük değerleri için TS 498, doğrusal analiz ve betonarme tasarım için TBDY-2018 kullanılmıştır.

### **1.3.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri**

Bu bölümde tanımlanan 4 farklı deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri, 22/01/2018 tarih ve 20018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları” ile tanımlanmıştır. Bu haritalara Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), (URL-1, 2019) internet sayfasından ulaşılabilir.

DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılır.

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlama periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

DD-4 Deprem yer hareketleri, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 ve buna karşı aşılma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da nitelendirilmektedir.

### **1.3.2. Standart Yer Hareketi Spektrumları**

#### **1.3.2.1. Harita Spektral İvme Katsayıları ve Tasarım Spektral İvme Katsayıları**

Yerel zemin etki katsayıları ise zemin etüdü doğrultusunda belirlenen yerel zemin sınıfına ve harita spektral ivme değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Yerel zemin sınıfları Tablo 1.1’de tanımlanmıştır.



Tablo 1.1. Yerel zemin sınıfları (TBDY, 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ (m/s)	$(N_{60})_{30}$ (darbe/30 cm)	$(c_u)_{30}$ (kPa)
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ( $c_u < 25$ kPa) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	<p>Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler:</p> <p>1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.),</p> <p>2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer,</p> <p>3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli killer,</p> <p>4) Çok kalın (&gt; 35 m) yumuşak veya orta katı killer.</p>			

Boyutsuz harita spektral ivme katsayıları, Bölüm 1.3.1’de belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında tanımlanmıştır:

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı  $S_s$

1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı  $S_1$

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşılık gelen harita spektral ivme katsayıları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans koşulu  $[(V_s)_{30} = 760 \text{ m/s}]$  esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yer çekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz katsayılar olarak tanımlanmıştır.

Harita spektral ivme katsayıları  $S_s$  ve  $S_1$ , aşağıdaki şekilde tasarım spektral ivme katsayıları  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ ’e dönüştürülür.

$$S_{DS} = S_s F_s \quad (1.1)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (1.2)$$

Burada  $F_S$  ve  $F_1$  yerel zemin etki katsayılarını göstermektedir.

### 1.3.2.2. Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel zemin sınıflarına bağlı olarak yerel zemin etki katsayıları  $F_S$  ve  $F_1$ , sırası ile Tablo 1.2 ve Tablo 1.3'te verilmiştir. Tabloda harita spektral ivme katsayılarının ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

Tablo 1.2. Kısa periyot için yerel zemin etki katsayıları.

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_S$					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	80.8	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	1.6	1.4	1.2	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 1.3. 1.0 saniye için yerel zemin etki katsayıları.

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_1$					
	$S_1 \leq 0.25$	$S_1 = 0.50$	$S_1 = 0.75$	$S_1 = 1.00$	$S_1 = 1.25$	$S_1 \geq 1.50$
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	1.6	1.4	1.2	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

### 1.3.2.3. Yatay Elastik Spektrumu

Göz önüne alınan 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 yer çekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem 1.3 tanımlanmıştır.

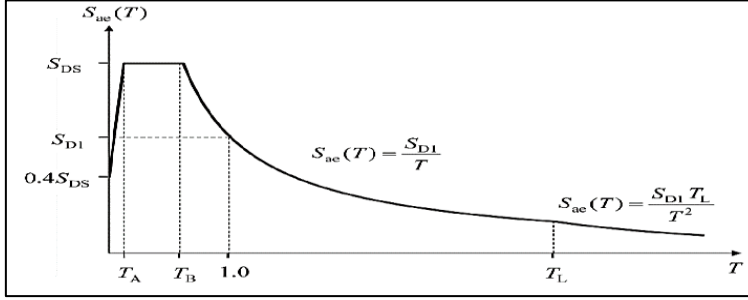
$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left\{ 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right\} S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
 \end{aligned} \tag{1.3}$$

Burada  $S_{D1}$  ve  $S_{DS}$  tanımlanan tasarım spektral ivme katsayılarını,  $T$  ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. Yatay spektrumu köşe periyotları  $T_A$  ve  $T_B$  Denklem 1.4 ve Denklem 1.5 ile  $S_{D1}$  ve  $S_{DS}$ 'e bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{1.4}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (1.5)$$

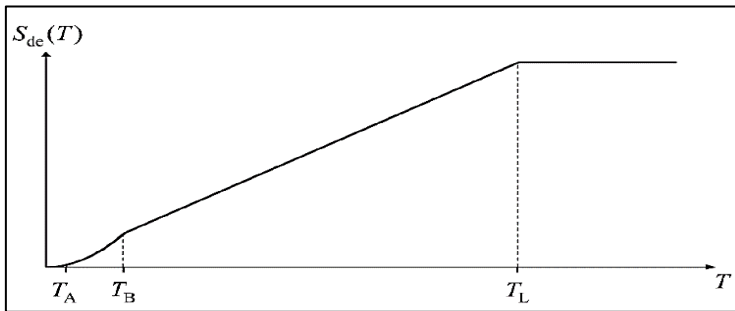
Sabit yer değıştirme bölgesinde geçiş periyodu  $T_L = 6$  s alınacaktır.



Şekil 1.20. Tasarım spektral ivme-periyot grafiği (TBDY, 2018).

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım yer değıştirme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral yer değıştirmeleri  $S_{de}(T)$  doğal titreşim periyoduna bağlı olarak metre [m] cinsinden (Denklem 1.6) tanımlanır.

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (1.6)$$



Şekil 1.21 Tasarım spektral yerdeğıştirme-periyot grafiği (TBDY, 2018).

#### 1.3.2.4. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için düşey elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{aeD}(T)$ , yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] Denklem (1.7) ile tanımlanır.

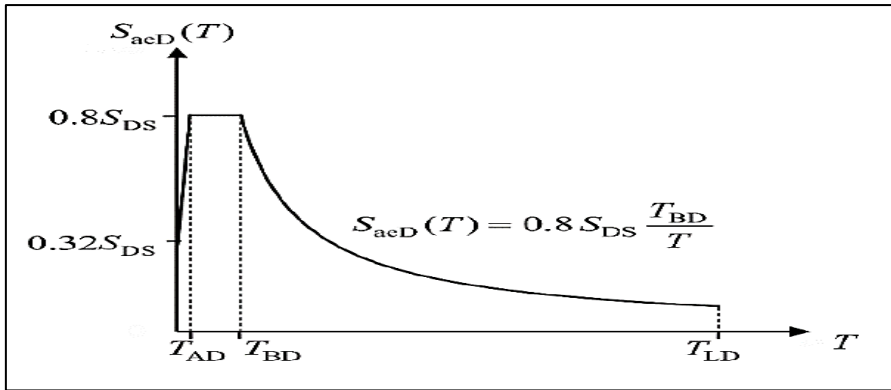
$$S_{ae}(T) = \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS}$$

$$S_{ae}(T) = 0.8 S_{DS}$$

$$S_{ae}(T) = 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (1.7)$$

$T_{AD}$  ile  $T_{BD}$  düşey spektrum köşe periyotları ile  $T_{LD}$  periyodu Denklem 1.8'de verilmiştir.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3}; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3}; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (1.8)$$



Şekil 1.22. Tasarım spektral düşey ivme-periyot grafiği (TBDY, 2018).

### **1.3.3. Deprem Etkisi Altında Binalar İçin Tasarım Esasları**

Deprem etkisi altında binaların tasarım esasları TBDY-2018 Bölüm 3'te açıklanmıştır. Bu kapsamda ilk olarak bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısı belirlenir. Ardından önceki bölümde hesaplanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına göre deprem tasarım sınıfı belirlenir. Belirlenen deprem tasarım sınıfı ve bina yüksekliğine göre binanın yükseklik sınıfı belirlenir. Bina yükseklik sınıfı taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve deprem fazlalığı katsayısının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Daha sonrasında deprem tasarım sınıfına göre bina performans hedefi ve uygulanacak tasarım yaklaşımı belirlenir. Ek olarak binadaki düzensizlikler belirlenir. Binadaki düzensizlikler, yapının davranışını olumsuz yönde etkileyebileceği için ilgili bu düzensizliklerle ilgili koşullar ve sınırlamalar getirilmiştir. Bu düzensizlikler hesap yönteminin belirlenmesinde de etkili olmaktadır (Güven, 2018).

#### **1.3.3.1. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları**

Bina kullanım sınıfları (BKS) TBDY-2018 Bölüm 3.1.1'de tanımlanmıştır. Bina kullanım sınıfı, binanın kullanım amacına göre belirlenmektedir. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli yoğun olarak bulunduğu yerler ve tehlikeli madde içeren binalar 1.sınıf binalar olarak adlandırılır. İnsanların kısa süreli yoğun olarak bulunduğu binalar 2.sınıf binalar olarak adlandırılır. İlk 2 sınıfa girmeyen, konut ve ofis gibi binalar 3. sınıf binalar olarak adlandırılır. Bina önem katsayısı doğrudan deprem kuvvetlerinin hesabında kullanılmaktadır. Bina kullanım sınıfı bina önem katsayısını gösteren Tablo 1.4'te verilmiştir (Güven, 2018).

Tablo 1.4. Bina kullanım sınıfları ve Bina önem katsayıları (TBDY, 2018).

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	<b>Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</b> 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 kıışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	<b>İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</b> Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS =3	<b>Diğer binalar</b> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

### 1.3.3.2. Deprem Tasarım Sınıfları

Deprem tasarım sınıfı (DTS) ve Bina yükseklik sınıfı (BYS) TBDY-2018’de Bölüm 3.2 ve 3.3’te açıklamıştır. Deprem tasarım sınıfı, DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ve bina kullanım sınıfına bağlı olarak belirlenir.

Tablo 1.5. Deprem tasarım sınıfları (TBDY, 2018).

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
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

### 1.3.3.3. Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıfları

Aşağıda (a) ve (b)'de verilen koşulların her ikisinin de sağlayan bodrumlu binalarda bina tabanı, bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanır.

- (a) Rijit bodrum perdelerinin binayı her taraftan veya en az üç taraftan çevrelemesi,
- (b) Birbirine dik bina eksenlerinin her birinin doğrultusundaki hakim titreşim modunda, bodrum katlar dahil binanın tümü için hesaplanan doğal titreşim periyodunun, aynı taşıyıcı sistemde zemin kat döşemesi dahil tüm bodrum kütleleri hesaba katılmaksızın aynı doğrultuda hesaplanan doğal titreşim periyoduna oranının 1.1'den küçük olması ( $T_{p,tüm} \leq 1.1T_{p,üst}$ ).

Yukarıda verilen koşullardan herhangi birini sağlamayan bodrumlu binalar ve bodrumuz binalarda bina tabanı temel üst kotunda tanımlanır. Deprem hesabı bakımından bina yüksekliği  $H_N$ , yukarıda tanımlanan bina tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak tanımlanır. Bu tanımda çatı döşemesinin üzerinde yer alan asansör makine dairesi ve benzeri kütleli uzantılar dikkate alınmayabilir. Deprem etkisi altında tasarımında binalar yükseklikleri bakımından sekiz bina yükseklik sınıfına (BYS) ayrılmıştır. Bu sınıfa giren binalar için tanımlanan yükseklik aralıkları Tablo 1.5'deki Deprem tasarım sınıflarına bağlı olarak Tablo 1.6'da verilmiştir. Tablo 1.6'da  $BYS = 1$  olarak belirtilen binalar TBDY-2018'e göre Yüksek Binalar olarak adlandırılmaktadır.

Tablo 1.6. Bina yükseklik sınıfları (TBDY, 2018).

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



#### **1.3.3.4. Binalar Performans Düzeyleri**

Binalar için performans düzeyleri TBDY-2018 Bölüm 3.4'te tanımlanmıştır. Bunlar:

##### **Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi**

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşı gelmektedir.

##### **Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi**

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.

##### **Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi**

Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir.

##### **Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi**

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir (TBDY-2018).

#### **1.3.3.5. Binalar Performans Hedefleri ve Uygulanacak Tasarım Yaklaşımları**

Binalar için performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları yürürlüğe giren TBDY-2018 Bölüm 3.5'te verilmiştir. Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS=1) için performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yöntemi Tablo 1.7'de verilmiştir.

Tablo 1.7. Yüksek binalar için performans hedefleri ve tasarım yaklaşımı

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS=1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme /Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	-	-
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT	KH	GDT
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

TBDY-2018'e göre iki tasarım yaklaşımı bulunmaktadır. Bunlar:

#### **Doğrusal Hesap Yöntemleri:**

Belirlenen performans hedefi için taşıyıcı sistem süneklik kapasitesine karşı gelen azaltılmış deprem yükleri belirlenir. Azaltılmış deprem yükleri etkisi altında taşıyıcı sistemin doğrusal deprem hesabı yapılır. Seçilen bina modeli için dayanım fazlalığı katsayıları da dikkate alınarak bina taşıyıcı sistem ebatları belirlenir. Göreli kat ötelemeleri, izin verilen sınırlarla karşılaştırılır. Yönetmelikte belirtilen düzensizlik kontrolleri yapılır ve sağlamayan düzensizlik durumlarında model taşıyıcı eleman kesitleri ve/veya bina modeli değiştirilerek yeniden hesaplar yapılır.

#### **Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri:**

Yapıya önceden gerçekleşmiş deprem ivme kayıtlarıyla deprem etkisine maruz bırakılarak, yapının deprem hareketi doğrultusunda şekildeğiştirme ve yer değiştirmesi esaslı değerlendirme yapılmasıdır. Dolayısıyla yapının gerçek davranışı olan elastik ötesi davranışı ele alınır. Bu sayede daha gerçekçi bir biçimde çözümleme yapılmış olur.

- **Tek Modlu İtme Yöntemleri:** Bina Yükseklik Sınıfı  $BYS \geq 5$ , burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$  ve birinci (hakim) titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütesinin toplam bina kütesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olduğu binalarda uygulanabilir.
- **Çok Modlu İtme Yöntemleri:** Çok modlu itme yöntemleri ile bina yükseklik sınıfı tablosunda gösterilen  $BYS \geq 2$  olan tüm binalar için kullanılabilir.

- **Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi (Time History):**  
Tüm binaların deprem hesabında kullanılabilir. Ancak bu yöntem Yüksek Binalarda (BYS=1) kullanılması zorunludur.

#### **1.3.3.6. Düzensizlik Durumları**

Yapılacak olan binalar için deprem etkisi altında düzensizlikler TBDY-2018 Bölüm 3.6'da tanımlanmıştır, binalardaki düzensizlikler yatayda ve düşeyde olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Yapıda karşılaşılan düzensizlikler, binanın deprem etkisi altındaki davranışını olumsuz yönde etkilediği için mümkün olduğunca taşıyıcı sistemi düzenli bir sistem tasarlanmalıdır.

#### **1.3.4. Yüksek Binaların Dayanıma Göre Tasarım Hesap Esasları**

Deprem etkisi altında yüksek binaların tasarımı için TBDY-2018'de önce Bölüm 13'e gidilir. Bölüm 13, DD-2 deprem yer hareketi düzeyi ön boyutlandırma için Bölüm 4'e yönlendirmektedir. Aşağıdaki işlemler izlenecektir:

Bina taşıyıcı minimum malzeme özellikleri ve taşıyıcı sistem ebatları için Bölüm 13 ve Bölüm 7'e bakılır. Tasarlanacak bina için hedeflenen performans düzeyi ve yapının süneklik düzeyine göre azaltılmış deprem yükleri belirlenir. Azaltılmış deprem yükleri altında TBDY-2018'e göre binanın doğrusal hesabı yapılır ve elemanların iç kuvvetleri elde edilir. Taşıyıcı sistem içi elde edilen iç kuvvetler elemanların dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılır ve deprem hesabından elde edilen göreceli kat ötelemeleri izin verilen sınırlarla karşılaştırılır. Yapılan tahkiklerde dayanım talepleri dayanım kapasitesinin üzerinde ise kesitler değiştirilerek hesaplar tekrarlanacaktır.

##### **1.3.4.1. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ve Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı**

Deprem yüğü azaltma katsayısı TBDY-2018 Bölüm 4.2'de bahsedilmiştir. Buna göre deprem yüğü azaltma katsayısı ( $R_a(T)$ ); Periyot değerine göre aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} R_a(T) &= \frac{R}{I} & (T > T_B) \\ R_a(T) &= D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \times \frac{T}{T_B} & (T \leq T_B) \end{aligned} \quad (1.9)$$

#### 1.3.4.2. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları

Taşıyıcı sistem davranış katsayısının belirlenmesi, uygulama sınırları ve dayanım fazlalığı katsayısının belirlenmesi TBDY-2018 Bölüm 4.3'te açıklanmıştır. Bu katsayılar bina yükseklik sınıfı ve seçilen süneklik düzeyine bağlı olarak verilmiştir. R ve D katsayıları seçilirken dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda özetlenmiştir.

- Bina yükseklik sınıfı 1 olan binalar yalnızca A12, A13, A14, A15, B12 ve B13 simgeleri ile gösterilen süneklik düzeyi yüksek sistemlerden oluşturulabilir.
- Bodrum binalı yapılarda, bodrum katların bulunduğu alt bölümlerde  $(R/I)=2.5$  ve  $D=1.5$  alınacaktır.
- Birbirine dik doğrultularda taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeylerinin aynı olması gerekmektedir.
- Taşıyıcı sistemde tek bir perdenin veya çelik çaprazlı aldığı taban devrilme momenti, o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momentinin  $1/3$ 'ünden fazla olmayacaktır.
- Süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli veya bağ kirişsiz sistemlerde perdelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momentinin, binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrileme momentine oranı %40'tan az, %75'ten fazla olmayacaktır.
- Süneklik düzeyi karma sistemlerde, perdelerin tabanın meydana gelen devrilme momenti, binanın tabanında meydana gelen toplam devrilme momentinin %75'inden az olmayacaktır.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının sünek davranış gösteren elemanlarının tasarımında dayanım fazlalığı katsayısı kullanılmayacaktır.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının gevrek davranış gösteren elemanlarında dayanım fazlalığı katsayısı kullanılacaktır.
- Bina döşemelerinde düzlem içi kuvvetlerin hesabında dayanım fazlalığı katsayısı kullanılacaktır.
- Kolon ve perdelerden temele aktarılan kuvvetlerin hesabında dayanım fazlalığı katsayısı kullanılacaktır.

Süneklik düzeyi yüksek betonarme binalar için kullanılacak taşıyıcı sistem davranış katsayıları, dayanım fazlalığı katsayıları ve izin verilen bina yükseklik sınıfları Tablo 1.8’de verilmiştir (Güven, 2018).

Tablo 1.8. Süneklik düzeyi yüksek betonarme bina için katsayılar

Bina Taşıyıcı Sistem	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Davranış Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı BYS
<b>A. YERİNDE DÖKME BİNALARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ</b>			
<b>A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler</b>			
<b>A11.</b> Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS $\geq$ 3
<b>A12.</b> Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS $\geq$ 2
<b>A13.</b> Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS $\geq$ 2
<b>A14.</b> Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	2.5	BYS $\geq$ 2
<b>A15.</b> Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	7	2.5	BYS $\geq$ 2

#### 1.3.4.3. Yatay Deprem Etkisi Altında Azaltılmış Tasarım İvme Spektrumu

Yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu TBDY-2018’de Bölüm 4.4’de bahsedilmiştir. Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi  $S_{aR}(T)$ , Denklem 1.10 ile tanımlanmıştır:

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (1.10)$$

Burada  $S_{ae}(T)$ , Bölüm 1.3’te tanımlanan DD-2 deprem yer hareketi için Denklem (1.3) ile belirlenen Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi’ni,  $R_a(T)$  ise Denklem (1.9) ile tanımlanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı’nı göstermektedir.

#### 1.3.4.4. Yatayda Birbirine Dik Doğrultulardaki Deprem Etkilerinin Birleştirilmesi

Yatayda birbirine dik doğrultulardaki deprem etkilerinin birleştirilmesi TBDY-2018’de Bölüm 4.4.2’ye göre yapılacaktır. Buna göre:

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (1.11)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \quad (1.12)$$

Yukarıda Denklem 1.11 ve Denklem 1.12’de verilen  $E_d^{(H)}$  birleştirilmiş deprem etkisini,  $E_d^{(X)}$  ve  $E_d^{(Y)}$  birbirine dik X ve Y doğrultusunda hesaplanan deprem etkilerini göstermektedir.

#### 1.3.4.5. Düşey Deprem Etkisi Hesabı ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi

DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=2a olarak sınıflandırılan ve aşağıdaki elemanları içeren binalarda düşey deprem hesabı, bu elemanların yerel düşey titreşim modları esas alınarak, düşey elastik ivme spektrumuna göre hesaplanacaktır. Düşey deprem etkisi  $E_d^{(Z)}$ ’in bu şekilde hesabında tüm taşıyıcı sistemler için  $R/I = 1$  ve  $D = 1$  alınacaktır.

- Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalar,
- Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsolları içeren binalar,
- Kirişlere oturan kolonları içeren binalar,
- Kolonları düşeye göre eğimli olan binalar.

Yukarıda belirtilen elemanların dışında kalan taşıyıcı sistem kısımları için ve diğer binalarda düşey deprem etkisi  $E_d^{(Z)}$  Denklem 1.13 ile belirlenecektir.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3) S_{DS} G \quad (1.13)$$

Yukarıda verilen formülde G sabit yük etkisini,  $S_{DS}$  kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir.

### 1.3.5. Doğrusal Hesap İçin Taşıyıcı Sistemin Modellenmesine İlişkin Kurallar

Dayanım Göre Tasarım kapsamında yapılacak doğrusal hesapta kullanılmak üzere, taşıyıcı sistemlerin modellenmesi ile ilgili kurallar TBDY-2018 Bölüm 4.5'te verilmiştir. Buna göre genel modelleme kuralları:

- Bina taşıyıcı sistemleri daima üç boyutlu olarak modellenenecektir.
- Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkisi daima gözönüne alınacaktır. Düşey deprem etkisi de TBDY-2018 Bölüm 4.4.3'e göre hesaba katılacaktır.
- Sönüm oranı, aksi belirtilmedikçe, %5 alınacaktır.
- Burada verilen modelleme kuralları, deprem içermeyen yükleme durumları için de uygulanabilir.

### 1.3.6. Kullanılacak Malzeme Özellikleri

TBDY-2018 binalarda C20 beton sınıfı kullanmayı kaldırmış ve C25 ile C80 dayanım sınıfı betonlar kullanmayı öngörmüştür. Donatı çeliği olarak ise betonarme

Yüksek Binalar için sadece B420C veya B500C kalitesindeki nervürlü donatı çeliği kullanılmasını öngörmüştür.

### 1.3.7. Doğrusal Hesap Yöntemleri ve Hesap Yönteminin Seçilmesi

Doğrusal hesap yöntemleri ve seçimi TBDY-2018 Bölüm 4.6’da açıklanmıştır. Yönetmeliğe göre doğrusal hesap yöntemleri, Eşdeğer deprem yükü yöntemi Mod birleştirme ve Mod toplama yöntemleridir. Fakat Eşdeğer deprem yükü yöntemi Deprem tasarım sınıfına, Bina yükseklik sınıfına ve Düzensizlik durumlarına göre sınırlandırılmıştır. Mod yöntemleri her bina için uygulanabilmektedir. Tablo 1.9’da Eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılacak binalar için kriterler verilmiştir.

Tablo 1.9. Eşdeğer Deprem yükü yöntemi kullanılacak binalar (TBDY, 2018).

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS= 1, 1a, 2, 2a	DTS= 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $n_b \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca <b>B2</b> türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$BYS \geq 4$	$BYS \geq 5$
Diğer tüm binalar	$BYS \geq 5$	$BYS \geq 6$

Yapıda göz önüne alınan deprem doğrultusunda eşdeğer deprem kuvveti Denklem 1.14 ile hesaplanmaktadır.

$$V_{tE} = m_t \times S_{aR}(T_p) \geq 0.04 \times m_t \times I \times S_{DS} \times g \quad (1.14)$$

Yukarıda verilen denklemde verilen  $m_t$  bina kütlelerini,  $S_{aR}(T_p)$  göz önüne alınan doğrultuda binanın doğal titreşim periyoduna bağlı hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir. Yapının doğal titreşim periyodu  $T_p$ , aşağıdaki Denklem 1.15 ile hesaplanan periyot değerinin 1.4 katından daha fazla alınmayacaktır. Denklem 1.15’de  $H_N$  bina yüksekliğini ifade etmektedir,  $C_t$  sabiti ise betonarme çerçevelerden oluşan binalar için 0.1, çelik çapraz veya çerçevelerden oluşan binalar için 0.08, bu sınıfın dışında kalan binalar için hesaplarda 0.07 alınacaktır. Deprem etkilerinin tamamının



betonarme perdelerle karşılandığı binalar için  $C_t$  katsayısı TBDY-2018’de verilen 4.27 bağıntısı ile hesaplanması gerekir.

$$T_{pA} = C_t \times H_N^{3/4} \quad (1.15)$$

Eşdeğer deprem yükü, düzensizlik tahkikleri sonucu burulma katsayısının 2.0’dan küçük olduğu binalarda kullanılabilir. Düzensizlik kontrolleri sonucunda burulma katsayısının 1.20’den büyük olduğu durumlarda ek dışmerkezlik etkisi Denklem 1.16’da verilen katsayı ile arttırılacaktır. Aşağıda verilen Denklemden yer alan  $\eta_{bi}$  binanın i. Katındaki burulma düzensizliği katsayısını ifade etmektedir.

$$D_{bi} = \left( \frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (1.16)$$

Binaların deprem etkisi altında yapı modal davranışını esas alan modal hesap yöntemi deprem spektrumu kullanılarak mod birleştirme yöntemi baz alınarak gerçekleştirilir. Modal hesap yöntemiyle hesaplarda her bir doğrultuda oluşacak olan yeterli titreşim modu sayısı göz önüne alınmalıdır. Binanın her bir doğrultuda modal etkin kütleleri toplamının bina kütlelerine oranı %95’ten daha az olmamalıdır, titreşim modlarının katkısı %3’ten büyük olan tüm modlar göz önüne alınacaktır.

Deprem yükü hesabı için mod toplama yönteminde, depremin eşzamanlı olarak birbirine dik iki yatay doğrultuda etkidiğinin gözönüne alınması durumunda, her bir titreşim moduna ait modal davranış büyüklükleri zaman tanım alanında modal hesap yöntemi ile hesaplanır. Yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan eşzamanlı modal davranış büyüklükleri sonrasında zaman tanım alanında doğrudan birleştirilerek davranış büyüklüklerinin zamana göre değişimi ve tasarımda esas alınmak üzere en büyük değerler elde edilir. Mod toplama yönteminde deprem etkileri aynı anda her iki doğrultuda etkitildiği için doğrultu birleştirme kurallarının uygulanmasına gerek kalmamaktadır.

Mod birleştirme yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti  $\beta_{tE}$  katsayısı kullanılarak eşdeğer deprem yükü yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvvetine eşitlenecektir.  $\beta_{tE}$  katsayısı formülü Denklem 1.17’de verilmiştir.

$$\beta_{tE} = \frac{\gamma_E V_{tE}}{V_t} \geq 1 \quad (1.17)$$

Yukarıdaki denklemde  $V_{tE}$  ilgili doğrultuda eşdeğer deprem yükü hesaplarıyla bulunan deprem kuvvetini,  $V_t$  ilgili doğrultuda mod birleştirme yöntemiyle elde edilen deprem yükünü ifade etmektedir.  $\gamma_E$  değeri A1, B2 veya B3 düzensizliklerinden birinin bulunduğu binalarda 0.90, diğer durumlarda 0.80 alınacaktır. Eşdeğer deprem yükü eşitleme katsayısı hesaplamalarda 1’den küçük alınmayacaktır.

### 1.3.8. Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması ve İkinci Mertebe Etkileri

Yapıdaki katlarda oluşan göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılması ve ikinci mertebe etkileri TBDY-2018 Bölüm 4.9’da bahsedilmiştir. TBDY-2018 Bölüm 4.9.1.1’e göre bir perde veya kolon için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkı azaltılmış göreli kat ötelemesi olarak ifade etmektedir ( $\Delta_i$ ). Ancak yerdeğiştirmelerin hesabında minimum eşdeğer deprem yükü koşulu göz önüne alınmayacaktır. Herhangi bir doğrultuda etkin göreli kat ötelemesi Denklem 1.18 ile hesaplanacaktır.

$$\delta_i = \frac{R}{I} \Delta_i \quad (1.18)$$

Tahkiki yapılan etkin göreli kat ötelemeleri Denklem 1.19 veya Denklem 1.20 ile verilen sınır değeri aşmayacaktır. Denklem 1.19 ile verilen sınır değer, gevrek malzemenen yapılmış dolgu duvarların uygulanması durumunda kullanılacaktır. Denklem 1.20 ile verilen koşul, gevrek dolgu duvarların binaya uygulanması veya arada esnek derzler yapılması durumunda kullanılacaktır. Verilen denklemde  $\lambda$  katsayısı, göz önüne alınan deprem doğrultusunda DD-3 yer hareketi düzeyindeki elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 yer hareketi düzeyindeki elastik tasarım spektral ivmesine oranını ifade etmektedir,  $\kappa$  katsayısı betonarme binalar için 1 alınacaktır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0,008\kappa \quad (1.19)$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0,016\kappa \quad (1.20)$$

Binalarda oluşan İkinci Mertebe etkileri TBDY-2018 Bölüm 4.9.2’de açıklanmıştır. Yönetmeliğe göre her bir kat için belirli deprem doğrultusunda ikinci mertebe gösterge değeri ( $\theta_{II,i}$ ) Denklem 1.21 ile hesaplanacaktır. Her bir kat için hesaplanan  $\theta_{II,i}$  değerlerinin maksimumu olan  $\theta_{II,max}$  Denklem 1.22 ile verilen değeri aşmayacaktır.

$$\theta_{II,i} = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{k=1}^N w_k}{V_i x h_i} \quad (1.21)$$

$$\theta_{II,max} \leq 0,12 \frac{D}{C_{hXR}} \quad (1.22)$$

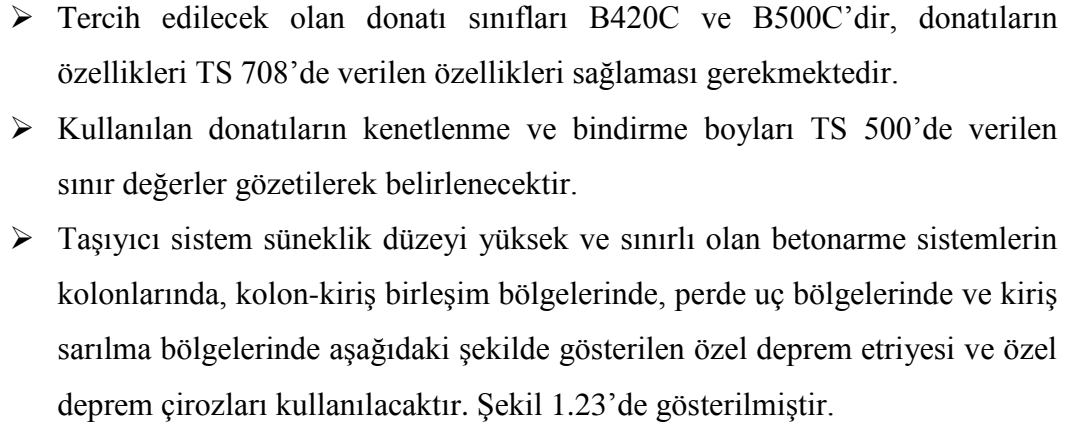
Yukarıdaki denklemde verilen R taşıyıcı sistem davranış katsayısını, D dayanım fazlalığı katsayısını ifade etmektedir.  $C_h$  katsayısı ise taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan çevrimsel davranışına bağlı olarak ifade edilen bir katsayıdır. Betonarme yapılarda bu katsayı 0.5 alınacaktır. Yukarıdaki Denklem 1.22 ile verilen koşulun sağlanmaması durumunda tüm iç kuvvetler, TBDY-2018 Bölüm 4.37’de verilen bağıntı ile arttırılacaktır.

### 1.3.9. Betonarme Elemanların Tasarım Kuralları

#### 1.3.9.1. Genel Tasarım Kuralları

Düşey yükler ve deprem etkileri altındaki binalarda betonarme elemanların tasarımı TBDY-2018 Bölüm 7 ve TS 500 baz alınarak yapılacaktır. Betonarme tasarım ile ilgili genel kurallar aşağıda özetlenmiştir.

- TBDY-2018 yeni dönemde betonarme yapılarda C25’den küçük beton sınıflarının kullanılmasına izin verilmemektedir.
- Kullanılacak beton sınıfı C25 ile C80 arasında seçilmesi gerekmektedir. C50’ye kadar olan seçilecek olan beton sınıfların mekanik özellikleri için TS 500 kullanılacaktır. C50’den büyük beton sınıfı kullanılması halinde betonun mekanik özellikleri için TS EN 1992-1 (EC2) kullanılacaktır.



Şekil 1.23. Özel deprem etriye ve çiroz geometrileri (TBDY-2018).

#### 1.4. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Doğrusal Olmayan Tasarım

Doğrusal olmayan tasarım (Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım) için modelleme kuralları ve hesap esasları TBDY-2018 Bölüm 5 ve Bölüm 13'te açıklanmıştır. TBDY-2018'de şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞDGT) hesap esasları, Bölüm 13'te açıklanan yüksek binaların tasarımı, Bölüm 14'te açıklanan Deprem Yalıtımlı Binaların tasarımı ve Bölüm 15'te açıklanan Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi için uygulanır.

### **1.4.1. Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım Yaklaşımı**

#### **1.4.1.1. Tanım**

Şekildeğiştirme esaslı tasarımda esas olan, ilgili kesitlerdeki şekildeğiştirmelerin, kuvvet altında nasıl olduğunu bulmak, bulduğumuz bu şekildeğiştirmelerin yönetmelikte verilen sınır değerlere göre kıyaslamaktır. Şekildeğiştirmeye göre tasarım aşamaları;

- Mevcut veya daha önce ön tasarımı yapılmış taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan modelleme yaklaşımları ile uyumlu iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları belirlenir.
- Öngörülen performans hedef/hedefleri ile uyumlu olarak seçilen deprem yer hareket/hareketleri altında, taşıyıcı sistemin statik veya zaman tanım alanında dinamik artımsal yöntemlerle hesabı yapılır, doğrusal olmayan sünük davranışa ilişkin şekildeğiştirme talepleri ile gevrek davranışa ilişkin dayanım talepleri elde edilir.
- Elde edilen şekildeğiştirme ve iç kuvvet talepleri, öngörülen performans hedef/hedefleri ile uyumlu olarak tanımlanan şekildeğiştirme ve dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılır.
- Mevcut binalar için, şekildeğiştirme ve dayanım taleplerinin bunlara karşı gelen şekildeğiştirme ve dayanım kapasitelerinin altında olduğu veya onları aştığı gösterilerek şekildeğiştirmeye göre değerlendirme tamamlanır.
- Yeni yapılacak veya güçlendirilecek mevcut binalar için şekildeğiştirme ve dayanım talepleri, bunlara karşı gelen şekildeğiştirme ve dayanım kapasitelerinin altında ise şekildeğiştirmeye göre tasarım tamamlanır. Aksi durumda eleman kesitleri değiştirilir ve hesap tekrarlanarak yeniden değerlendirme yapılır ve bu şekilde şekildeğiştirmeye göre tasarım sonuçlandırılır (URL-3, 2019).

#### **1.4.1.2. Performans Hedefleri ve Tasarım Aşamaları**

Performans hedefleri ve tasarım aşamaları Tablo 1.7’de verilmiştir. Buna göre  $BYS=1$  ve  $DTS= 1, 2, 3, 3a, 4, 4a$  olan binalar için öncelikle DD-2 deprem yer hareketi etkisinde Dayanıma Göre Ön Tasarım yapılır, düzensizlik durumları ve kesit boyutlarına

karşılık donatı tahkiki yapılır. Dayanıma Göre Tasarım koşullarını sağlayan sistem için DD-1 Deprem yer hareketi altında şekildeğiştirmeye göre tasarım yapılır.

BYS=1 ve DTS= 1a, 2a olan binalar için aynı şekilde DD-2 deprem yer hareketi etkisinde Dayanıma Göre Ön Tasarım yapılır, düzensizlik durumları ve kesit boyutlarına karşılık donatı tahkiki yapılır. DD-2 Dayanıma Göre Tasarım koşullarını sağladığı durumda Sınırlı Hasar performans seviyesi için DD-3 Deprem yer hareketi altında şekildeğiştirmeye göre tasarım, Kontrollü Hasar performans seviyesine karşın DD-1 Deprem yer hareketi etkisinde şekildeğiştirmeye göre tasarım yapılır.

#### **1.4.2. Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi**

Deprem etkilerinin tanımlanması ve diğer etkilerle birleştirilmesi TBDY-2018 Bölüm 5.2’de açıklanmıştır. Deprem etkileri itme yöntemleriyle veya zaman tanım alanında hesap yöntemiyle tanımlanabilmektedir, bu hesapların ayrıntıları TBDY-2018 Bölüm 5.6 ve Bölüm 5.7’de açıklanmıştır.

Deprem etkileri diğer etkilerle Denklem 1.23’da gösterildiği şekilde birleştirilecektir.

$$G + Q_e + 0.2S + E_d^{(H)} + E_d^{(Z)} \quad (1.23)$$

Yukarıdaki formülde G sabit yük etkisini,  $Q_e$  doğrusal hesap için verilen hareketli yük kütle katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan hareketli yük etkisini, S kar yükünü,  $E_d^{(H)}$  yatay deprem etkisini göstermektedir,  $E_d^{(Z)}$  ise doğrusal hesap yöntemlerinde hesaplanan düşey deprem etkisini ifade etmektedir.

Doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile yapılacak deprem hesabından önce, Denklem 1.23’da  $E_d^{(H)}$  dışındaki statik düşey yüklerin taşıyıcı sisteme artımsal olarak uygulandığı doğrusal olmayan statik hesap yapılacaktır. Bu hesapların sonucunda elde edilen iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler yatay deprem hesabında başlangıç değerleri olarak gözönüne alınacaktır. Yeni yapılan ve güçlendirilen binalarda bu aşamada doğrusal olmayan şekildeğiştirmelere izin verilmez. Fakat mevcut binaların değerlendirilmesinde, (eğer varsa) doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler de başlangıç değerleri olarak gözönüne alınacaktır.

### 1.4.3. Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

#### 1.4.3.1. Yığılı Plastik Davranış Modeli

Yığılı plastik davranış modeli TBDY-2018 Bölüm 5.3.1’de açıklanmıştır. Yığılı plastik davranış modeli çubuk elemanlarda ve gerekli şartları sağlayan perdelerin modellemesinde kullanılabilir. Perdeler için gerekli şartlar TBDY-2018 Bölüm 4.5.3.8’de verilmiştir. Yığılı plastik davranış modelinde:

- Yığılı plastik davranış modelinde iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılır, plastik mafsalsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu ( $L_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyutu ( $h$ )’nin yarısına eşit alınacaktır ( $L_p \approx 0.5h$ ).
- Yalnızca eksenel kuvvet altında plastik şekildeğiştirme yapan elemanların plastik şekildeğiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır.
- Etkin akma momentinin hesabında betonun basınç birim şekildeğiştirmesi 0.0035 ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmesi 0.01 alınabilir.
- Hesap adımlarında etkin akma momentinin hesabında düşey yüklerden meydana gelen eksenel kuvvetler dikkate alınacaktır.
- Betonarme ve çelik taşıyıcı sistem kesitlerinin iki doğrulu iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) terk edilebilir.

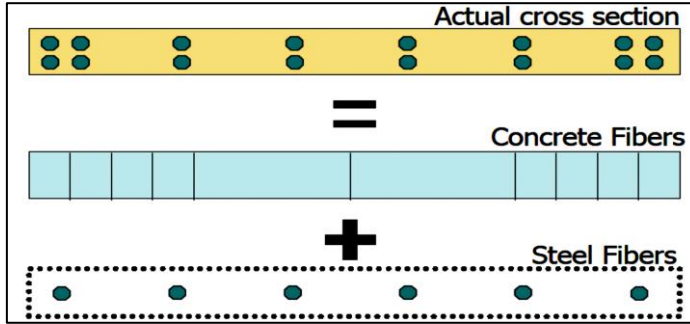
#### 1.4.3.2. Yayılı Plastik Davranış Modelleri

Yayılı plastik davranış modeli TBDY-2018 Bölüm 5.3.2’de açıklanmıştır. Bu model bütün taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılabilir.

Yayılı plastik davranış modellerinde elemanların tüm uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin olduğu varsayılır.

Bu modelde taşıyıcı elemanların kesit hücrelerinden (lif) meydana geldiği kabul edilir ve her bir hücrede doğrusal olmayan eksenel gerilme-birim şekildeğiştirme bağıntıları kullanılarak hesap yapılır. Özellikle yapıdaki perdelerin doğrusal olmayan modellemesinde kullanılması önerilir. Betonarme taşıyıcı perdelerin eğilme ve eksenel

kuvvet etkisi altında doğrusal olmayan davranışının modellenenilmesi için kullanılan lif modeline ek olarak kayma şekildeğıştirmelerini dikkate almak adına doğrusal bir kayma modeli de yaklaşık olarak hesaba eklenebilir. Çevrimsel davranış için genel kabul görülmüş modeller kullanılabilir. Betonarme perdeler için lifli modelleme Şekil 1.24'te gösterilmiştir.



Şekil 1.24. Perdelerde lifli modelleme (Güven, 2018).

#### 1.4.4. Doğrusal Olmayan Hesap İçin Taşıyıcı Sistemin Modellenmesi

##### 1.4.4.1. Genel Modelleme Kuralları

Doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistem modellemesine ilişkin kurallar TBDY-2018 Bölüm 5.4'te verilmiştir. Genel modelleme kuralları aşağıda özetlenmiştir.

- Bina taşıyıcı sistem elemanları 3 boyutlu olarak modellenecektir. Kütlelerin modellemesi için doğrusal modellemede verilen kurallar dikkate alınacaktır.
- Birbirine dik iki yatay doğrultuda deprem etkileri gözönüne alınacaktır.
- Sönüm oranı  $BYS=1$  binaların şekildeğıştirmeye göre analizi için %2.5 alınacaktır. İkinci mertbe etkileri de hesaplarda gözönüne alınacaktır.

Mevcut binaların analiz hesaplarında malzemelerin mevcut dayanımları gözönüne alınacaktır. Yeni yapılacak binaların hesaplarında ise beton ve çeliğin beklenen (ortalama) dayanımları gözönüne alınacaktır (Tablo 1.10).

- Performans değeriendirme yapılması istenen süneklik düzeyi yüksek binalarda, kapasite tasarımı ilkeleri ve diğer sünek tasarım kuralları (kesme



hasarı, kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarı), ön tasarım esnasında kontrol edildiğinden modellerde dikkate alınması gerekmez.

- Taşıyıcı sistemin çubuk eleman olarak modellenmesinde yığılı veya yayılı plastik davranış modelleri kullanılabilir. Yığılı plastik mafsallı kabulü için, plastik mafsallar arasında kalan kısım doğrusal eleman olarak modellenecek ve bu kısımların modellenmesinde etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır.
- Yapıda kullanılan betonarme perdelerin modellenmesinde yığılı veya yayılı plastik mafsallı modelleri kullanılabilir, ancak yüksek bina kapsamına giren yapılarda lif model kullanılması zorunludur.

Tablo 1.10. Beklenen (Ortalama) malzeme dayanımları (TBDY, 2018).

Beton	$f_{ce} = 1.3 f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ye} = 1.2 f_{yk}$
Yapı çeliği (S235)	$f_{ye} = 1.5 f_{yk}$
Yapı çeliği (S275)	$f_{ye} = 1.3 f_{yk}$
Yapı çeliği (S355)	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$
Yapı çeliği (S460)	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$

#### 1.4.4.2. Betonarme Elemanların Etkin Kesit Rijitlikleri

Betonarme elemanların etkin kesit rijitliği TBDY-2018 Bölüm 5.4.5’te açıklanmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarından doğrusal olarak modellenen perdelerin ve döşemelerin düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarına ilişkin etkin kesit rijitliği çarpanları TBDY-2018 Bölüm 4’deki Tablo 4.2’den alınacaktır.

Yığılı plastik davranışına göre modellenecek olan kolon, kiriş, bağ kirişi ve perdelerin etkin kesit rijitlikleri Denklem 1.24’e göre belirlenecektir.

$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y} \frac{L_S}{3} \quad (1.24)$$

Yukarıdaki formülde  $M_y$  ve  $\theta_y$  çubuk elemanın uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentleri ile akma dönmelerinin ortalamalarını göstermektedir. Formülün

devamında  $L_s$  ise kesme açıklığıdır (kesitteki moment/kesme kuvveti oranı). Kesme açıklığı kolon ve kirişlerde yaklaşık olarak açıklığın yarısı, perdelerde ise her katın tabanından perde tepesine olan uzaklığın yarısı olarak alınabilir. Denklem 1.24’de bulunan plastik mafsal akma dönmesi  $\theta_y$  Denklem 1.25 ile hesaplanacaktır.

$$\theta_y = \frac{L_s \theta_y}{3} + 0.0015\eta \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{f_{ye} d_b \theta_y}{\sqrt[8]{f_{ce}}} \quad (1.25)$$

Yukarıdaki formülde  $\theta_y$  plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliğini göstermekte,  $h$  ise kesit yüksekliğidir. Formülün devamında kiriş ve kolonlarda  $\eta = 1$ , perdelerde ise  $\eta = 0.5$  alınacaktır.  $d_b$  ise mesnede kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını göstermekte,  $f_{ce}$  ve  $f_{ye}$  ise betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı ile donatının ortalama akma dayanımını göstermektedir.

#### 1.4.5. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap TBDY-2018’de Bölüm 5.4’te açıklanmıştır. Yönetmeliğe göre doğrusal olmayan hesap yöntemleri:

- Tek modlu itme yöntemleri: Bina yükseklik sınıfı  $BYS \geq 5$  olan, burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$  olmalı ve birinci (hakim) titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütesinin toplam bina kütesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olduğu binalarda uygulanabilir.
- Çok modlu itme yöntemleri: Çok modlu itme yöntemleri,  $BYS \geq 2$  olan tüm binalar için kullanılabilir.
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap (Time History): Bu yöntem daha kapsayıcı olup tüm binaların deprem hesabında kullanılabilir. Bu yöntemin TBDY-2018, Bölüm 13’e göre yüksek binalar ( $BYS=1$ ) için kullanımı zorunludur.

#### 1.4.5.1. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap (Time History)

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, sismik etkiler altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden differansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşı gelir. Bu işlemler sırasında, doğrusal olmayan davranış sebebi ile sistem rijitlik matrisinin zamanla değişimi gözönüne alınır. Bu yöntem daha yaklaşık sonuçlar verdiğinden tüm binalarda kullanılabilir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi için en az on bir deprem kaydı kullanılacaktır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilerek, daha sonra bu hesap ivme kayıtlarının eksenleri  $90^\circ$  döndürülüp hesap tekrarlanacaktır. Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi TBDY-2018 Bölüm 2.5'te verilmiştir. Deprem kayıtlarının seçilmesinde dikkate alınacak hususlar aşağıda verilmiştir.

- Tasarıma esas deprem hareketi büyüklüğü
- Aktif fay düzlemine uzaklık
- Kaynak mekanizması
- Yerel zemin koşulları

Yeterli sayıda uygun yer hareketi bulunamadığı takdirde yapı spektrumuna uyumlu yapay deprem hareketleri kullanılabilir. Oluşturulacak olan yapay deprem hareketlerinin, bölgede meydana gelen ve kaydedilmiş gerçek deprem kayıtları ile uyumlu olduğu gösterilmelidir. Ek olarak aynı depremden seçilecek kayıt sayısı üçü geçmemesi gerekir. Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde basit ölçeklendirme ve deprem kayıtlarının spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi olmak üzere iki farklı ölçeklendirme yöntemi bulunmaktadır, basit ölçeklendirme yöntemi için aşağıda verilen alımlar izlenecektir.

- Seçilen tüm deprem kayıtlarına ait spektrumların ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genlikleri, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olması durumunda ölçeklendirme yapılacaktır.
- Seçilen deprem kayıtları için her bir deprem kaydının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. İvme kayıtlarının bileşke spektrumlarının ortalamasının

0.2Tp ve 1.5Tp periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranı 1.3'ten daha küçük olmayacaktır, her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi için aynı ölçek katsayıları kullanılacaktır.

Diğer ölçeklendirme yönteminde ise; TBDY-2018 Bölüm 16.5.2 veya Bölüm 16.10'a göre yapılacak zemin davranış analizlerinde veya zaman tanım alanında yapılacak diğer hesaplarda kullanılmak üzere deprem yer hareketleri, seçilen deprem kayıtlarının tasarım spektrumuna spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi ile edilir. Dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrum ortalamaları, tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmaması gerekir.

#### **1.4.6. Şekildeğiştirmelerin Değerlendirilmesi**

Yeni yapılacak olan betonarme bina elemanları için sınır değerler TBDY-2018 Bölüm 5.8.1'de tanımlanmıştır. Seçilecek olan her bir performans düzeyi için ayrı ayrı tanımlanan şekildeğiştirme sınır değerleri, yığılı veya yayılı plastik davranış için ayrı ayrı denklemlerle hesaplanmaktadır.

##### **1.4.6.1. Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi İçin Sınır Değerler**

Seçilecek olan Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi için sınır değerler; yayılı plastik davranış için toplam birim şekildeğiştirme, yığılı plastik davranış için plastik dönmeler üzerinden hesaplanacaktır.

##### **Yayılı Plastik Davranış İçin Birim Şekildeğiştirme Sınır Değerleri:**

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde ki beton birim kısalması sınır değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanacaktır.

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04 \sqrt{W_{we}} \leq 0.018 \quad (1.26)$$

Yukarıda ki formülde yer alan  $W_{we}$  terimi, etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını göstermektedir ve aşağıdaki Denklem 1.27 ile hesaplanmaktadır.

$$W_{we} = a_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (1.27)$$

Yukarda Denklem 1.27’de verilen  $a_{se}$  sargı donatısı etkinlik katsayısını göstermektedir ve aşağıdaki Denklem 1.28 ile hesaplanmaktadır. Formüldeki diğer terimlerden olan  $\rho_{sh,min}$  dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranından küçük olanı,  $f_{ywe}$  enine donatı ortalama akma dayanımını göstermektedir.

$$a_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (1.28)$$

Yukarıdaki denklemde verilen  $A_{sh}$  ve  $\rho_{sh}$  gözönüne alınan doğrultuda enine donatının alanını ve hacimsel oranını,  $b_k$  dik doğrultudaki çekirdek boyutunu,  $s$  enine donatı aralığını,  $h_0$  ve  $b_0$  sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını,  $a_i$  ise bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir. Göçmenin önlenmesi için donatı çeliği birim uzama sınır değeri Denklem 1.29 ile gösterilmiştir.

$$\epsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.4 \epsilon_{su} \quad (1.29)$$

### **Yığılı Plastik Davranış İçin Plastik Dönme Sınır Değerleri:**

Plastik dönme sınır değerleri Göçmenin önlenmesi performans hedefi için Denklem 1.30 ile hesaplanmaktadır.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s}\right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (1.30)$$

Yukarıdaki Denklem 1.30’da verilen  $\phi_u$  beton-donatı çeliği modellerinden yararlanarak ve kesite etkiyen aksenal kuvvet dikkate alınarak yapılan analizden elde

edilen göçme öncesi toplam eğriliğine karşılık gelmektedir. Verilen denklemdeki son terim akma sonrası durum için akma penetrasyonuna bağlı donatı sıyrılması dönmesine karşı gelmektedir.

#### 1.4.6.2. Kontrollü Hasar Performans Düzeyi İçin Sınır Değerler

Göçmenin önlenmesine bağlı olarak, Kontrollü hasar performans düzeyi için sınır değerler, Denklem 1.31, Denklem 1.32 ve Denklem 1.33'te verilmiştir.

$$\epsilon_c^{(KH)} = 0.75 \epsilon_c^{(GÖ)} \quad (1.31)$$

$$\epsilon_s^{(GÖ)} = 0.75 \epsilon_s^{(GÖ)} \quad (1.32)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \epsilon_p^{(GÖ)} \quad (1.33)$$

#### 1.4.6.3. Sınırlı Hasar Performans Düzeyi İçin Sınır Değerler

Sınırlı hasar performans düzeyi için birim şekildeğiştirme sınır değerleri Denklem 1.34 ve Denklem 1.35'te verilmiştir. Yığılı plastik davranış için ise taşıyıcı sistemde plastik mafsall oluşumuna müsaade edilmeyecektir (Denklem 1.35).

$$\epsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad (1.34)$$

$$\epsilon_c^{(SH)} = 0.0075 \quad (1.35)$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (1.36)$$

#### 1.4.7. Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemleri İçin Özel Kurallar

Deprem etkisi altında yüksek bina taşıyıcı sistemleri için özel kurallar TBDY-2018 Bölüm 13'te bahsedilmiştir. Deprem tasarım sınıfı ve bina yüksekliğine bağlı olarak BYS=1 olan binalar için sınıflandırmalar yapılmıştır.

DTS= 1, 1a, 2, 2a için yüksekliği  $H_n > 70m$  olan binalar

DTS= 3, 3a için yüksekliği  $H_n > 91\text{m}$  olan binalar

DTS= 4, 4a için yüksekliği  $H_n > 105\text{m}$  olan binalar

BYS=1 olan binalarda TBDY-2018 Tablo 4.1’de verilen A12, A13, A14, A15, B12, B13 simgeleri ile gösterilen süneklik düzeyi yüksek betonarme sistemler kullanılabilir, sadece DTS=4 olan binalarda süneklik düzeyi karma betonarme sistemler de kullanılabilir. Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinde perde kalınlıkları minimum 300 mm olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinde B420C veya B500C kalitesinde nervürlü donatı çelikleri kullanılması zorunludur. Doğrusal hesap yöntemlerinden olan Eşdeğer deprem yöntemi ile deprem hesabı kullanılmayacaktır, Mod birleştirme veya Mod toplama yöntemleri kullanılacaktır.

#### **1.4.8. Yüksek Bina Taşıyıcı Sistem Eleman Davranış Özellikleri**

Yüksek bina taşıyıcı sistem elemanları deprem etkisinde doğrusal olmayan sünek davranış ve doğrusal davranış olmak üzere iki farklı davranış göstermektedirler, bu davranışlar TBDY-2018 Bölüm 13.3’te açıklanmıştır.

##### **1.4.8.1. Doğrusal Olmayan Sünek Elemanların Davranış Özellikleri**

Doğrusal olmayan sünek davranışa ait davranış özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Yapıda ki betonarme perdeler her iki doğrultuda eğilme ve eksenel kuvvet (PMM) etkisinde akma durumu göz önüne alınarak modellenecektir.
- Betonarme kirişlerin uç bölgeleri eğilme durumu için akma göz önüne alınarak modellenecektir.
- Yapıda ki betonarme kolonlar her iki doğrultuda eğilme ve eksenel kuvvet (PMM) etkisinde akma durumu göz önüne alınarak modellenecektir.

##### **1.4.8.2. Doğrusal Davranan Elemanların Davranış Özellikleri**

Doğrusal davranış gösteren taşıyıcı elemanların iç kuvvetler için yeterli dayanımı karşılayabilmesi gerekmektedir. Doğrusal davranış için özellikler aşağıda bahsedilmiştir.

- Bina taşıyıcı elemanları; perdeler, kolonlar ve kirişlerin kesme kuvvetlerine karşı yeterli dayanımı sağlamaları gereklidir.

- Sadece eksenel yüke maruz kalması düşünülen kolonların yeterli dayanımı sağlamaları gereklidir.
- Yapı döşeme ve temellerde meydana gelen iç kuvvetlerin güvenli bir şekilde taşınabilmesi gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen iç kuvvetler “kritik iç kuvvetler” olarak tanımlanacaktır.

#### 1.4.9. Yüksek Bina Tasarım Aşamaları

##### 1.4.9.1. Tasarım Aşaması I

Tasarım aşaması I, TBDY-2018 Bölüm 13.4’te bahsedilmiştir. Bu tasarım aşaması boyutlandırma amacıyla olarak yapılmaktadır. Buna aşamada, tasarım deprem yer hareketi etkisi olarak nitelendirilen DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında, TBDY-2018 Bölüm 4’te ve Bölüm 13’te verilen kurallara göre dayanıma göre tasarım yapılır, bu kısım yüksek bina için ön tasarım olarak nitelendirilecektir. Daha sonra TBDY-2018 Bölüm 7’ye ve TS500 göre elemanların boyutlandırılması ve donatılandırılması yapılacaktır. Hesap yöntemi olarak mod birleştirme yöntemi kullanılacaktır.

Deprem hesaplarında azaltılmış iç kuvvetlerin eşdeğer taban kesme kuvvetine göre büyütülmesi işlemi için minimum taban kesme kuvveti Denklem 1.14 yerine Denklem 1.37’e göre yapılacaktır. Deprem yükü eşitleme işlemi Denklem 1.17 ile yapılacaktır ancak  $\delta_E$  katsayısı 1.0 alınacaktır.

$$V_{t,min} = 0.04 a_H m_t S_{DS} g \quad (1.37)$$

Yukarıda ki formülde verilen  $a_H$  bina yüksekliğine bağlı olarak tanımlanan bir katsayıdır ve Denklem 1.38 ile hesaplanacaktır.

$$\begin{aligned} a_H &= 1.0 & H_N &\leq 105 \text{ m} \\ a_H &= 2.05 - 0.01H_N & 105 \text{ m} &\leq H_N \leq 155 \\ a_H &= 0.5 & 155 \text{ m} &\leq H_N \end{aligned} \quad (1.38)$$



### 1.4.9.2. Tasarım Aşaması II

Tasarım aşaması II, TBDY-2018 Bölüm 13.5’te açıklanmıştır. Bu aşamada ön tasarımı yapılmış bina elemanları, normal performans hedefi için DD-4 deprem yer hareketi altında kesintisiz kullanım (KK) performans hedefini, ileri performans hedefi için ise DD-3 deprem yer hareketi altında sınırlı hasar (SH) performans hedefini sağlamaları gerekmektedir. Yüksek binalar için performans hedefleri TBDY-2018 Tablo 1.7’de verilmiştir. Verilen tabloya göre Kesintisiz kullanım (KK) performans hedefi için değerlendirmede dayanıma göre tasarım, sınırlı hasar (SH) kullanım performans hedefi için değerlendirmede şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım ilkeleri uygulanacaktır. Her iki hesapta da elemanları Tablo 1.11’de verilen etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır, malzemelerin ortalama dayanımları kullanılacaktır. Tasarım aşaması II için hesap esasları:

- Normal performans hedefi için doğrusal hesaba dayalı model kullanılırken, ileri performans hedefi için doğrusal olmayan hesaba dayalı model kullanılacaktır.
- Ek dışmerkezlik etkileri gözönüne alınmayacaktır.
- Sönüm oranı %2.5 alınacaktır.
- Normal performans hedefi için DD-4 deprem düzeyi yer hareketi etkisi altında, modal hesap yöntemleri ile doğrusal hesap yapılırken, İleri performans hedefi için DD-3 deprem düzeyi yer hareketi etkisi altında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılacaktır.

Tablo 1.11. II. Aşama için etkin kesit rijitlikleri (TBDY, 2018).

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijliği Çarpanı	
Perde-Döşeme (Düzlem İçi)	Eksenel	Kayma
Perde	0.75	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	0.80
Perde-Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	1.00	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	1.00
Çubuk eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0.30	1.00
Çerçeve kirişi	0.70	1.00
Çerçeve kolonu	0.90	1.00
Perde (Eşdeğer çubuk)	0.80	1.00

- Normal performans hedefi için yapılan modal hesap yöntemlerinde aşağıdaki aşamalar uygulanacaktır.
  - a) İç kuvvetlerin hesabında  $R/I=1$  ve  $D=1$  alınacaktır.
  - b) I. Aşamadaki minimum taban kesme kuvveti şartı uygulanmayacaktır.
  - c) Doğrusal olmayan aşamada; %2.5 sönüm oranına karşı gelen tasarım spektral ivme değerlerinin elde edilmesi için, %5 sönüm oranı için verilen spektral ivme değerleri 1.25 katsayısı ile çarpılacaktır.
- İleri performans hedefi için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapta Rayleigh orantılı sönüm matrisi veya modal sönüm matrisi kullanılacaktır, sönüm oranı %2.5 alınacaktır.
- Yapıdaki sünek davranışa sahip taşıyıcı elemanlar değerlendirilirken, her bir deprem kaydından elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması alınacaktır.
- Yapıda sünek davranışa sahip olmayan taşıyıcı elemanlarda kritik iç kuvvetler değerlendirilirken, her bir deprem kaydından elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalamasının 1.4 katı alınacaktır.
- Yapıda sünek davranışa sahip olmayan taşıyıcı elemanlarda kritik olmayan iç kuvvetler değerlendirilirken, her bir deprem kaydından elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması alınacaktır.
- II. Aşama deprem hesabında normal performans hedefi için hesap yapılan binalarda performans değerlendirmesi aşağıda verildiği gibi yapılacaktır.
  - a) Sünek davranışa sahip elemanlarda talep-kapasite oranı 1.5 değerini aşmayacaktır, sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda talep-kapasite oranı 0.7 değerini aşmayacaktır.
- II. Aşama deprem hesabı ileri performans hedefi için hesap yapılan binalarda performans değerlendirmesi aşağıda verildiği gibi yapılacaktır.
  - a) Sünek davranışa sahip taşıyıcı elemanlarda hesaplanan şekildeğiştirme değerleri önceki bölümde verilen performans düzeyi için verilen sınır değerleri aşmayacaktır.
  - b) Sünek davranışa sahip olmayan taşıyıcı elemanlarda hesaplanan iç kuvvet değerleri, eleman kapasitelerinden daha küçük olacaktır.

### 1.4.9.3.Tasarım aşaması III

Tasarım aşaması III, TBDY-2018 Bölüm 13.6'da açıklanmıştır. Tasarım I ve Tasarım II'de belirlenen performans hedeflerini sağlayan binalarda, göz önüne alınan en büyük deprem olarak nitelendirilen DD-1 deprem yer hareketi altında normal performans hedefi olarak göçmenin önlenmesi veya ileri performans hedefi olarak kontrollü hasar performans hedefinin sınır değerlerini sağlaması gerekmektedir. Performans hedefleri TBDY-2018 Tablo 1.7'de verilmiştir. Bu tasarım aşamasında zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılacaktır, hesap sonucunda; sünek davranışlarda şekildeğiştirme değerleri, sünek olmayan davranışlarda iç kuvvet değerleri ve görel kat ötelemeleri kontrol edilecektir.

Modellemede yapılırken Denklem 1.34'de verilen yük birleşimleri kullanılacaktır. Yapıda A1 türü düzensizliğin bulunması ve burulma düzensizliği katsayısının 1.5'tan büyük olduğu durumlarda ek dışmerkezlik etkisi gözönüne alınmalıdır. Sönüm için; Rayleigh orantılı sönüm matrisi veya modal sönüm matrisi kullanılmalıdır. Sönüm oranı %2.5 olacaktır, tasarım aşaması III için hesap esasları aşağıda açıklanmıştır.

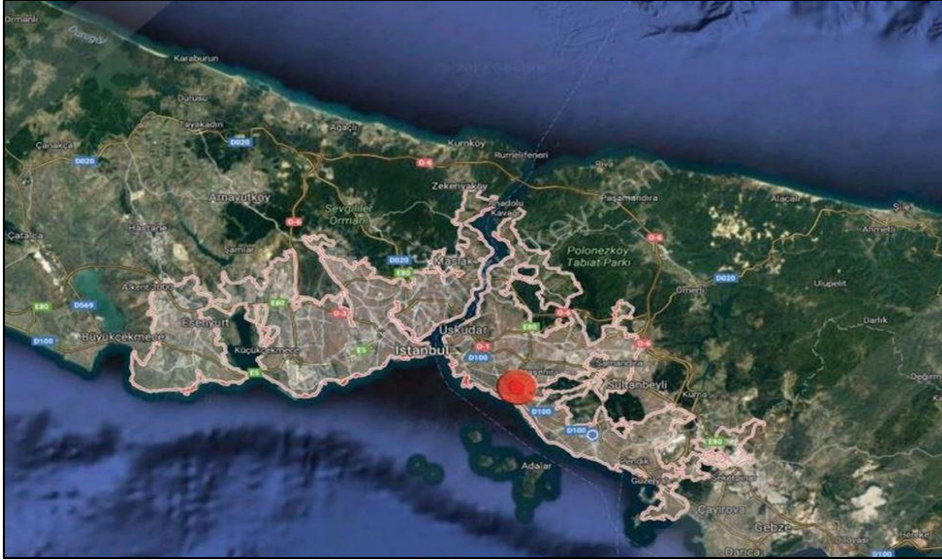
- Hesaplarda 11 deprem kaydı kullanılacaktır, her bir depremden elde edilen sonuçların mutlak değerlerinin en büyüklerinin ortalaması alınarak değerlendirmeye esas şekildeğiştirme talepleri elde edilecektir.
- Taşıyıcı elemanlarda kritik iç kuvvetler olarak tanımlanan iç kuvvetlerde, hesaplanan ortalama değerlere bir standart sapma eklenmesi ile değerlendirmeye esas iç kuvvet talepleri elde edilecektir. Standart sapmadan elde edilen değerler ortalamanın 1.2 katından az ve 1.5 katından fazla olmayacaktır. Kritik olmayan iç kuvvetlerde standart sapmayla artırım yapılmayacaktır.
- Normal performans hedefi için göçmenin önlenmesi performans hedefinin sağlanması gerekmektedir ve ileri performans hedefi için kontrollü hasar performans hedefinin sağlanması gerekmektedir.
- Binanın her bir katında göz önüne alınan deprem doğrultusunda, 11 deprem kaydından elde edilen görel kat ötelemeleri değerlerinin ortalaması 0.03'ü geçmeyecektir.
- Tek bir depremden elde edilen en büyük görel kat ötelemesi değeri ise 0.045'i geçmeyecektir.

#### **1.4.10. Tasarımın Sonuçlandırılması**

I. Aşama hesapları sonucunda belirlenen düşey taşıyıcı sistem elemanlarının (kolon, perde, temel) boyut ve donatıları III. Aşamada azaltılmayacaktır. Taşıyıcı elemanlarda azaltma yapılmak isteniyorsa, kesitler değiştirilerek her üç hesap aşaması da tekrarlanmalıdır. Diğer taşıyıcı sistem elemanlarında (kiriş, bağ kiriş vb.) azaltma yapılmak isteniyorsa yalnızca III. Aşamaya göre azaltma yapılabilir ve diğer aşamaların tekrarına gerek yoktur.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez kapsamında iki yüksek bina modeli tasarlanmıştır. Tasarlanacak model perde-çerçeve taşıyıcı sistem olarak tercih edilmiştir. İkinci model ise mevcut taşıyıcı sisteme dış destek kiriş eklenmiş olup, iki model içinde doğrusal ve doğrusal olmayan analizler yapıp sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tez kapsamında tasarlanan bina İstanbul ili Bostancı Mahallesi'nde düşünülmüştür. Binanın düşünüldüğü lokasyon Şekil 2.1'de verilmiştir. Binalar 2 Bodrum kat, 1 Zemin kat ve 26 Normal kattan oluşmaktadır. Yapı modeli için Bodrum katların etrafını çepeçevre 30 cm genişliğinde saran rijit perdeler kullanılmıştır, Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Normal katlar için uygulama kalıp planı Şekil 2.3'de verilmiştir. Dış destek kirişli model için kat uygulama planı Şekil 2.4'te verilmiştir. Dış destek kirişsiz modelin 3 boyutlu görüntüsü Şekil 2.5'te, dış destek kirişsiz model için XZ uygulama planı Şekil 2.6'da ve dış destek kirişli model için XZ uygulama planı Şekil 2.7'de verilmiştir. Her iki yapı modeli için kullanılan taşıyıcı eleman boyutları Tablo 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Tasarlanan model için düşünülen lokasyon (Bostancı/İstanbul)

## Bina Bilgileri

Kat adedi: 29

Kat yüksekliği: 4.00 m

Toplam bina yüksekliği,  $[H]$ : 116 m

Bina oturma alanı: 900 m<sup>2</sup>

Kullanım amacı = Konut

## Malzeme Bilgileri (TS 500'e göre)

Beton sınıfı : C50 ( $f_{ck}$ = 50 MPa)

Donatı çeligi : B420 ( $f_{yk}$ = 420 MPa)

Beton elastisite modülü,  $[E_c]$  : 37000 MPa

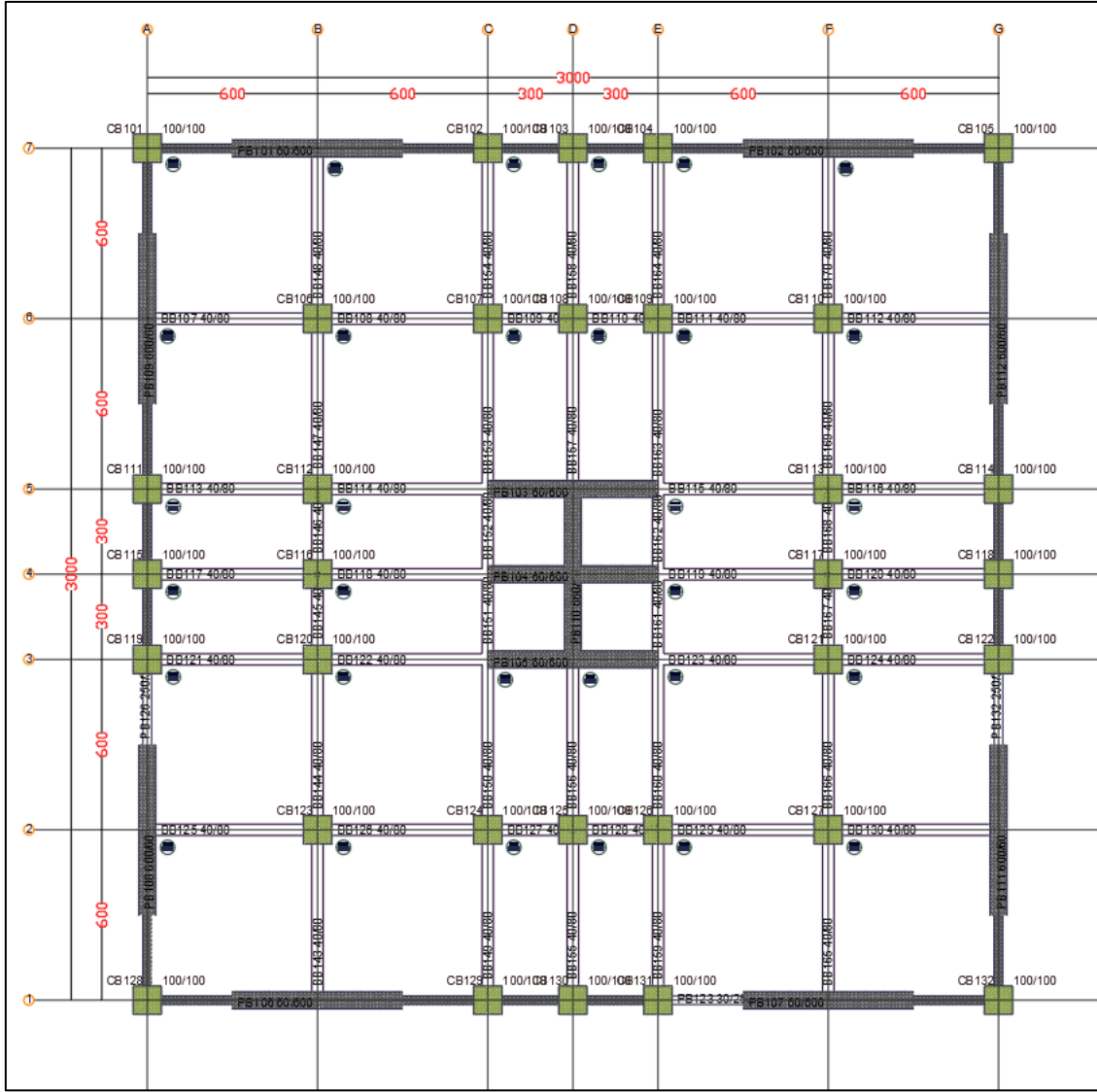
Donatı çeligi elastisite modülü,  $[E_s]$  : 200000 MPa

Beton Birim Hacim Ağırlığı :  $\gamma_{beton} = 25 \text{ kN/m}^3$

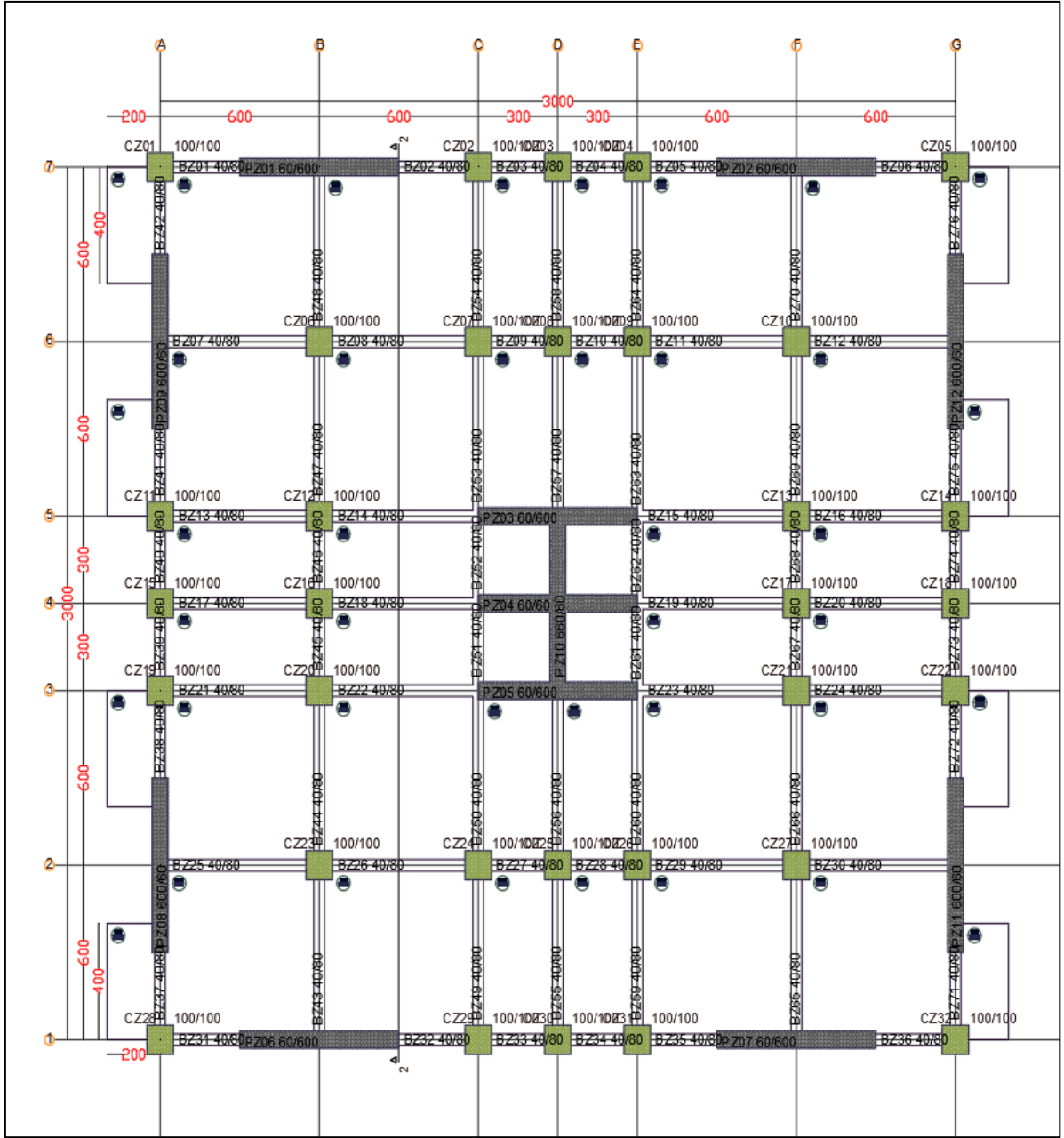
Poisson Oranı :  $\nu = 0.2$

Tablo 2.1. Tasarlanan iki model için Yapısal Eleman boyutları

Yapısal Elemanlar	Kesit Boyutları (mxm)	
	Dış Destek Kirişsiz Model	Dış Destek Kirişli Model
Bodrum Perdeleri	30.0X0.30 - 0.30X30.0	30.0X0.30 - 0.30X30.0
Diğer Taşıyıcı Perdeler	0.40X6.0 - 6.0X0.40 0.50X6.0 - 6.0X0.50 0.60X6.0 - 6.0X0.60	0.40X6.0 - 6.0X0.40 0.50X6.0 - 6.0X0.50 0.60X6.0 - 6.0X0.60
Kolonlar	1.0X1.0 - 0.90X0.90 0.80X0.80	1.0X1.0 - 0.90X0.90 0.80X0.80
Kirişler	0.40X0.80	0.40X0.80
Döşemeler	$h = 0.15$	$h = 0.15$
Outrigger alt/üst başlık çubukları	—	"I" Profil 0.25X0.25X0.25 ( $t = 0.03$ )
Outrigger diyagonal çubukları	—	Daire = 0.25 ( $t = 0.03$ )
Outrigger dikme çubukları	—	Kare 0.25X0.25 ( $t = 0.03$ )

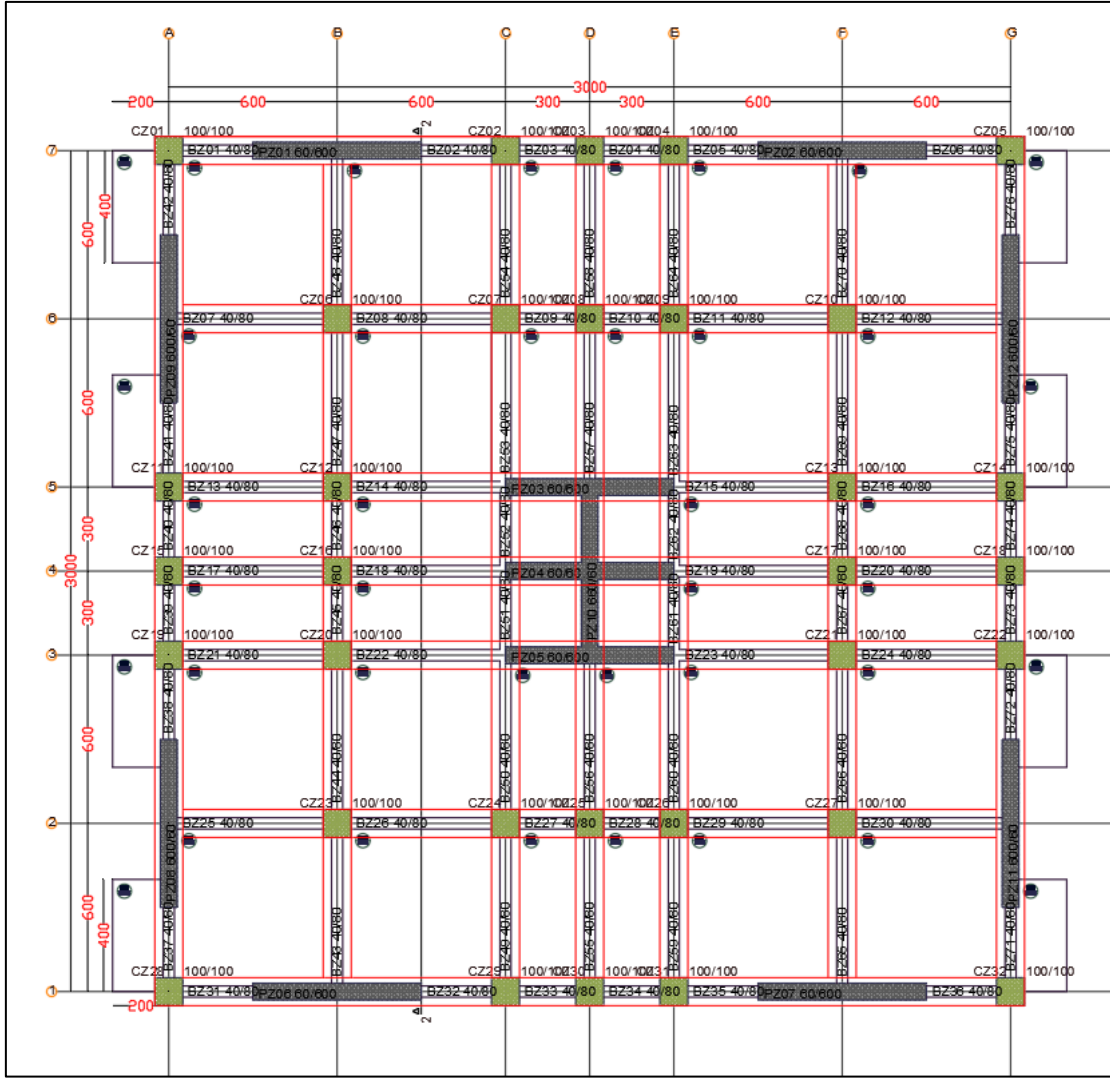


Şekil 2.2. Bodrum katlar kalıp planı (Birimler cm'dir.)

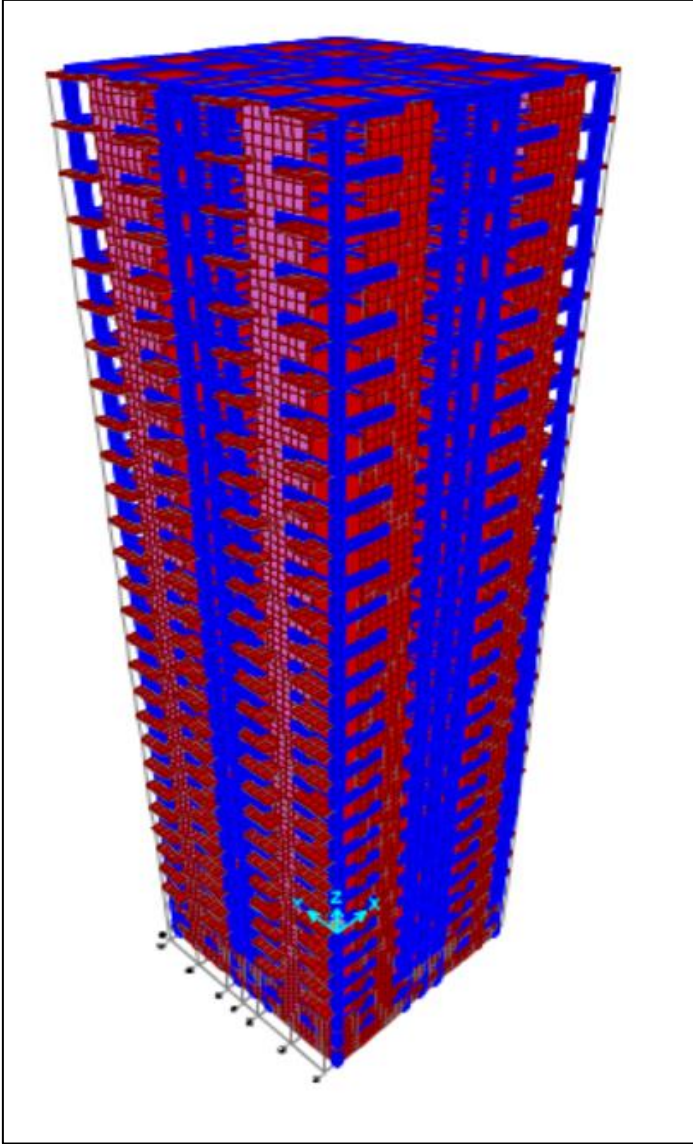


Şekil 2.3. Normal katlar kalıp planı (Birimler cm'dir.)

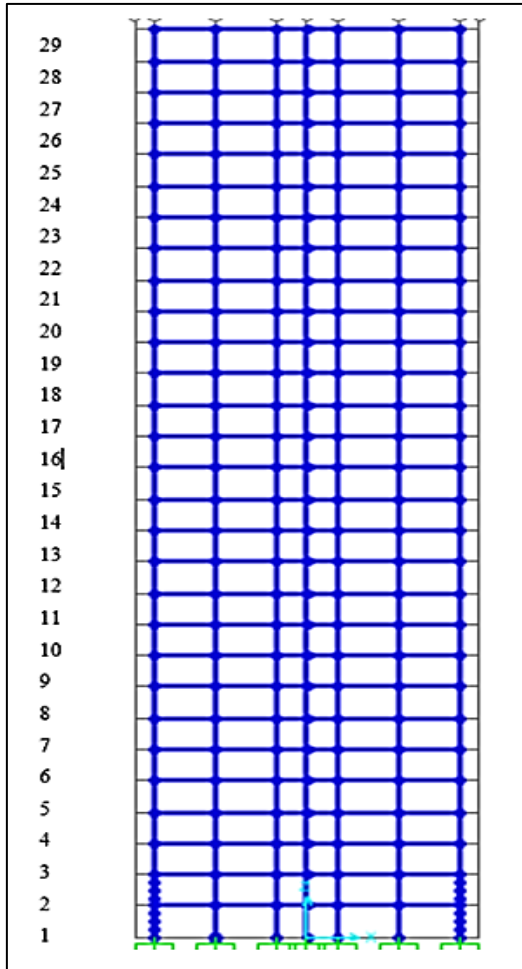


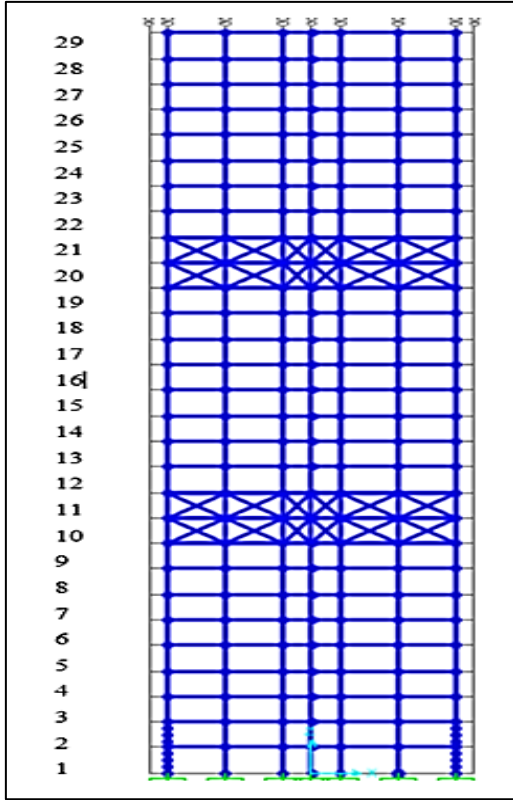


Şekil 2.4. Dış destek kirişli model için uygulama kalıp planı (Birimler cm'dir.)



Şekil 2.5. Dış destek kirişsiz model için 3D görüntüsü





Şekil 2.7. Dış destek kirişli model için XZ Eksenli uygulama planı

### Sabit Yükler

- Bodrum katlara; 15 cm Dökme asfalt düşünülerek  $3.4 \text{ kN/m}^2$ ,
- Normal Daire için sabit yük;  $2.01 \text{ kN/m}^2$ ,
- Çatı katı sabit yük için;  $1.58 \text{ kN/m}^2$ ,
- Kirişlere;  $4.6 \text{ kN/m}$  sabit yük uygulanmıştır.

### Hareketli yükler (TS 498)

- Çatı döşemesi  $1.5 \text{ kN/m}^2$ , Konut odalarında  $2.0 \text{ kN/m}^2$ , Konut koridorlarında  $2.0 \text{ kN/m}^2$ , Konut merdivenlerinde  $3.5 \text{ kN/m}^2$ , Konut merdiven sahanlıklarında  $3.5 \text{ kN/m}^2$ , Konut balkonlarında  $5.0 \text{ kN/m}^2$ , Garajlarda (2.5 t olan araçlara kadar)  $5.0 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır.

Tasarlanacak bina İstanbul ili Kadıköy ilçesi ve Bostancı Mahallesi'nde yer aldığı kabul edilmiştir. Deprem tasarım parametreleri, AFAD tarafından hazırlanan "<https://testtdth.afad.gov.tr/>" sitesinden alınmıştır. Yapının bulunduğu bölgede zemin

sınıfının ZC olduğu kabul edilmiştir. DD-2 deprem düzeylerine ait spektral ivme katsayıları ve yer ivmesi büyüklükleri Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



**AFAD**  
İÇİŞLERİ BAKANLIĞI  
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı



## Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

### Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	DEPREM BÖLGESİ TEZ		
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yılı) olan deprem yer hareketi düzeyi	
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	
Enlem:	40.953758°		
Boylam	29.09515°		

### Çıktılar

<b><math>S_S = 1.029</math></b>	<b><math>S_1 = 0.279</math></b>	<b><math>PGA = 0.423</math></b>	<b><math>PGV = 25.888</math></b>
---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	----------------------------------

$S_S$  : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]  
 $S_1$  : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]  
 $PGA$  : En büyük yer ivmesi [g]  
 $PGV$  : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 2.8. Deprem tasarım parametreleri

## 2.1. Doğrusal Analizlerin Gerçekleştirilmesi

### 2.1.1. Deprem tasarım spektrumunun belirlenmesi

AFAD’ın sitesinde deprem tehlike haritalarının bulunduğu [tdth.afad.gov.tr](http://tdth.afad.gov.tr) sayfasından alınan veriler doğrultusunda, DD-2 deprem düzeyi için tasarım spektral ivme katsayıları ve bunlara bağlı belirlenen köşe periyotları rapor halinde verilmektedir. Aşağıda rapor sonuçlarından elde edilen veriler aşağıda verilmiştir. Hazır elde edilen verilerin hesap denklemleri Bölüm 1.3’te verilmiştir.

$$S_S = 1.029$$

$$S_1 = 0.279$$

$$F_S = 1.20$$

$$F_1 = 1.50$$

$$S_{DS} = 1.235$$

$$S_{D1} = 0.419$$

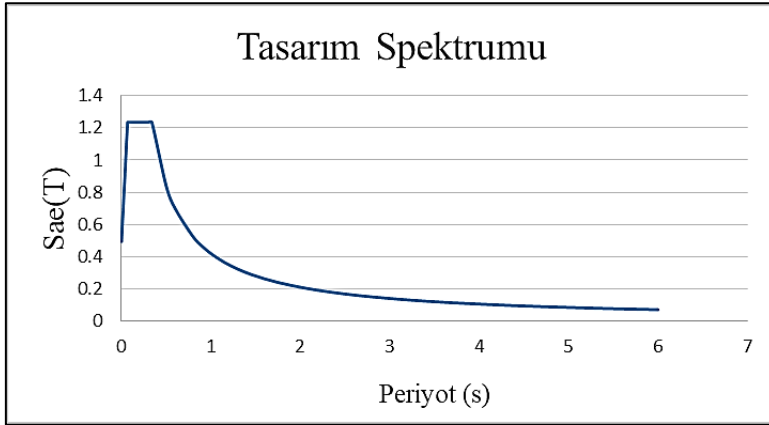
$$T_A = 0.068 \text{ s}$$

$$T_B = 0.339 \text{ s}$$

$$T_L = 6 \text{ s}$$

### 2.1.2. Bina Önem Katsayısı, Deprem Tasarım Sınıfı ve Bina Yükseklik Sınıfı

Tasarlanan binaların kullanım sınıfına göre tanımlanan bina önem katsayısı Tablo 1.4'e göre belirlenmiştir. Daha sonra yönetmelik baz alınarak kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve bina kullanım sınıfına bağlı olarak tanımlanan deprem tasarım sınıfı ve bina yükseklik sınıfı Tablo 1.5 ve Tablo 1.6'ya göre belirlenmiştir. Yönetmelikteki tablolardan elde edilen veriler Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. DD-2 Deprem düzeyi tasarım spektrumu

Bina kullanım amacı: Konut → BKS = 3, I = 1.0

$$DTS = 1$$

$$BYS = 1$$

### 2.1.3. Bina Performans Hedefi ve Tasarım Yaklaşımının Belirlenmesi

Yüksek binalar için ve bu tez çalışması için uyulacak performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları Tablo 1.7’de gösterilmiştir. Bu sebeple ilk aşamada DD-2 deprem düzeyi altında dayanıma göre tasarım yapılmıştır. Bu aşama yapı için ön tasarım olarak kabul edilecektir, ilk aşamada ön tasarımı yapılarak boyutları ve donatıları belirlenen bina, ikinci aşamada DD-1 deprem düzeyi altında şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yöntemiyle analiz edilmiştir.

### 2.1.4. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı

Süneklik düzeyi yüksek betonarme taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı

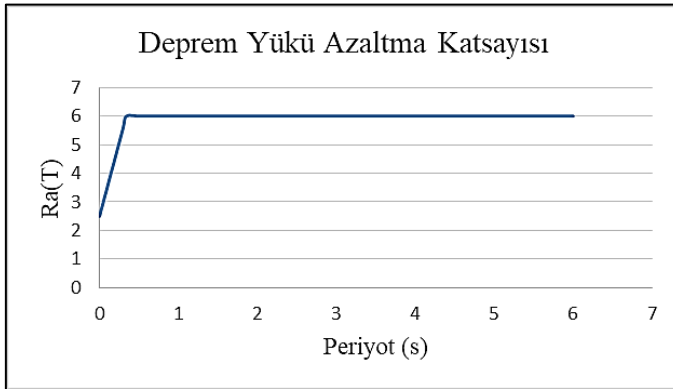
Tablo 1.8’de verilmiştir. Bina yükseklik sınıfı 1 ve DTS= 1, 1a, 2, 2a olan yerinde dökme betonarme binalarda, aşağıda verilen (a) ve (b)’de verilen şartları sağlaması halinde; A12, A13, A14 ve A15 simgeleri ile tanımlanan süneklik düzeyi yüksek sistemlere izin verilmektedir. İki şarttan birinin sağlamaması halinde ise taşıyıcı sistem davranış katsayısı R yerine  $(4/5)R$  göz önüne alınacaktır.

- a) Yapıda ki tek bir perdenin aldığı taban devrilme momenti  $M_{DEV}$ , o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momenti  $M_o$ ’ın  $1/3$ ’ünden fazla olmayacaktır. Örnek model için en büyük perdenin taban devrilme momenti  $M_{DEV} = 1258.98$  kNm ve toplam taban devrilme momenti  $M_o \rightarrow 9229.32 / 3 = 3076.44$  kNm’dir. Dolayısıyla toplam devrilme momentinin üçte birinden küçüktür.
- b) Binanın her bir kenar aksında yer alan perdelerin aldığı taban devrilme momenti  $M_{DEV}$ ’lerin toplamı, o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momenti  $M_o$ ’ın  $1/6$ ’sından az olmayacaktır. Kenar aksları için perdelerin toplam taban devrilme momentler  $M_{DEV} = 5367.12$  kNm ve toplam bina taban devrilme momenti  $M_o = 9229.32 / 6 \rightarrow 1538.22$  kNm’dir. Dolayısıyla dış aklardaki perdelerin devrilme momentleri toplamı toplam bina devrilme momentlerinin altıda birinden düşük değildir.

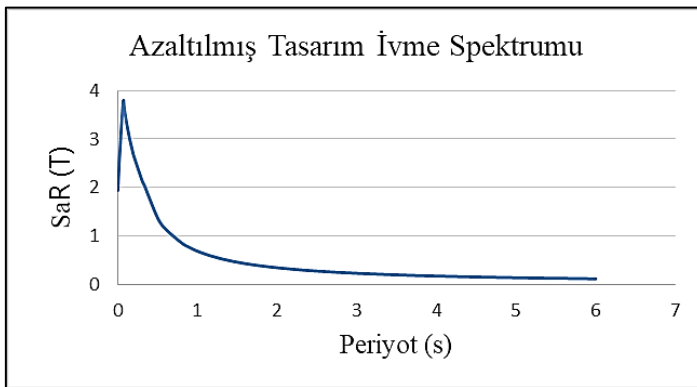
Yukarıdaki şartların tahkiki için Integrated Finite Element Analysis and Desing of Structures (Sap2000, 2020) programı yardımıyla momentler incelenmiş olup sağlandığı görülmüştür bu sebeple, deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafında birlikte karşılandığı sistemler için  $R=6$ ,  $D=2.5$  seçilmiştir.

### 2.1.5. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ve Azaltılmış Tasarım İvme Spektrumu

Tasarlanacak bina için deprem yükü azaltma katsayısı; taşıyıcı sistem davranış katsayısı, bina önem katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve periyoda bağlı olarak Denklem (3.9) ve Denklem (3.10) yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 2.10). Daha sonra tasarım spektrumu, deprem yükü azaltma katsayısına bölünerek ve yerçekimi ivme “g” ile çarpılarak azaltılmış tasarım ivme spektrumu ( $S_{aR}(T)$ ) elde edilmiştir (Şekil 2.11).



Şekil 2.10. Deprem yükü azaltma katsayısı



Şekil 2.11. Azaltılmış tasarım ivme spektrumu



### 2.1.6. Düşey Deprem Etkisi

Tasarımı yapılan binanın deprem tasarım sınıfı 1 olmasına karşın, Bölüm 1.3.4.5’de verilen tipte elemanlar içermediğinden dolayı düşey deprem hesabı için spektral analiz yapılmayacaktır. Bunun yerine Denklem 1.13 kullanarak hesaplanan katsayının 0.3 katı sabit yüke eklenerek veya çıkarılarak depremli birleşimlerde yer alacaktır.

$$E_d^{(Z)} = 2/3 \times 1.235 \times G \rightarrow 0.823G \text{ (Denklem 1.13)}$$

Elde edilen düşey deprem etkisi 0.823G, 0.3 ile çarpılarak 0.247G elde edilir. Elde edilen katsayı aşağıda verilen şekilde birleşimlerde kullanılacaktır.

$$1.247G + Q + E_d^{(Z)} \text{ (Denklem 1.11)}$$

$$0.753G + E_d^{(Z)} \text{ (Denklem 1.12)}$$

### 2.1.7. Etkin Kesit Rijitlikleri

TBDY-2018’e göre betonarme binalar için Bölüm 4’te etkin rijitlik çarpanları verilmiştir. Her iki model için doğrusal analizlerde kullanılan etkin rijitlikler yönetmeliğe bakılarak uygulanmıştır.

### 2.1.8. Doğrusal Hesap Yönteminin Seçilmesi

Doğrusal hesap yöntemleri ve hesap yönteminin seçilmesinden Bölüm 1.3.5’te bahsedilmiştir. Yönetmelikte ki koşullara göre yapının bina yükseklik sınıfının 1 olması sebebiyle mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır.

### 2.1.9. Eşdeğer Deprem Yüğü Kontrolü

Mod birleştirme yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti, eşdeğer deprem yüküyle elde edilen taban kesme kuvvetine Denklem 1.17 kullanılarak eşitlenmelidir. Ancak tasarlanan yapı yüksek bina sınıfına girdiğinden dolayı Denklem 1.14 yerine

Denklem 4.15 kullanılarak eşitleme işlemi yapılacaktır. Denklem 1.44'te yer alan  $a_H$  katsayısı, bina yüksekliği 105 m ile 155 m arasında olduğu için ilgili formülden 0.97 alınacaktır.

#### **2.1.10. Betonarme hesap**

Bina modeli için deprem ve kendi yükleri etkisinde betonarme perde, kolon ve kirişlerin boyut kontrolü ve donatı belirlenmesi yapılmıştır. Eğilme donatısı hesabı için Sap2000 programından alınan sonuçlar kullanılmıştır. Kesme donatısı hesabında ise Sap2000 programında alınan iç kuvvet değerleri okunarak, TS 500 ve TBDY-2018 kuralları çerçevesinde donatı hesabı yapılmıştır.

##### **2.1.10.1. Kolon Betonarme Hesabı**

Binalardaki kolonların betonarme hesabı TBDY-2018 Bölüm 7'de verilen kurallar ve yöntemler doğrultusunda yapılmıştır.

##### **Eksenel Kuvvet Kontrolü**

C100x100 kolonu için Tablo 2.2'de, C90X90 kolonu için Tablo 2.3'de, C80X80 kolonu için Tablo 2.4'te eksenel yük kontrolleri verilmiştir

Tablo 2.2. C100X100 Kolonu için eksenel yük kontrolü

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		f <sub>yk</sub> :420000		f <sub>ck</sub> :50000		1.4G+1.6Q < 0.6	G+Q+E < 0.4	
Kat Kotu	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	f <sub>ck</sub> *Ac	P (1,4G+1,6Q)	Oran (1,4G+1,6Q)	P (G+Q+E)	Oran (G+Q+E)	Kontrol
4.0	C1	C100/100	1.00	1.00	50000	9220	0.18	3935	0.08	✓
4.0	C2	C100/100	1.00	1.00	50000	8953	0.18	5756	0.12	✓
4.0	C3	C100/100	1.00	1.00	50000	8624	0.17	6075	0.12	✓
4.0	C4	C100/100	1.00	1.00	50000	8953	0.18	5756	0.12	✓
4.0	C5	C100/100	1.00	1.00	50000	9220	0.18	3935	0.08	✓
4.0	C6	C100/100	1.00	1.00	50000	17708	0.35	11811	0.24	✓
4.0	C7	C100/100	1.00	1.00	50000	16003	0.32	10168	0.20	✓
4.0	C8	C100/100	1.00	1.00	50000	15181	0.30	10664	0.21	✓
4.0	C9	C100/100	1.00	1.00	50000	16003	0.32	10168	0.20	✓
4.0	C10	C100/100	1.00	1.00	50000	17708	0.35	11811	0.24	✓
4.0	C11	C100/100	1.00	1.00	50000	9355	0.19	5649	0.11	✓
4.0	C12	C100/100	1.00	1.00	50000	16112	0.32	10744	0.21	✓
4.0	C13	C100/100	1.00	1.00	50000	16112	0.32	10744	0.21	✓
4.0	C14	C100/100	1.00	1.00	50000	9335	0.19	5649	0.11	✓
4.0	C15	C100/100	1.00	1.00	50000	8970	0.18	5430	0.11	✓
4.0	C16	C100/100	1.00	1.00	50000	15294	0.31	10182	0.20	✓
4.0	C17	C100/100	1.00	1.00	50000	15294	0.31	10182	0.20	✓
4.0	C18	C100/100	1.00	1.00	50000	8970	0.18	5430	0.11	✓
4.0	C19	C100/100	1.00	1.00	50000	9355	0.19	5649	0.11	✓
4.0	C20	C100/100	1.00	1.00	50000	16112	0.32	10744	0.21	✓
4.0	C21	C100/100	1.00	1.00	50000	16112	0.32	10744	0.21	✓
4.0	C22	C100/100	1.00	1.00	50000	9335	0.19	5649	0.11	✓
4.0	C23	C100/100	1.00	1.00	50000	17708	0.35	11811	0.24	✓
4.0	C24	C100/100	1.00	1.00	50000	16003	0.32	10168	0.20	✓
4.0	C25	C100/100	1.00	1.00	50000	15181	0.30	10664	0.21	✓
4.0	C26	C100/100	1.00	1.00	50000	16003	0.32	10168	0.20	✓
4.0	C27	C100/100	1.00	1.00	50000	17708	0.35	11811	0.24	✓
4.0	C28	C100/100	1.00	1.00	50000	9220	0.18	3935	0.08	✓
4.0	C29	C100/100	1.00	1.00	50000	8953	0.18	5756	0.12	✓
4.0	C30	C100/100	1.00	1.00	50000	8624	0.17	6075	0.12	✓
4.0	C31	C100/100	1.00	1.00	50000	8953	0.18	5756	0.12	✓

Tablo 2.3. C90X90 Kolonu eksenel yük kontrolü

Beton Sınıfı: C50			Donatı Sınıfı: B420C			fyk:420000	fck:50000	1.4G+1.6Q < 0.6	G+Q+E <	
0.4										
Kat Kotu	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	fck*Ac	P (1,4G+1,6Q)	Oran (1,4G+1,6Q)	P (G+Q+E)	Oran (G+Q+E)	Kontrol
44.0	C1	C90/90	0.90	0.90	40500	9740	0.24	4155	0.10	✓
44.0	C2	C90/90	0.90	0.90	40500	7970	0.20	5461	0.13	✓
44.0	C3	C90/90	0.90	0.90	40500	7879	0.19	5550	0.14	✓
44.0	C4	C90/90	0.90	0.90	40500	7970	0.20	5550	0.14	✓
44.0	C5	C90/90	0.90	0.90	40500	7940	0.20	4155	0.10	✓
44.0	C6	C90/90	0.90	0.90	40500	10419	0.26	6899	0.17	✓
44.0	C7	C90/90	0.90	0.90	40500	9760	0.24	6378	0.16	✓
44.0	C8	C90/90	0.90	0.90	40500	9608	0.24	6756	0.17	✓
44.0	C9	C90/90	0.90	0.90	40500	9760	0.24	6378	0.16	✓
44.0	C10	C90/90	0.90	0.90	40500	10419	0.26	6899	0.17	✓
44.0	C11	C90/90	0.90	0.90	40500	8342	0.21	4990	0.12	✓
44.0	C12	C90/90	0.90	0.90	40500	9846	0.24	6507	0.16	✓
44.0	C13	C90/90	0.90	0.90	40500	9846	0.24	6507	0.16	✓
44.0	C14	C90/90	0.90	0.90	40500	8342	0.21	4990	0.12	✓
44.0	C15	C90/90	0.90	0.90	40500	8205	0.20	4915	0.12	✓
44.0	C16	C90/90	0.90	0.90	40500	9697	0.24	6405	0.16	✓
44.0	C17	C90/90	0.90	0.90	40500	8205	0.20	4915	0.12	✓
44.0	C18	C90/90	0.90	0.90	40500	9697	0.24	6405	0.16	✓
44.0	C19	C90/90	0.90	0.90	40500	8342	0.21	4990	0.12	✓
44.0	C20	C90/90	0.90	0.90	40500	9846	0.24	6507	0.16	✓
44.0	C21	C90/90	0.90	0.90	40500	9846	0.24	6507	0.16	✓
44.0	C22	C90/90	0.90	0.90	40500	8342	0.21	4990	0.12	✓
44.0	C23	C90/90	0.90	0.90	40500	10419	0.26	6899	0.17	✓
44.0	C24	C90/90	0.90	0.90	40500	9760	0.24	6378	0.16	✓
44.0	C25	C90/90	0.90	0.90	40500	9608	0.24	6756	0.17	✓
44.0	C26	C90/90	0.90	0.90	40500	9760	0.24	6378	0.16	✓
44.0	C27	C90/90	0.90	0.90	40500	10419	0.26	6899	0.17	✓
44.0	C28	C90/90	0.90	0.90	40500	9740	0.24	4155	0.10	✓
44.0	C29	C90/90	0.90	0.90	40500	7970	0.20	5461	0.13	✓
44.0	C30	C90/90	0.90	0.90	40500	7879	0.19	5550	0.14	✓
44.0	C31	C90/90	0.90	0.90	40500	7970	0.20	5550	0.14	✓

Tablo 2.4. C80X80 Kolonu için eksenel yük kontrolü

Beton Sınıfı: C50			Donatı Sınıfı: B420C			f <sub>yk</sub> :420000	f <sub>ck</sub> :50000	1.4G+1.6Q < 0.6	G+Q+E < 0.4	
Kat Kotu	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	f <sub>ck</sub> *Ac	P (1,4G+1,6Q)	Oran (1,4G+1,6Q)	P (G+Q+E)	Oran (G+Q+E)	Kontrol
84.0	C1	C80/80	0.80	0.80	32000	3628	0.11	1986	0.06	✓
84.0	C2	C80/80	0.80	0.80	32000	3664	0.11	2360	0.07	✓
84.0	C3	C80/80	0.80	0.80	32000	3663	0.11	2579	0.08	✓
84.0	C4	C80/80	0.80	0.80	32000	3664	0.11	2360	0.07	✓
84.0	C5	C80/80	0.80	0.80	32000	3628	0.11	1986	0.06	✓
84.0	C6	C80/80	0.80	0.80	32000	4680	0.15	3085	0.10	✓
84.0	C7	C80/80	0.80	0.80	32000	4661	0.15	2884	0.09	✓
84.0	C8	C80/80	0.80	0.80	32000	4408	0.14	3098	0.10	✓
84.0	C9	C80/80	0.80	0.80	32000	4461	0.14	2884	0.09	✓
84.0	C10	C80/80	0.80	0.80	32000	4680	0.15	3085	0.10	✓
84.0	C11	C80/80	0.80	0.80	32000	3824	0.12	2333	0.07	✓
84.0	C12	C80/80	0.80	0.80	32000	4505	0.14	2983	0.09	✓
84.0	C13	C80/80	0.80	0.80	32000	4505	0.14	2983	0.09	✓
84.0	C14	C80/80	0.80	0.80	32000	3824	0.12	2333	0.07	✓
84.0	C15	C80/80	0.80	0.80	32000	3815	0.12	2085	0.07	✓
84.0	C16	C80/80	0.80	0.80	32000	4454	0.14	2950	0.09	✓
84.0	C17	C80/80	0.80	0.80	32000	4454	0.14	2950	0.09	✓
84.0	C18	C80/80	0.80	0.80	32000	3815	0.12	2085	0.07	✓
84.0	C19	C80/80	0.80	0.80	32000	3824	0.12	2333	0.07	✓
84.0	C20	C80/80	0.80	0.80	32000	4505	0.14	2983	0.09	✓
84.0	C21	C80/80	0.80	0.80	32000	4505	0.14	2983	0.09	✓
84.0	C22	C80/80	0.80	0.80	32000	3824	0.12	2333	0.07	✓
84.0	C23	C80/80	0.80	0.80	32000	4680	0.15	3085	0.10	✓
84.0	C24	C80/80	0.80	0.80	32000	4661	0.15	2884	0.09	✓
84.0	C25	C80/80	0.80	0.80	32000	4408	0.14	3098	0.10	✓
84.0	C26	C80/80	0.80	0.80	32000	4461	0.14	2884	0.09	✓
84.0	C27	C80/80	0.80	0.80	32000	4680	0.15	3085	0.10	✓
84.0	C28	C80/80	0.80	0.80	32000	3628	0.11	1986	0.06	✓
84.0	C29	C80/80	0.80	0.80	32000	3664	0.11	2360	0.07	✓
84.0	C30	C80/80	0.80	0.80	32000	3663	0.11	2579	0.08	✓
84.0	C31	C80/80	0.80	0.80	32000	3664	0.11	2360	0.07	✓
84.0	C32	C80/80	0.80	0.80	32000	3628	0.11	1986	0.06	✓

Bu kontrol kapsamında kolon eksenel yüklerinin; depremli yük birleşimleri altında  $0.40A_c f_{ck}$ ,  $1,4G+1,6Q$  birleşimleri altında  $0.60A_c f_{ck}$  değerini aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir. Tablolardan görüleceği üzere tüm elemanlar gerekli şartları sağlamaktadır.

### Eğilme Donatısı Hesabı

Kolonlar için gereken eğilme donatısı oranları Sap2000 programından alınmıştır. Bütün kolonlarda eğilme donatısı ihtiyacının, minimum donatı olan %1 olduğu görülmüştür,  $\pm 0.0$  kotu için seçilen boyuna donatılar Tablo 2.5’de, +44.0 kotu için seçilen boyuna donatılar Tablo 2.6’da, +84.0 kotu için seçilen boyuna donatılar Tablo 2.7’de gösterilmiştir.

Tablo 2.5. C100X100 Kolonu için eğilme donatı kontrolü

Beton Sınıfı: C50				Donatı Sınıfı: B420C		f <sub>yk</sub> :420000		f <sub>ck</sub> :50000		
Kat Kotu	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	Donatı sayısı	Donatı Çapı (mm)	Seçilen Donatı Alanı (mxm)	Seçilen Donatı Oranı (%)	Gereken Donatı Oranı (%)	Kontrol
4.0	C1	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C2	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C3	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C4	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C5	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C6	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C7	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C8	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C9	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C10	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C11	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C12	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C13	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C14	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C15	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C16	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C17	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C18	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C19	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C20	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C21	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C22	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C23	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C24	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C25	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C26	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C27	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C28	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C29	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C30	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C31	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓
4.0	C32	C100/100	1.00	1.00	30	22	0.0114	1.14	1.0~4.0	✓

Tablo 2.6. C90X90 Kolonu için eğilme donatı kontrolü

Beton Sınıfı: C50			Donatı Sınıfı: B420C			fyk:420000		fck:50000		
Kat Kotu	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	Donatı sayısı	Donatı Çapı (mm)	Seçilen Donatı Alanı (mxm)	Seçilen Donatı Oranı (%)	Gereken Donatı Oranı (%)	Kontrol
44.0	C1	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.0084	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C2	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.0084	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C3	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C4	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C5	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C6	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C7	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C8	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C9	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C10	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C11	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C12	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C13	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C14	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C15	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C16	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C17	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C18	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C19	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C20	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C21	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C22	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C23	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C24	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C25	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C26	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C27	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C28	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C29	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C30	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C31	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√
44.0	C32	C90/90	0.90	0.90	22	22	0.011	1.03	1.0~4.0	√

Tablo 2.7. C80X80 Kolonu için eğilme donatı kontrolü

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		fyk:420000		fck:50000				
Kat Kotu	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	Donatı sayısı	Donatı Çapı (mm)	Seçilen Donatı Alanı (mm <sup>2</sup> )	Seçilen Donatı Oranı (%)	Gereken Donatı Oranı (%)	Kontrol
84.0	C1	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0068	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C2	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C3	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C4	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C5	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C6	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C7	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C8	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C9	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C10	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C11	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C12	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C13	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C14	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C15	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C16	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C17	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C18	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C19	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C20	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C21	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C22	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C23	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C24	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C25	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C26	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C27	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C28	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C29	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C30	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C31	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓
84.0	C32	C80/80	0.80	0.80	18	22	0.0084	1.07	1.0~4.0	✓

### Kolon Kesme Donatısı Hesabı

Kolon kesme donatısı hesabı için TBDY-2018’de verilen minimum donatı oranına göre kolon enine donatıları seçilmiştir. Sonrasında dayanım fazlalığı katsayısı kullanılarak arttırılmış deprem kuvvetleri ve düşey yükleri altında, kolonlarda oluşan maksimum kesme kuvvetlerine göre kolonların enine donatıları kontrol edilmiştir. +4,0 Kotu kolonları için seçilen enine donatılar Tablo 2.8’de gösterilmiştir. Diğer kolonlarda da aynı donatı kullanılmıştır.



Tablo 2.8. Kolonlar için kesme donatısı kontrolü

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		fyk: 420000		fck:50000		Paspayı: 4.0 cm	
Kolon Bilgileri						Enine Donatı B/H Kenarı			
Kat Kotu	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	Normal Kuvvet Oranı	Kol Sayısı	Donatı çapı (mm)	Donatı aralığı (cm)	
4.0	C1	C100/100	1.00	1.00	0.18	26	12	10	
4.0	C2	C100/100	1.00	1.00	0.18	26	12	10	
4.0	C3	C100/100	1.00	1.00	0.17	26	12	10	
4.0	C4	C100/100	1.00	1.00	0.17	26	12	10	
4.0	C5	C100/100	1.00	1.00	0.16	26	12	10	
4.0	C6	C100/100	1.00	1.00	0.16	26	12	10	
4.0	C7	C100/100	1.00	1.00	0.15	26	12	10	
4.0	C8	C100/100	1.00	1.00	0.15	26	12	10	
4.0	C9	C100/100	1.00	1.00	0.14	26	12	10	
4.0	C10	C100/100	1.00	1.00	0.14	26	12	10	
4.0	C11	C100/100	1.00	1.00	0.13	26	12	10	
4.0	C12	C100/100	1.00	1.00	0.13	26	12	10	
4.0	C13	C100/100	1.00	1.00	0.12	26	12	10	
4.0	C14	C100/100	1.00	1.00	0.11	26	12	10	
4.0	C15	C100/100	1.00	1.00	0.11	26	12	10	
4.0	C16	C100/100	1.00	1.00	0.10	26	12	10	
4.0	C17	C100/100	1.00	1.00	0.10	26	12	10	
4.0	C18	C100/100	1.00	1.00	0.09	26	12	10	
4.0	C19	C100/100	1.00	1.00	0.09	26	12	10	
4.0	C20	C100/100	1.00	1.00	0.08	26	12	10	
4.0	C21	C100/100	1.00	1.00	0.08	26	12	10	
4.0	C22	C100/100	1.00	1.00	0.07	26	12	10	
4.0	C23	C100/100	1.00	1.00	0.07	26	12	10	
4.0	C24	C100/100	1.00	1.00	0.06	26	12	10	
4.0	C25	C100/100	1.00	1.00	0.06	26	12	10	
4.0	C26	C100/100	1.00	1.00	0.05	26	12	10	
4.0	C27	C100/100	1.00	1.00	0.05	26	12	10	
4.0	C28	C100/100	1.00	1.00	0.04	26	12	10	
4.0	C29	C100/100	1.00	1.00	0.03	26	12	10	
4.0	C30	C100/100	1.00	1.00	0.03	26	12	10	
4.0	C31	C100/100	1.00	1.00	0.02	26	12	10	
4.0	C32	C100/100	1.00	1.00	0.02	26	12	10	

#### 2.1.10.2. Kiriş Betonarme Hesabı

Kirişlerin yükler altında betonarme hesabı TBDY-2018 Bölüm 7’de verilen kurallar doğrultusunda yapılmıştır.

Seçilen eğilme donatıları aşağıda özetlenmiştir.

(B40/80) Kirişler için: Üst 3Ø20, Alt 5Ø20, Üst ilave 3Ø20

Tüm kirişler için: 2x2Ø12 gövde donatısı kullanılmıştır.

Yapı modellerinde kesme donatısı olarak; 2Ø10/10 kullanılmıştır. TBDY-2018’de her  $b_w > 0.35$  m olan büyüklükler için +1 etriye kullanılması şart koyulmuştur. Seçilen kesme donatısı yönetmeliğe uygun seçilmiştir. Kirişler için kesme donatı ayrıntıları Tablo 2.9’da verilmiştir.

Tablo 2.9. Kirişler için kesme donatısı kontrolü

Beton Sınıfı: C50			Donatı Sınıfı: B420C			fyk: 420000		fck:50000		Paspayı: 4.0 cm				
Kat Yüksekliği (m)	Kiriş	Kesit	Genişlik (m)	Yükseklik (m)	Kol Adeti	Etriye Çapı (mm)	Etriye Aralığı (cm)	Vw	Vc	Vr	Vd	Vd/Vr (%)	Vmax	Kontrol
4.0	B1	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	285	66.0	1923	✓
4.0	B2	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	318	73.6	1923	✓
4.0	B3	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	355	82.2	1923	✓
4.0	B4	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	355	82.2	1923	✓
4.0	B5	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	318	73.6	1923	✓
4.0	B6	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	285	66.0	1923	✓
4.0	B7	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	116	26.9	1923	✓
4.0	B8	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	74	17.1	1923	✓
4.0	B9	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	61	14.1	1923	✓
4.0	B10	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	61	14.1	1923	✓
4.0	B11	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	74	17.1	1923	✓
4.0	B12	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	116	26.9	1923	✓
4.0	B13	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	120	27.8	1923	✓
4.0	B14	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	55	12.7	1923	✓
4.0	B15	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	30	6.9	1923	✓
4.0	B16	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	30	6.9	1923	✓
4.0	B17	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	55	12.7	1923	✓
4.0	B18	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	120	27.8	1923	✓
4.0	B19	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	68	15.7	1923	✓
4.0	B20	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	55	12.7	1923	✓
4.0	B21	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	12	2.8	1923	✓
4.0	B22	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	12	2.8	1923	✓
4.0	B23	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	55	12.7	1923	✓
4.0	B24	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	68	15.7	1923	✓
4.0	B25	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	125	28.9	1923	✓
4.0	B26	B40/80	0.40	0.80	4	10	10	432	0	432	75	17.4	1923	✓
4.0	B27	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	72	16.7	1923	✓
4.0	B28	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	72	16.7	1923	✓
4.0	B29	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	75	17.4	1923	✓
4.0	B30	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	125	28.9	1923	✓
4.0	B31	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	116	26.9	1923	✓
4.0	B32	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	74	17.1	1923	✓
4.0	B33	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	61	14.1	1923	✓
4.0	B34	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	61	14.1	1923	✓
4.0	B35	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	74	17.1	1923	✓
4.0	B36	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	116	26.9	1923	✓
4.0	B37	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	285	66.0	1923	✓
4.0	B38	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	318	73.6	1923	✓
4.0	B39	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	355	82.2	1923	✓
4.0	B40	B40/80	0.40	0.00	4	10	10	432	0	432	355	82.2	1923	✓

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere maksimum kesme kuvveti B3 kirişinde görülmektedir. B3 kirişine göre kesme donatı kontrolü yapılmıştır.

B3 Kiriş kesme kuvveti: 355 kN

Kiriş Boyutları: 40/80

Seçilen enine donatı boyutları: 2Ø10/10

$$V_{\max} = 0.85 \times 400 \times 800 \times \sqrt{50} / 1000 = 1923 \text{ kN}$$

$$V_c = 0 \text{ (Betonun kesme dayanımına etkisi ihmal edildi)}$$

$$V_w = (2 \times 78) / 100 \times 365 \times 760 / 1000 = 432.7 \text{ kN}$$

B3 Kirişinin kesme dayanımı 432.7 kN olarak hesaplanmıştır. Gerekli kesme dayanımını sağladığı görülmüştür. B3 kirişi bodrum kat perdelerinin bittiği katta olup dış aksta ki perdelerin olduğu kısımlardadır. Bu sebeple rijit perdelerin sonlandığı bölgelere dikkat edilmelidir.

#### **2.1.10.3.Perde Betonarme Hesabı**

Perdelerin betonarme hesabı TBDY-2018 Bölüm 7’de verilen kurallar doğrultusunda yapılmıştır.

#### **Enkesit Koşulları**

Süneklik düzeyi yüksek perdelerde minimum perde kalınlığı 250 mm’dir. Ancak tasarlanan yapı yüksek bina yüksek sınıfına girdiğinden dolayı verilen kurallar neticesinde minimum perde kalınlığı 300 mm alınacaktır.

Perde elemanlarında, düşey ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında oluşan en büyük eksenel basınç kuvveti  $0.35A_{cfck}$  değerini aşmamalıdır. Perdeler için Tablo 2.10’da, eksenel kuvvet kontrolü verilmiştir.

Yönetmeliğe göre perde taşıyıcı elemanlarının kalınlığı, perde serbest yüksekliğinin 1/16’sından az olmamalıdır. Perde serbest yükseklikleri 320 cm olduğundan, minimum perde kalınlığı bu yöntemde 20 cm olarak bulunmaktadır. Perde elemanlarının plandaki uzunluğu, gövde genişliğinin 30 katından fazla olmamalıdır, bu nedenle plandaki boyu en fazla olan perdenin boyu 600 cm’dir. Bu kurala göre minimum perde kalınlığı 20 cm olacak şekilde tasarlanmalıdır, yalnız yüksek binalarda minimum perde kalınlığı 30 cm

olacak şekilde kısıtlanmıştır. Tasarlanan yüksek binalarda tüm perde elemanların kalınlıkları bu şartlara uyacak şekilde seçilmiştir.

Tablo 2.10. Perdeler için eksenel kuvvet kontrolü

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		f <sub>yk</sub> :420000	f <sub>ck</sub> :50000	1.4G+1.6Q < 0.35	G+Q+E < 0.35		
Kat Yüksekliği (m)	Perde Adı	Lw (m)	Bw (m)	f <sub>ck</sub> *Ac	P (1,4G+1,6Q)	Oran (1,4G+1,6Q)	P (G+Q+E)	Oran (G+Q+E)	Kontrol
4.0	P1	6.00	0.60	180000	29286	0.16	22800	0.13	✓
4.0	P2	6.00	0.60	180000	29406	0.16	22880	0.13	✓
4.0	P3	6.00	0.60	180000	30474	0.17	27582	0.15	✓
4.0	P4	6.00	0.60	180000	30132	0.17	21240	0.12	✓
4.0	P5	6.00	0.60	180000	30474	0.17	27582	0.15	✓
4.0	P6	6.00	0.60	180000	29718	0.17	22800	0.13	✓
4.0	P7	6.00	0.60	180000	29406	0.16	22880	0.13	✓
4.0	P8	6.00	0.60	180000	31044	0.17	24906	0.14	✓
4.0	P9	6.00	0.60	180000	31728	0.18	24986	0.14	✓
4.0	P10	6.00	0.60	180000	30330	0.17	21300	0.12	✓
4.0	P11	6.00	0.60	180000	31518	0.18	24906	0.14	✓
4.0	P12	6.00	0.60	180000	31728	0.18	24986	0.14	✓
44.0	P1	6.00	0.50	150000	20286	0.14	15800	0.11	✓
44.0	P2	6.00	0.50	150000	20406	0.14	15880	0.11	✓
44.0	P3	6.00	0.50	150000	22474	0.15	17582	0.12	✓
44.0	P4	6.00	0.50	150000	22132	0.15	15240	0.10	✓
44.0	P5	6.00	0.50	150000	22474	0.15	17582	0.12	✓
44.0	P6	6.00	0.50	150000	24718	0.16	15800	0.11	✓
44.0	P7	6.00	0.50	150000	24406	0.16	15880	0.11	✓
44.0	P8	6.00	0.50	150000	22044	0.15	17906	0.12	✓
44.0	P9	6.00	0.50	150000	22728	0.15	17986	0.12	✓
44.0	P10	6.00	0.50	150000	22330	0.15	15300	0.10	✓
44.0	P11	6.00	0.50	150000	21518	0.14	17906	0.12	✓
44.0	P12	6.00	0.50	150000	21728	0.14	17986	0.12	✓
84.0	P1	6.00	0.40	120000	15286	0.13	11800	0.10	✓
84.0	P2	6.00	0.40	120000	15406	0.13	11880	0.10	✓
84.0	P3	6.00	0.40	120000	14474	0.12	14582	0.12	✓
84.0	P4	6.00	0.40	120000	15132	0.13	10240	0.09	✓
84.0	P5	6.00	0.40	120000	15474	0.13	14582	0.12	✓
84.0	P6	6.00	0.40	120000	18718	0.16	11800	0.10	✓
84.0	P7	6.00	0.40	120000	18706	0.16	11880	0.10	✓
84.0	P8	6.00	0.40	120000	15044	0.13	14906	0.12	✓
84.0	P9	6.00	0.40	120000	15728	0.13	10986	0.09	✓
84.0	P10	6.00	0.40	120000	14330	0.12	14300	0.12	✓
84.0	P11	6.00	0.40	120000	15518	0.13	11906	0.10	✓
84.0	P12	6.00	0.40	120000	15728	0.13	11986	0.10	✓

## Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği

Yapıdaki tüm perdelerin, yüksekliğinin plandaki boylarına oranı 2'den büyük ve kesit kalınlığı küçülmediğinden dolayı tamamında perde uç bölgeleri oluşturulacaktır. Perdelerin uç bölgesi uzunluğu yönetmelikte verilen şartları sağlayacak şekilde seçilecektir. Kritik perde yükseklikleri, toplam yapı yüksekliği ve perde boyutlarına göre belirlenmektedir. Toplam yapı yüksekliği 116.0 m'dir, ancak bodrum katlarında binayı çevreleyen rijit perdeler olduğundan bodrum katlar hariç yapı yüksekliği 108.0 m'dir. Buna göre kritik perde yüksekliği  $108 / 6 = 18.0$  m olmalıdır. Kritik perde yüksekliği ayrıca perdelerin plandaki uzunluklarından da fazla olmalıdır, plandaki en uzun perdenin boyu ise 8.0 m'dir. Ek olarak kritik perde yüksekliği perdelerin plandaki uzunluklarının 2 katından fazla olmasına gerek yoktur. Plandaki en uzun perdenin boyu 6.0 m olduğundan kritik perde yüksekliğinin 16.0 m'den fazla olmasına gerek yoktur. Zeminden itibaren ilk 5 (20.0 m) kat seçilmiştir, iki katta bodrum olduğu için bodrum katlara ek 5 kat kritik perde yüksekliği devam edecektir (28.0 m).

## Boyuna Donatıların Belirlenmesi

P1 perdesinde kritik katlar için boyuna donatıların belirlenmesi ve gerekli kontroller aşağıda gösterilmiştir.

- P1 Perdesinin boyutları 600/60

Uç bölgesi uzunluğu: 1200 mm

Uç bölgesi minimum donatı alanı:  $0.002 \times 6000 \times 600 = 7200 \text{ mm}^2$

Seçilen donatı: 24Ø20 (7540  $\text{mm}^2$ )

Minimum gövde donatı alanı:  $0.0025 \times 3600 \times 600 = 5400 \text{ mm}^2$

Seçilen gövde donatısı: Ø12/15 (2x24 adet, 5429  $\text{mm}^2$ )

- P1 Perdesinin boyutları 600/50

Uç bölgesi uzunluğu: 1200 mm

Uç bölgesi minimum donatı alanı:  $0.002 \times 6000 \times 500 = 6000 \text{ mm}^2$

Seçilen donatı: 20Ø20 (6283  $\text{mm}^2$ )

Minimum gövde donatı alanı:  $0.0025 \times 3600 \times 500 = 4500 \text{ mm}^2$

Seçilen gövde donatısı: Ø12/15 (2x20 adet, 4524 mm<sup>2</sup>)

➤ P1 Perdesinin boyutları 600/40

Uç bölgesi uzunluğu: 1200 mm

Uç bölgesi minimum donatı alanı: 0.002x6000x400 = 4800 mm<sup>2</sup>

Seçilen donatı: 16Ø20 (5026 mm<sup>2</sup>)

Minimum gövde donatı alanı: 0.0025x3600x400 = 3600 mm<sup>2</sup>

Seçilen gövde donatısı: Ø12/15 (2x16 adet, 3619 mm<sup>2</sup>)

### **Uç Bölgesi Enine Donatılarının Belirlenmesi**

Kritik kat yüksekliği boyunca perde uç bölgesi enine donatıları Denklem 3.29'a göre belirlenecektir.

➤ P1 (600/60) Perdesi uç bölgesi için enine donatı hesabı:

$$A_{sh}: \frac{2}{3} \times 0.075 \times 100 \times 1125 \times 50 / 420 = 670 \text{ mm}^2 \text{ (Uzun doğrultu)}$$

Seçilen donatı: 10Ø10 (785 mm<sup>2</sup>)

$$A_{sh}: \frac{2}{3} \times 0.075 \times 100 \times 525 \times 50 / 420 = 312.5 \text{ mm}^2 \text{ (Kısa doğrultu)}$$

Seçilen donatı: 4Ø10 (314 mm<sup>2</sup>)

➤ P2 (600/50) Perdesi uç bölgesi için enine donatı hesabı:

$$A_{sh}: \frac{2}{3} \times 0.075 \times 100 \times 1125 \times 50 / 420 = 670 \text{ mm}^2 \text{ (Uzun doğrultu)}$$

Seçilen donatı: 10Ø10 (785 mm<sup>2</sup>)

$$A_{sh}: \frac{2}{3} \times 0.075 \times 100 \times 425 \times 50 / 420 = 253 \text{ mm}^2 \text{ (Kısa doğrultu)}$$

Seçilen donatı: 4Ø10 (314 mm<sup>2</sup>)

➤ P3 (600/40) Perdesi uç bölgesi için enine donatı hesabı:

$$A_{sh}: \frac{2}{3} \times 0.075 \times 100 \times 1125 \times 50 / 420 = 670 \text{ mm}^2 \text{ (Uzun doğrultu)}$$

Seçilen donatı: 10Ø10 (785 mm<sup>2</sup>)

$$A_{sh}: \frac{2}{3} \times 0.075 \times 100 \times 325 \times 50 / 420 = 193.5 \text{ mm}^2 \text{ (Kısa doğrultu)}$$

Seçilen donatı: 3Ø10 (235 mm<sup>2</sup>)

➤ Perde enine donatılarının sağlaması gereken koşullar:

- a) Kullanılacak enine donatı minimum Ø8 olmalıdır.
- b) Boylamasına dizilen donatılar arası yatay mesafe çapının 10 katından fazla olmamalıdır.
- c) Düşey doğrultuda enine donatı aralığı boyuna donatı çapının 6 katından ve perde kalınlığının 1/3'ünden fazla olmayacaktır.
- d) Kritik kat yüksekliğinden sonra düşey doğrultuda enine donatılar arası mesafe 200 mm'den fazla olmayacaktır.

Yukarıdaki şartlar göz önüne alınarak gövde enine donatısı apı Ø10 ve donatılar arası mesafe 100 mm olarak seçilmiştir.

## **2.2. Doğrusal Olmayan Analizlerin Gerçekleştirilmesi**

TBDY-2018'e göre doğrusal olmayan analizler Sap2000 ve Sectional Analysis Program (Response2000, 2000) programları yardımıyla yapılmıştır. Modeller de kullanılacak uygun deprem kayıtlarını düzenlemek için SeismoSignal ve Excel programları kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analizler kapsamında TBDY-2018 Bölüm 13'te açıklanmış olan "Tasarım Aşaması III" hesap kuralları takip edilmiştir.

### **2.2.1. Performans Hedefleri ve Sınır Değerler**

Performans hedefleri ve sınır değerler, deprem tasarım sınıfına göre belirlenmektedir. Binanın kullanım amacı konut olarak seçilmiştir. Bina kullanım amacına göre belirlenen performans hedefleri ve sınır değerler aşağıda verilmiştir.

#### **2.2.1.1. Performans Hedefleri**

Tablo 1.7'ye göre yapının performans hedefi; DD-4 deprem düzeyi altında kesintisiz kullanım, DD-2 deprem düzeyi altında kontrollü hasar ve DD-1 deprem düzeyi altında göçmenin önlenmesi olarak belirlenmiştir. Kesintisiz kullanım performans hedefi için yapılan hesapta dayanıma göre tasarım yaklaşımı kullanılacaktır. Kontrollü hasar performans hedefi için yapılan hesapta da dayanıma göre tasarım yaklaşımı kullanılacaktır. Bu performans seviyesinde yapılan hesap, göçmenin önlenmesi seviyesinde yapılacak hesap için ön tasarım olarak kabul edilecektir. Göçmenin önlenmesi performans hedefi için

yapılan hesapta ise şekildeğiştirmeye göre tasarım ve değerlendirme tasarım ilkeleri kullanılacaktır.

#### **2.2.1.2. Sınır Değerlerin Belirlenmesi**

Şekildeğiştirme ve iç kuvvetlerin değerlendirilmesinde kullanılacak sınır değerler Bölüm 1.4.6'ya göre belirlenecektir. Yapıda plastik davranışlar iki farklı yaklaşımla modellenmiştir. Kolon ve kirişlerde yığılı plastik davranış modeli kullanılırken perdelerde yayılı plastik mafsal modeli kullanılmıştır.

#### **Kirişler İçin Plastik Dönme Sınır Değerinin Hesabı**

Kirişler için plastik dönme sınır değeri hesabı Denklem 1.37 kullanılarak hesaplanmıştır. Modellerde kullanılan B40/80'lik kiriş için dönme sınır değer hesabı aşağıda gösterilmiştir. Plastik mafsallar, kirişlerin mesnet bölgelerinde tanımlanacağı için hesaplamalarda kesitte negatif moment oluşacağı düşünülmüştür. Açıklık ortasında, kiriş kesitlerinin pozitif moment altında doğrusal elastik kalacağı kabul edilmiştir.

Seçilen boyuna üst donatı: 3Ø20 (ana donatı), 3Ø20 (mesnet ilave donatısı)

Seçilen boyuna alt donatı: 5Ø20

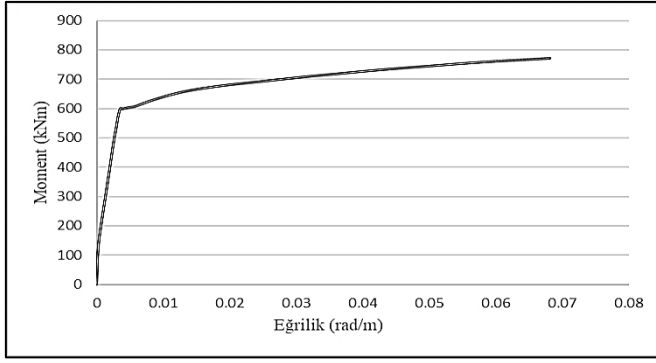
Seçilen enine donatı: 2Ø10/10

Plastik mafsal boyu:  $0.4/2 = 0.20$  m

Kesme açıklığı:  $6.0/2 = 3.0$  m

Tipik kiriş kesiti için akma eğriliği ve kopma eğriliği, Response2000 programı ile hesaplanan moment-eğrilik diyagramı ile belirlenmiştir (Şekil 2.12).





Şekil 2.12. Kirişler için Moment-Eğrilik diyagramı

$$\text{Akma eğriliği} = 0.00432 \quad 1/\text{m}$$

$$\text{Kopma eğriliği} = 0.07 \quad 1/\text{m}$$

$$\begin{aligned} \theta_p^{(G\ddot{O})} &= \frac{2}{3} \left[ (0.07 - 0.00432) \times 0.2 \left( 1 - 0.5 \frac{0.2}{3.0} \right) + 4.5 \times 0.07 \times 0.02 \right] \\ &= 0.013 \text{ rad (Denklem 1.30)} \end{aligned}$$

#### **Kolonlar İçin Plastik Dönme Sınır Değerinin Hesabı**

Yapıda ki kolonlar için plastik dönme sınır değerleri, aşağıda hesaplanmıştır. Benzer kolon ebatları için tek hesap yapılmıştır. Aşağıda C1 kolonu için hesaplar verilmiştir.

**±0.00~+44.00 Kotları arası:**

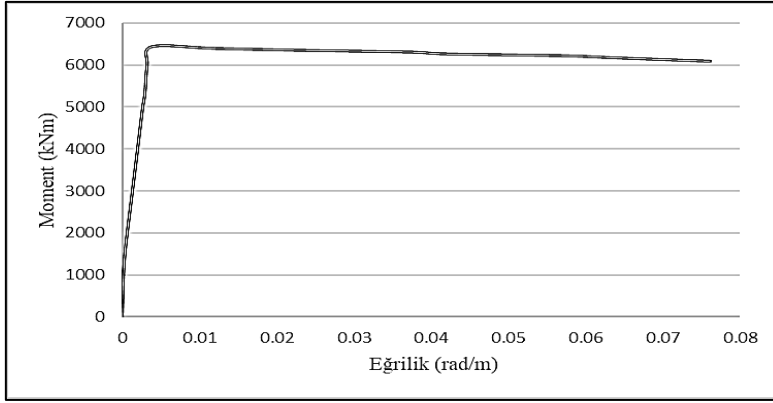
Seçilen boyuna donatı: 30Ø22

Seçilen enine donatı: 10Ø12/10

Plastik mafsal boyu:  $1.0/2 = 0.50 \text{ m}$

Kesme açıklığı:  $4.0/2 = 2.0 \text{ m}$

Kolon kesiti için akma eğriliği ve kopma eğriliği, Response2000 programı ile hesaplanan moment-eğrilik diyagramı ile belirlenmiştir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. C100X100 kolon için Moment-Eğrilik diyagramı

Akma eğriliği: 0.00349 1/m

Kopma eğriliği: 0.0778 1/m

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = 2/3 \left[ (0.0778 - 0.00349) \times 0.5 \left( 1 - 0.5 \frac{0.5}{2.0} \right) + 4.5 \times 0.0778 \times 0.022 \right]$$

= 0.015 rad (Denklem 1.30)

**+44.00~+84.00 Kotları arası:**

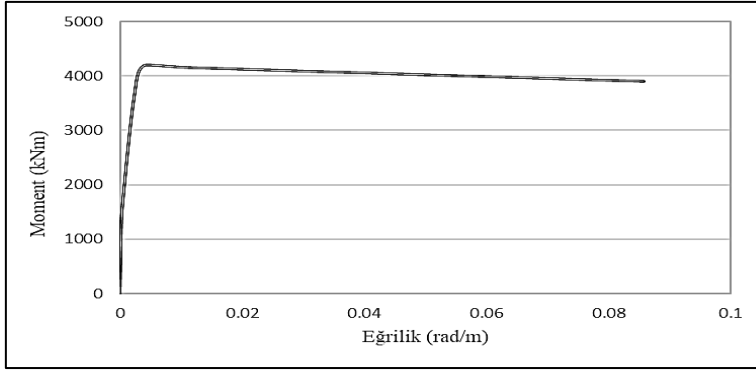
Seçilen boyuna donatı: 22Ø22

Seçilen enine donatı: 8Ø12/10

Plastik mafsal boyu:  $0.90/2 = 0.45$  m

Kesme açıklığı:  $4.0/2 = 2.0$  m

Kolon kesiti için akma eğriliği ve kopma eğriliği, Response2000 programı ile hesaplanan moment-eğrilik diyagramı ile belirlenmiştir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. C90X90 kolon için Moment-Eğrilik diyagramı

Akma eğriliği: 0.00391 1/m

Kopma eğriliği: 0.0854 1/m

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = 2/3 \left[ (0.0854 - 0.00391) \times 0.45 \left( 1 - 0.5 \frac{0.45}{2.0} \right) + 4.5 \times 0.0854 \times 0.022 \right]$$

= 0.016 rad (Denklem 1.30)

**+84.00~+116.00 Kotları arası:**

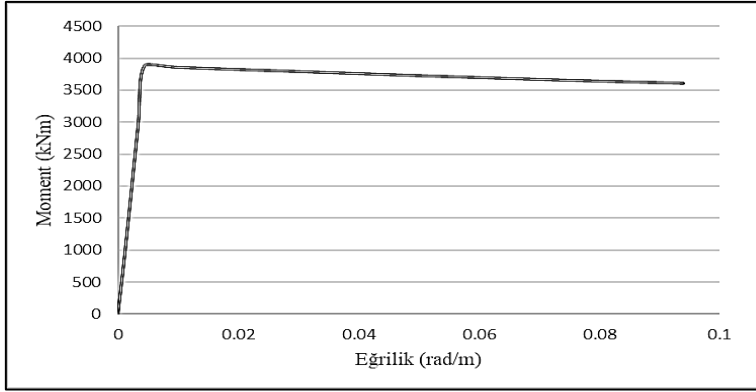
Seçilen boyuna donatı: 22Ø22

Seçilen enine donatı: 6Ø12/10

Plastik mafsallık boyu:  $0.80/2 = 0.40$  m

Kesme açıklığı:  $4.0/2 = 2.0$  m

Kolon kesiti için akma eğriliği ve kopma eğriliği, Response2000 programı ile hesaplanan moment-eğrilik diyagramı ile belirlenmiştir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. C80X80 kolon için Moment-Eğrilik diyagramı

Akma eğriliği: 0.00443 1/m

Kopma eğriliği: 0.0942 1/m

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = 2/3 \left[ (0.024 - 0.0112) \times 0.4 \left( 1 - 0.5 \frac{0.4}{2.0} \right) + 4.5 \times 0.024 \times 0.022 \right]$$

$$= 0.018 \text{ rad (Denklem 1.30)}$$

#### Perdeler İçin Birim Şekildeğiştirme Sınır Değerinin Hesabı

Yapıda kullanılan perdeler de beton birim kısalması sınır değeri Denklem 1.33 ile hesaplanacaktır.

- P600/60 Perdesinin kritik katta kalan kısmı için birim kısalma sınır değeri hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$\alpha_{se} = \left( 1 - \frac{3 \times 200^2 + 130^2 \times 9}{6 \times 1160 \times 560} \right) \left( 1 - \frac{100}{2 \times 1160} \right) \left( 1 - \frac{100}{2 \times 560} \right) = 0.78$$

$$\rho_{sh} = \frac{1099}{1160 \times 100} = 0.0095 \text{ (Denklem 1.28)}$$

$$\square_{we} = 0.78 \times 0.0095 \times 504 / 65 = 0.0575 \text{ (Denklem 1.27)}$$

$$\epsilon_c^{G\ddot{O}} = 0.0035 + 0.04 \sqrt{0.0575} = 0.0131 \leq 0.018 \text{ (Denklem 28)}$$

P600/60 Perdesi birim kısalma sınır değeri 0.0131 bulunmuştur. Bulunan değer 0.018'den küçük olduğundan kontrollerde bu değer kullanılacaktır.

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için donatı çeliği birim uzama sınır değeri Denklem 1.40 ile hesaplanacaktır.

$$\varepsilon_s^{G\ddot{O}} = 0.4 \times 0.08 = 0.032 \text{ (Denklem 1.29)}$$

- P600/60 Perdesinin kritik kat üzerinde kalan kısımları için birim kısalma sınır değeri hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{3 \times 200^2 + 130^2 \times 9}{6 \times 1160 \times 560}\right) \left(1 - \frac{200}{2 \times 1160}\right) \left(1 - \frac{200}{2 \times 560}\right) = 0.672$$

$$\rho_{sh} = \frac{1099}{1160 \times 200} = 0.0047 \text{ (Denklem 1.28)}$$

$$\square_{we} = 0.672 \times 0.0047 \times 504 / 65 = 0.0245 \text{ (Denklem 1.27)}$$

$$\varepsilon_c^{G\ddot{O}} = 0.0035 + 0.04 \sqrt{0.0245} = 0.00976 \leq 0.018$$

P600/60 Perdesi birim kısalma sınır değeri 0.00976 bulunmuştur. Bulunan değeri 0.018'den küçük olduğundan kontrollerde bu değeri kullanılacaktır.

- P600/50 Perdesi birim kısalma sınır değeri;

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{3 \times 160^2 + 170^2 \times 7}{6 \times 1160 \times 460}\right) \left(1 - \frac{200}{2 \times 1160}\right) \left(1 - \frac{200}{2 \times 460}\right) = 0.653$$

$$\rho_{sh} = \frac{1099}{1160 \times 200} = 0.0047 \text{ (Denklem 1.35)}$$

$$\square_{we} = 0.653 \times 0.0047 \times 504 / 65 = 0.0238 \text{ (Denklem 1.27)}$$

$$\varepsilon_c^{G\ddot{O}} = 0.0035 + 0.04 \sqrt{0.0238} = 0.00967 \leq 0.018$$

P600/50 Perdesi birim kısalma sınır değeri 0.00967 bulunmuştur. Bulunan değeri 0.018'den küçük olduğundan kontrollerde bu değeri kullanılacaktır. P600/50 perdesi kritik kat üzerinde kaldığı için tek hesap yapılmıştır.

- P600/40 Perdesi birim kısalma sınır değeri;

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{2 \times 200^2 + 200^2 \times 6}{6 \times 1160 \times 360}\right) \left(1 - \frac{200}{2 \times 1160}\right) \left(1 - \frac{200}{2 \times 360}\right) = 0.576$$

$$\rho_{sh} = \frac{1020}{1160 \times 200} = 0.0044 \text{ (Denklem 1.28)}$$

$$\square_{we} = 0.576 \times 0.0044 \times 504 / 65 = 0.0197 \text{ (Denklem 1.27)}$$

$$\varepsilon_c^{G\ddot{O}} = 0.0035 + 0.04 \sqrt{0.018} = 0.0091 \leq 0.018$$

P600/40 Perdesi birim kısalma sınır değeri 0.0091 bulunmuştur. Bulunan değeri 0.018'den küçük olduğundan kontrollerde bu değeri kullanılacaktır. P600/40 perdesi kritik kat üzerinde kaldığı için tek hesap yapılmıştır.

## 2.2.2. Malzeme Özellikleri

### 2.2.2.1. Beklenen Dayanımlar

Yapı için bu analiz aşamasında malzemelerin karakteristik dayanımları yerine beklenen (ortalama) dayanımları kullanılacaktır. Malzeme beklenen dayanımları Tablo 1.10'a göre hesaplanacaktır. Beton elastisite modülü, hesap dayanımı ile değiştiğinden dolayı yeniden hesaplanması gerekmektedir. TS 500 ile verilen elastisite modülü hesabı C50'ye kadar olan beton sınıflarını kapsamaktadır. TBDY-2018'e göre, C50'in üzerindeki beton sınıflarında elastisite modülü Eurocode 2'ye göre hesaplanacaktır.

Beton Sınıfı	: C65 $f_{ce} = 65000 \text{ kN/m}^2$
Elastisite Modülü	: (C65) $E = 39175 \text{ N/mm}^2$
Kayma Modülü	: (C65) $G = 15670 \text{ N/mm}^2$
Donatı Sınıfı	: B420C $f_{yk} = 506000 \text{ kN/m}^2$

### 2.2.2.2. Etkin Rijitlik Değerleri

Doğrusal olmayan analizler için taşıyıcı sistem etkin rijitliklerinin hesabı Bölüm 1.4.4.2'ye göre yapılacaktır. Kolon ve kirişlerde plastik mafsallar arasında kalan kısımların etkin rijitlik değerlerinin hesabı Denklem 1.24 ve Denklem 1.25 ile yapılacaktır. Perdelerde yayılı plastik mafsal (lif) kabulü yapıldığından dolayı etkin kesit rijitlik değeri hesabı yapılmasına gerek yoktur.

#### ➤ Kirişler İçin Etkin Rijitlik Hesabı

Yapı modelinde yer alan 40/80'lik kiriş için etkin rijitlik hesabı aşağıda verilmiştir.

$$\Theta_y = \frac{0.00432 \times 3}{3} + 0.0015 \times 1 \left( 1 + 1.5 \times \frac{0.8}{3} \right) + \frac{0.0043 \times 0.02 \times 506}{8 \times \sqrt{65}} = 0.007 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{598.7}{0.07} \times \frac{3}{3} = 8552.8 \text{ kNm}^2$$

Kesitin brüt rijitliği  $447614.9 \text{ kNm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Buna göre kesitin etkin rijitlik çarpanı  $8552.8 / 447614.9 \simeq 0.19$  olarak bulunmuştur.

#### ➤ Kolonlar İçin Etkin Rijitlik Hesabı

C100X100 Kolonları için etkin rijitlik hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$\Theta_y = \frac{0.0035 \times 2}{3} + 0.0015 \times 1 \left( 1 + 1.5 \times \frac{1.0}{2} \right) + \frac{0.0035 \times 0.022 \times 506}{8 \times \sqrt{65}} = 0.0057 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{6543.5}{0.0057} \times \frac{2}{3} = 765263.2 \text{ kNm}^2$$

Kesitin brüt rijitliği 3262500 kNm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Buna göre kesitin etkin rijitlik çarpanı 755263.2 / 3262500  $\simeq$  0.23 olarak bulunmuştur.

C90X90 Kolonları için etkin rijitlik hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$\Theta_y = \frac{0.00391 \times 2}{3} + 0.0015 \times 1 \left( 1 + 1.5 \times \frac{1.0}{2} \right) + \frac{0.00391 \times 0.022 \times 506}{8 \times \sqrt{65}} = 0.006 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{4113.2}{0.006} \times \frac{2}{3} = 457000 \text{ kNm}^2$$

Kesitin brüt rijitliği 2140526 kNm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Buna göre kesitin etkin rijitlik çarpanı 457000 / 2140526  $\simeq$  0.21 olarak bulunmuştur.

C80X80 Kolonları için etkin rijitlik hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$\Theta_y = \frac{0.0045 \times 2}{3} + 0.0015 \times 1 \left( 1 + 1.5 \times \frac{0.9}{2} \right) + \frac{0.0045 \times 0.022 \times 506}{8 \times \sqrt{65}} = 0.0065 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{3883.3}{0.0065} \times \frac{2}{3} = 199072.2 \text{ kNm}^2$$

Kesitin brüt rijitliği 1336320 kNm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Buna göre kesitin etkin rijitlik çarpanı 199072.2 / 1336320  $\simeq$  0.15 olarak bulunmuştur.

#### 2.2.4. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi TBDY-2018’de verilen kurallara göre yapılmıştır. Buna göre analizlerde en az 11 deprem kaydının kullanılması gerekmektedir. Deprem kayıtları “Peer Strong Motion Database” veri tabanından elde edilmiştir (URL-4, 2019). Arama sonuçları sonucunda 11 deprem kaydına ek ölçek katsayısı sınırlaması kaldırılarak bina modellerine Türkiye’de gerçekleşen en uygun Düzce deprem kaydı, analizlere eklenmiştir. Veri tabanından deprem seçilirken dikkat edilecek özellikler aşağıda verilmiştir.

- Deprem büyüklüğü = 6.0-7.5 Mw
- Yerel zemin koşulları = ZC
- Aktif fay düzlemine uzaklık = 10-30 km

Seçilen bu özellikler doğrultusunda deprem kayıtları seçilecektir. Deprem arama sayfası Şekil 2.16’da gösterilmiştir. Seçilen deprem kayıtları ve bunlara ait zellikler Tablo 2.11’de verilmiştir.

Seçilen deprem kayıtları, oluşturulacak hedef spektrumuna göre leklendirilecektir. Hedef spektrumu DD-1 deprem düzeyi ve ZC zemin sınıfı özelliklerine göre oluşturulacaktır. Ancak tasarım spektrumu değerleri, DD-1 spektrumu değerlerinin 1.30 katından fazla olması gerektiğinden, hedef spektrumu oluşturulurken 1.30 katsayısı ile bytlmştir.

Search	Suite
<p>These characteristics are defined in the NGA-West2 Flatfile. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.</p> <p><b>Record Characteristics:</b></p> <p>RSN(s) : <input type="text"/> RSN1,...RSNn</p> <p>Event Name : <input type="text"/></p> <p>Station Name : <input type="text"/></p> <p><b>Search Parameters:</b></p> <p>Fault Type : <input type="text"/> All Types</p> <p>Magnitude : <input type="text"/> 6,7,8 min,max</p> <p>RJB(km) : <input type="text"/> 10,30 min,max</p> <p>Rrup(km) : <input type="text"/> 10,30 min,max</p> <p>Vs30(m/s) : <input type="text"/> 360,760 min,max</p> <p>D5-95(sec) : <input type="text"/> min,max</p> <p>Pulse : <input type="text"/> NO Pulse-like Records</p> <p><b>Additional Characteristics:</b></p> <p>Max No. Records : <input type="text"/> (&lt;=100)</p> <p>Initial ScaleFactor : <input type="text"/> 0,4 min,max</p>	<p><b>Suite</b></p> <p>Spectral Ordinate : <input type="text"/> SRSS</p> <p>Damping Ratio : <input type="text"/> 5%</p> <p>Suite Average : <input type="text"/> Arithmetic</p> <p><b>Scaling</b></p> <p>Scaling Method : <input type="text"/> Minimize MSE</p> <p>MSE = Computed Weighted Mean Squared Error of record, and suite average, wrt target spectrum.</p> <p><b>Weight Function</b></p> <p>Used in both search and scaling when computing MSE. Values can be updated for rescaling. Intermediate points are interpolated with <math>W = f_{xn}(\log(T))</math></p> <p>Period Points : <input type="text"/> 0,446,2,92,4,38 (T1,T2, ... Tn)</p> <p>Weights : <input type="text"/> 1,1,1 (W1,W2, ... Wn)</p>

Şekil 2.16. Peer deprem kaydı arama sayfası



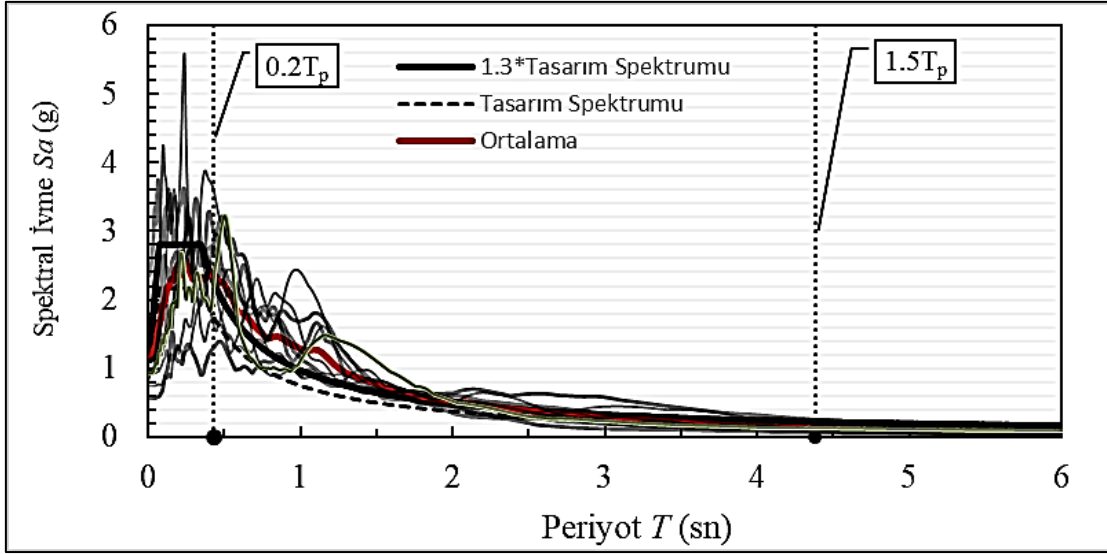
Tablo 2.11. Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri

No	Rsn	Deprem	Yıl	İstasyon	Büyüklik	Kayıt Süresi (sn)	Adım Sayısı	Adım Aralığı (sn)
1	164	Imperial Valley-06	1979	Cerro Prieto	6.33	63.82	6382	0.01
2	265	Victoria, Meksika	1980	Cerro Prieto	6.33	24.53	2453	
3	313	Corinth, Greece	1981	Corinth	6.60	41.32	4132	
4	359	Coalinga-01	1983	Parkfield - Vineyard Cany	6.36	59.99	5999	
5	587	New Zealand-02	1987	Matahina Dam	6.60	49.34	2467	0.02
6	827	Cape Mendocino	1992	Fortuna - Fortuna Blvd	7.01	44.00	2200	
7	864	Landers	1992	Joshua Tree	7.28	44.00	2200	
8	963	Northridge-01	1994	Castaic - Old Ridge Route	6.69	40.00	2000	
9	1006	Northridge-01	1994	LA- UCHA Grounds	6.69	60.00	3000	
10	1633	Manjil, Iran	1990	Abbar	7.37	53.52	2676	0.01
11	1787	Hector Mine	1999	Hector	7.13	45.31	4531	
12	1614	Düzce, Türkiye	1999	Lamont 1061	7.14	42.33	4233	

Tez kapsamında iki farklı model karşılaştırılacağından iki model periyotlarına uyan deprem kayıtları seçilecektir. Bu kapsamda dış destek kirişsiz model büyük doğal periyodu 2.92 s ve dış destek kirişli model için küçük periyot 2.16 s'dir. Kullanılacak olan deprem kayıtlarının ölçeklendirme aralığı bu periyot değerlerinin 0.2 ve 1.5 katları arasında olacaktır. Yukarıdaki bilgilerden mütevellit ölçeklendirme aralığı 0.43 s ve 4.38 s olarak belirlenmiştir. Ölçeklendirilen ivme kayıtlarına ait tepki spektrumları ve hedef spektrumu Şekil 2.17'de verilmiştir. Seçilen deprem kayıtları için ölçek katsayıları Tablo 2.12'de verilmiştir.

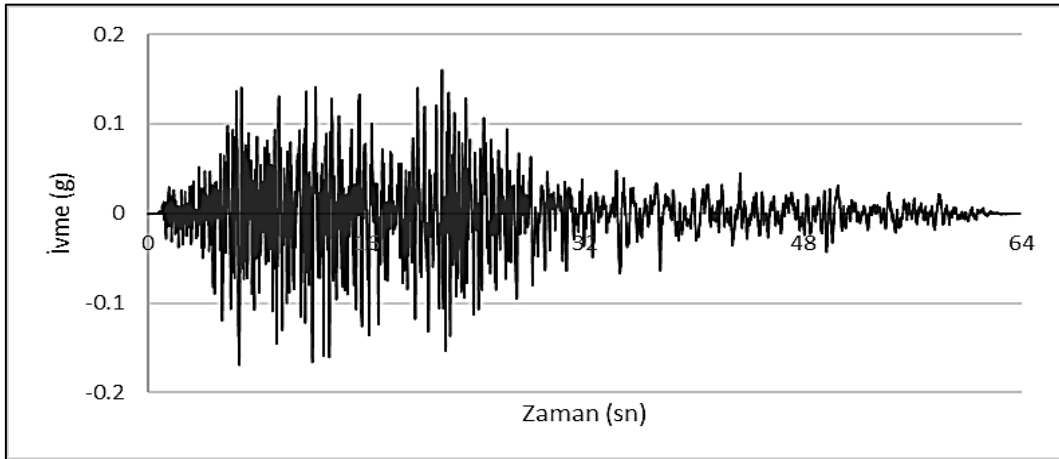
Tablo 2.12. Deprem kayıtları için ölçek katsayıları

No	Kayıt	Deprem	Ölçek Katsayısı
1	RSN164	Imperial Valley-06	3.61
2	RSN265	Victoria, Meksika	2.32
3	RSN313	Corinth, Greece	2.62
4	RSN359	Coalinga-01	2.81
5	RSN587	New Zealand-02	2.72
6	RSN827	Cape Mendocino	3.06
7	RSN864	Landers	1.68
8	RSN963	Northridge-01	1.27
9	RSN1006	Northridge-01	2.99
10	RSN1633	Manjil, Iran	1.44
11	RSN1787	Hector Mine	1.95
12	RSN1614	Duzce, Turkey	7.83

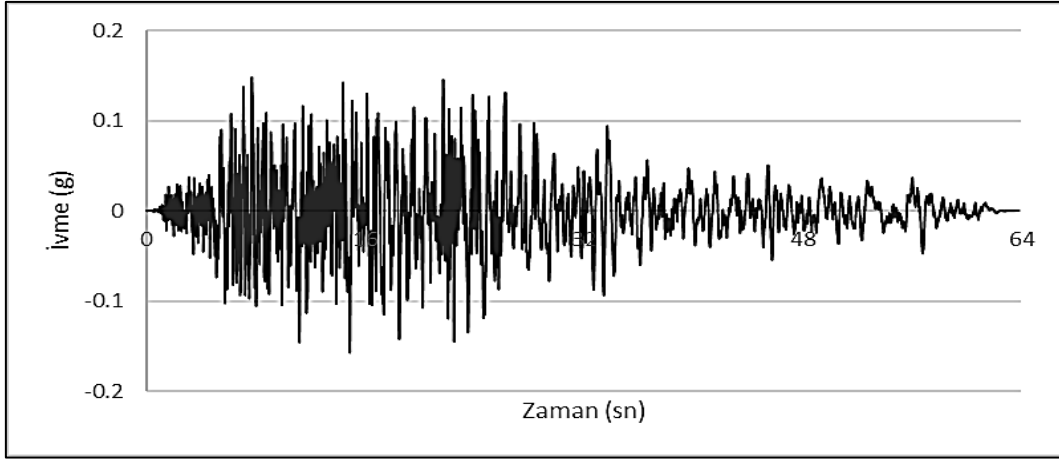


Şekil 2.17. Ölçeklendirilen ivme kayıtlarına ait tepki spektrumları ve hedef spektrumu

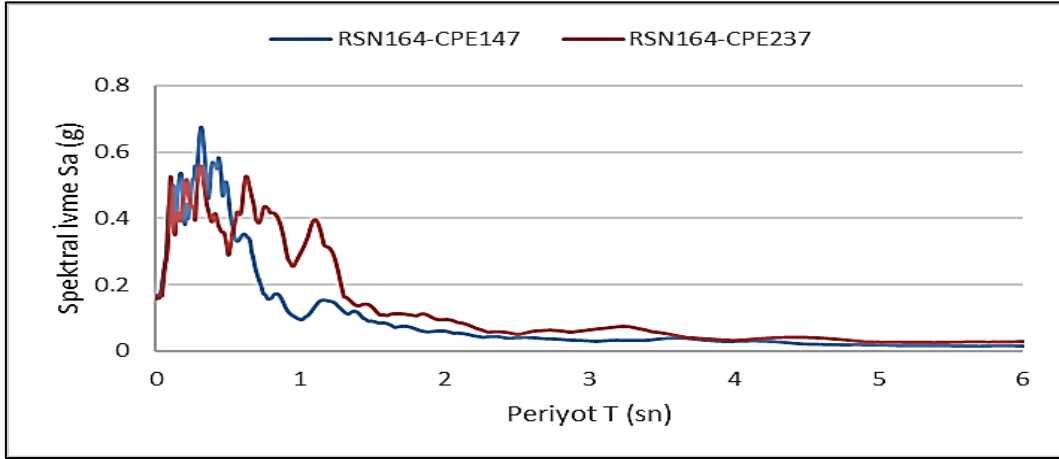
Seçilen her bir deprem kayıtlarının ivme ve spektrum eğri grafikleri aşağıda verilmiştir.



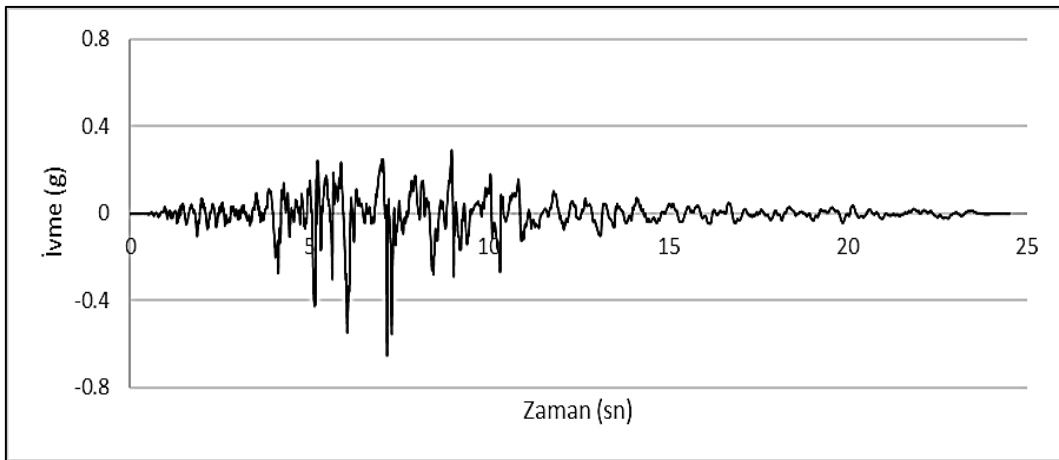
Şekil 2.18. RSN164-CPE147 İvme-Zaman grafiği



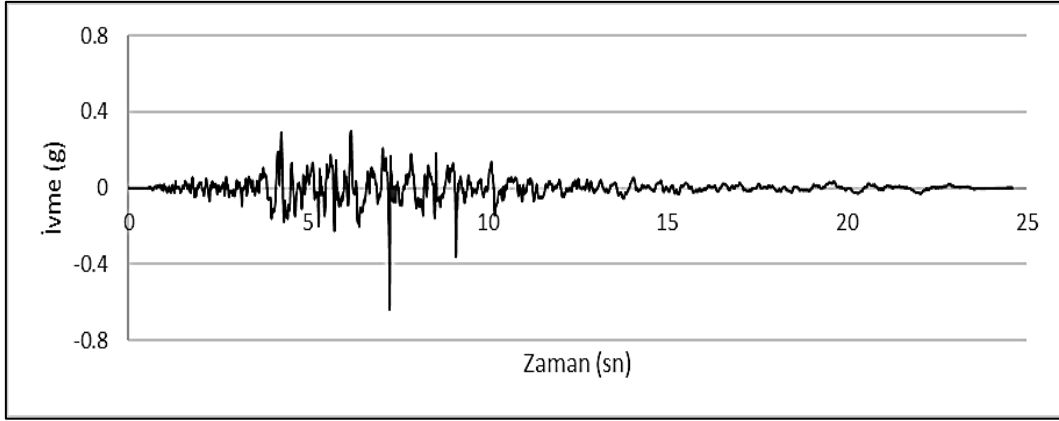
Şekil 2.19. RSN164-CPE237 İvme-Zaman grafiği



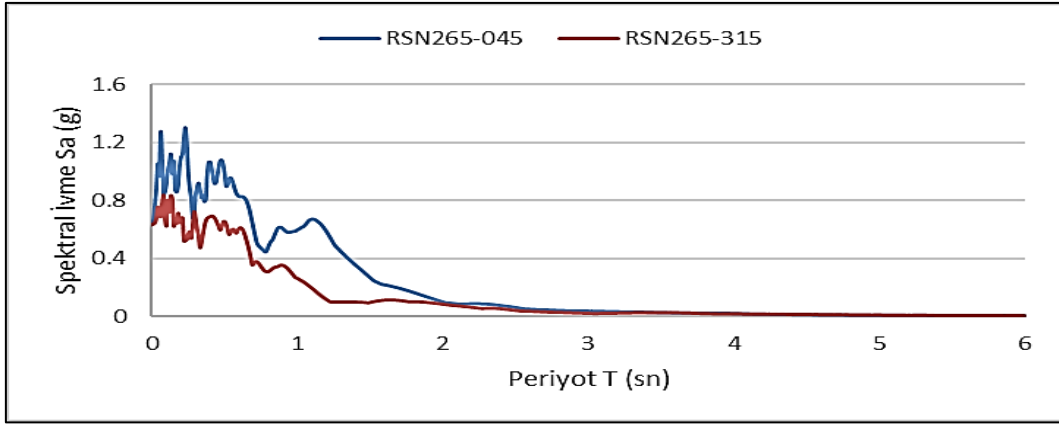
Şekil 2.20. RSN164 İvme tepki spektrum grafiği



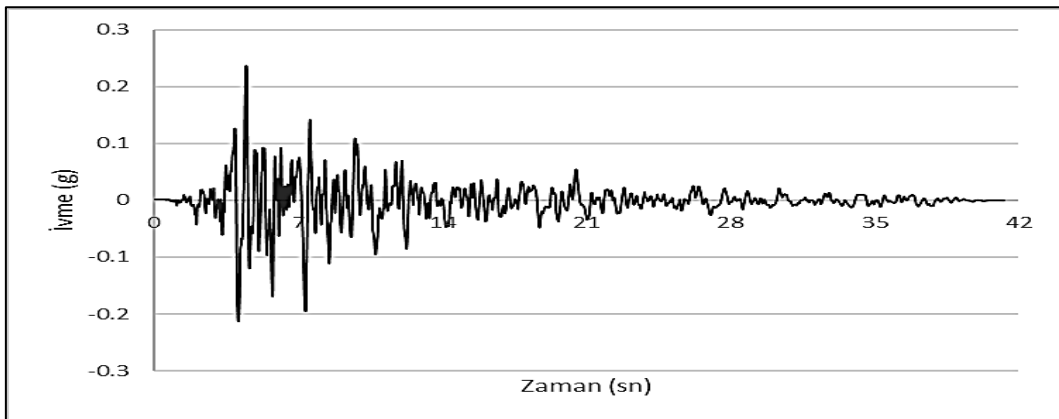
Şekil 2.21. RSN265-045 İvme-zaman grafiği



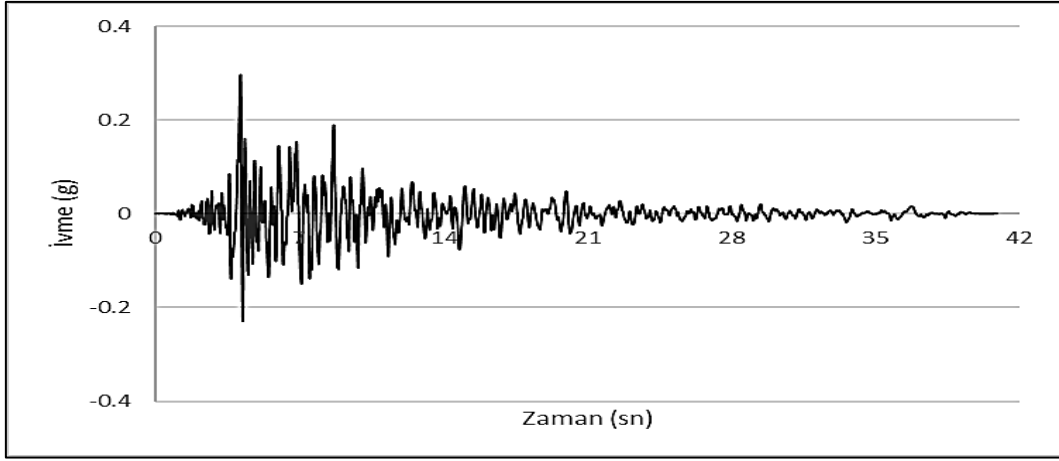
Şekil 2.22. RSN265-315 İvme-zaman grafiği



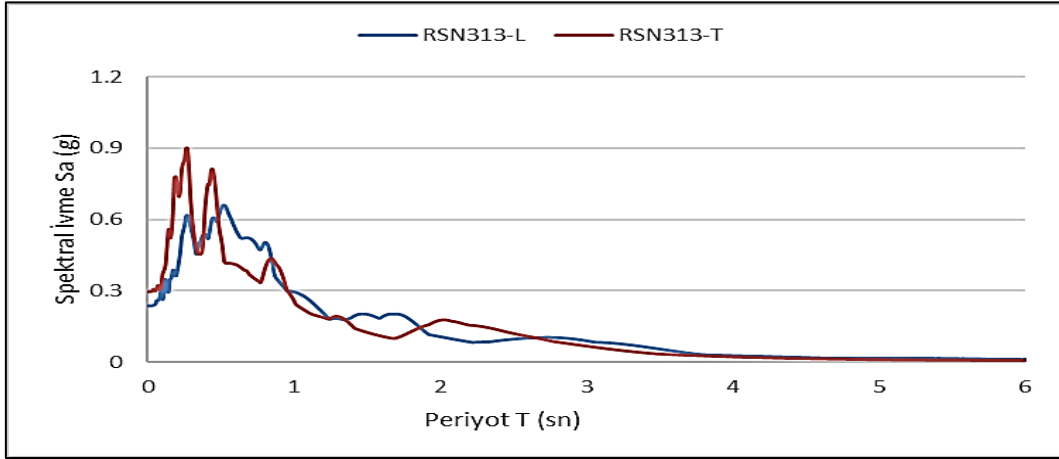
Şekil 2.23. RSN265 İvme tepki spektrum grafiği



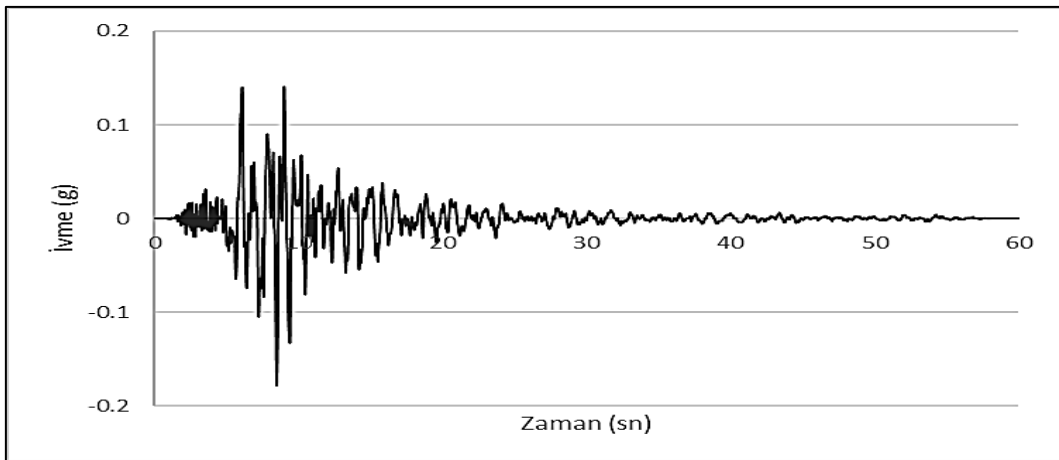
Şekil 2.24. RSN313-L İvme-zaman grafiği



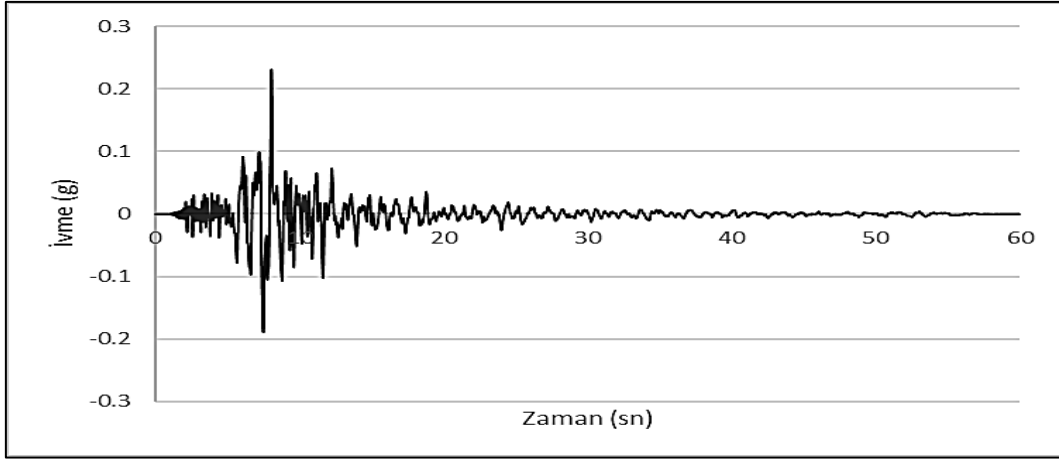
Şekil 2.25. RSN313-T İvme-zaman grafiği



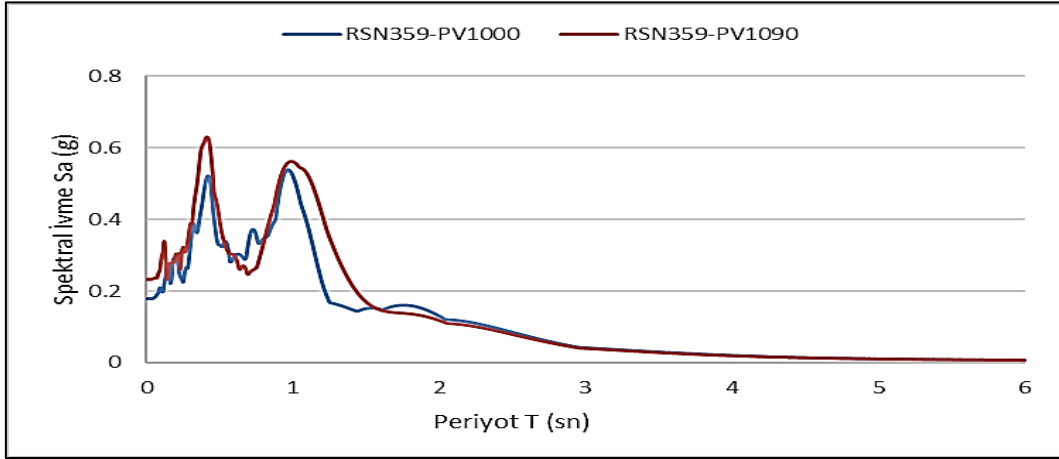
Şekil 2.26. RSN313 İvme tepki spektrum grafiği



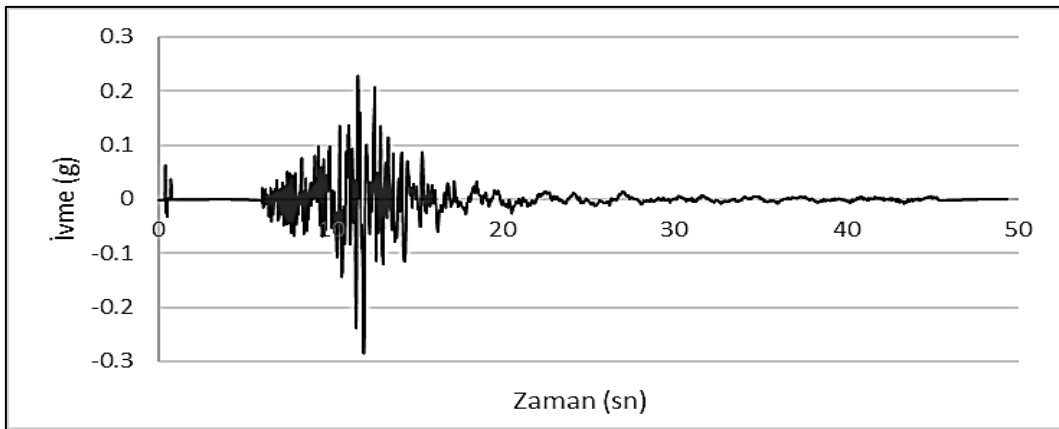
Şekil 2.27. RSN359-PV1000 İvme-zaman grafiği



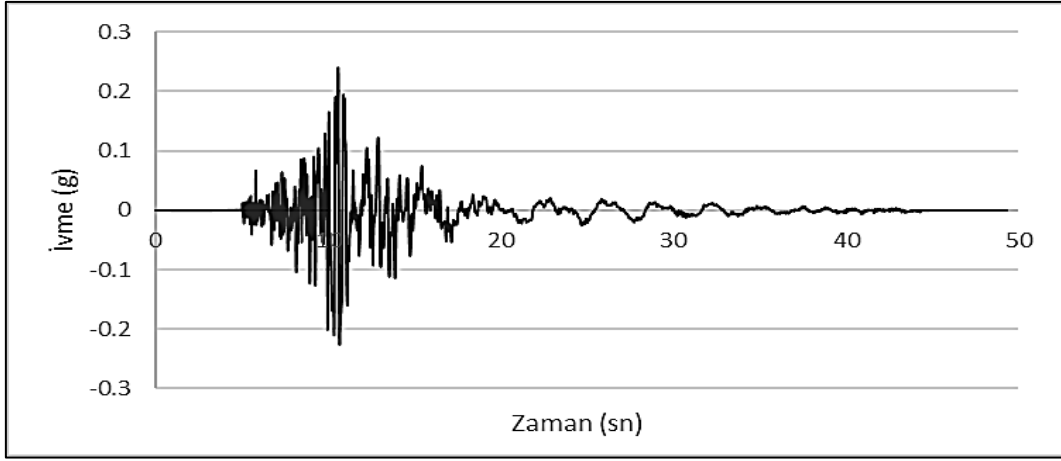
Şekil 2.28. RSN359-PV1090 İvme-zaman grafiği



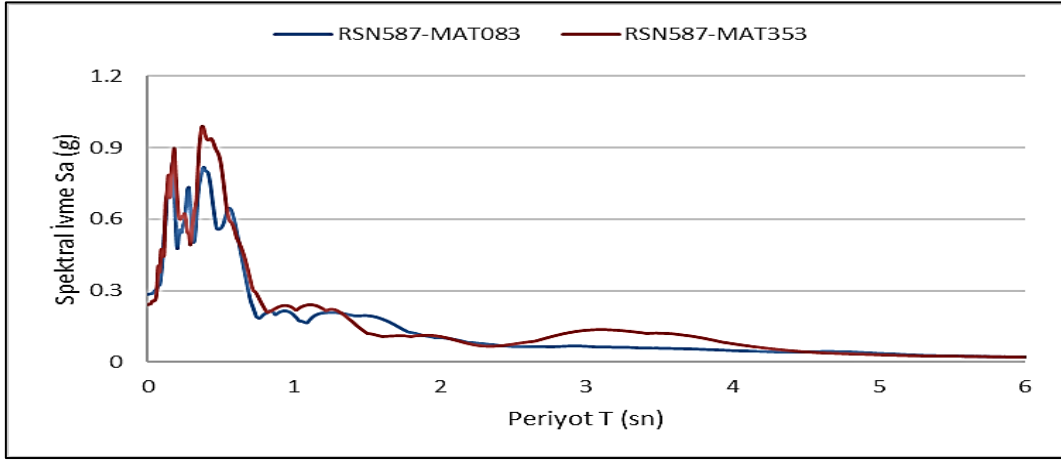
Şekil 2.29. RSN359 İvme tepki spektrum grafiği



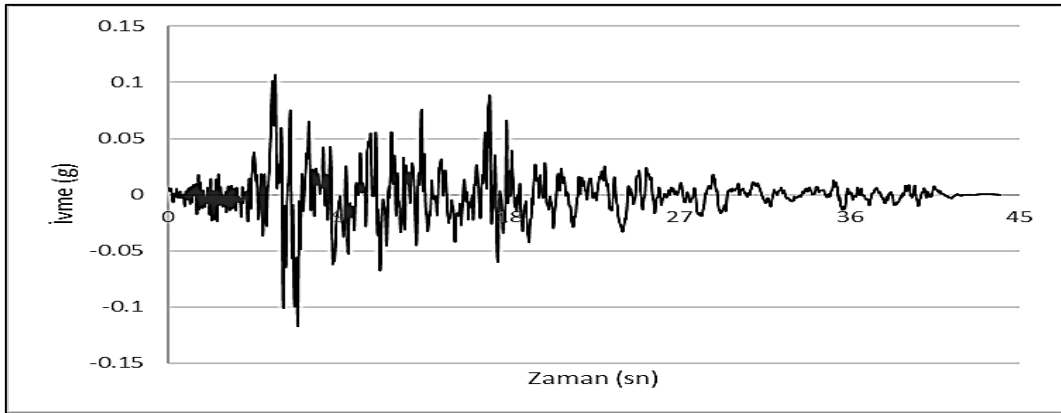
Şekil 2.30. RSN587-MAT083 İvme-zaman grafiği



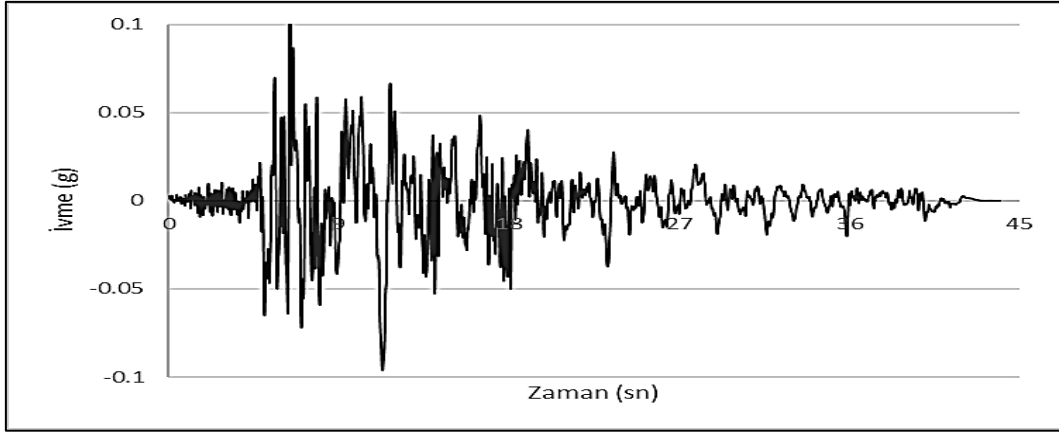
Şekil 2.31. RSN587-MAT353 İvme-zaman grafiği



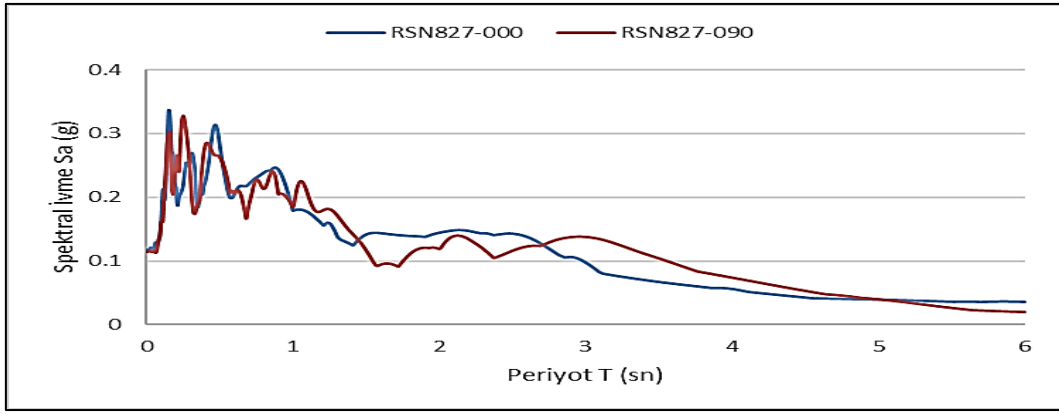
Şekil 2.32. RSN587 İvme tepki spektrum grafiği



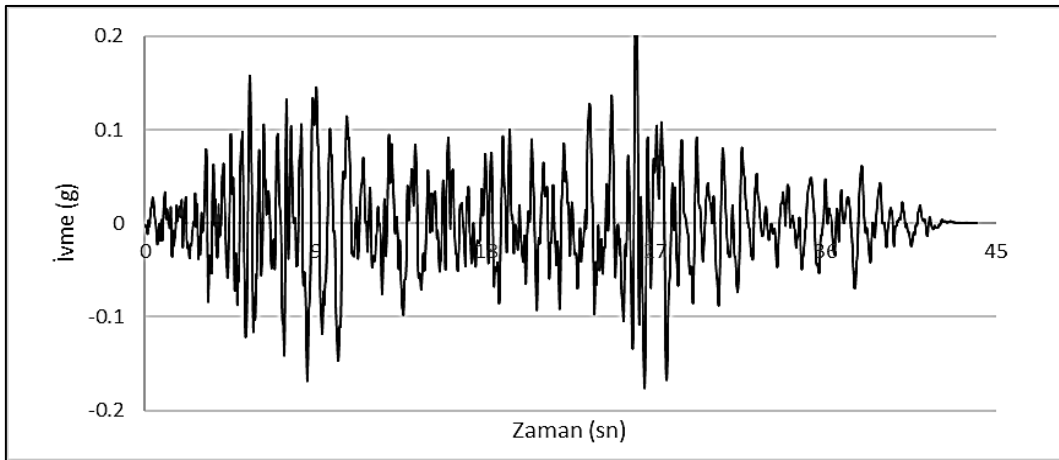
Şekil 2.33. RSN827-000 İvme-zaman grafiği



Şekil 2.34. RSN827-090 İvme-zaman grafiği

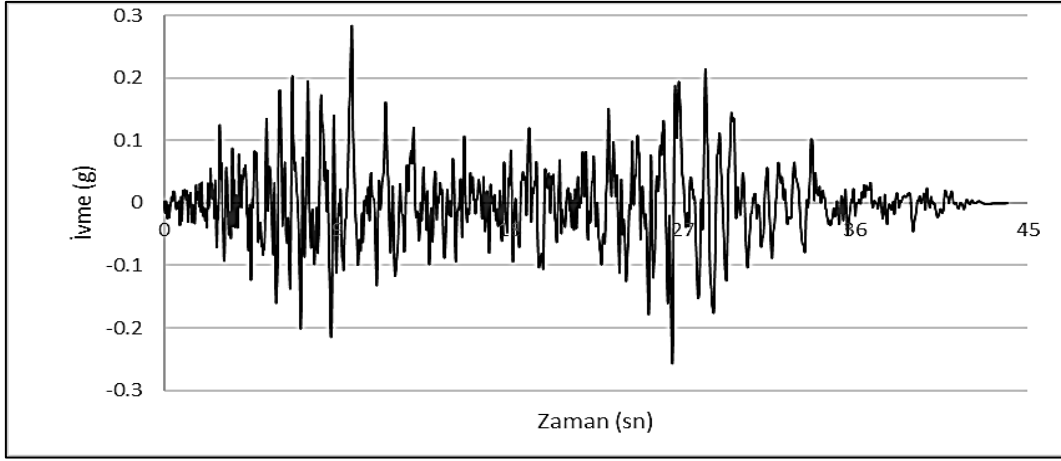


Şekil 2.35. RSN827 İvme tepki spektrum grafiği

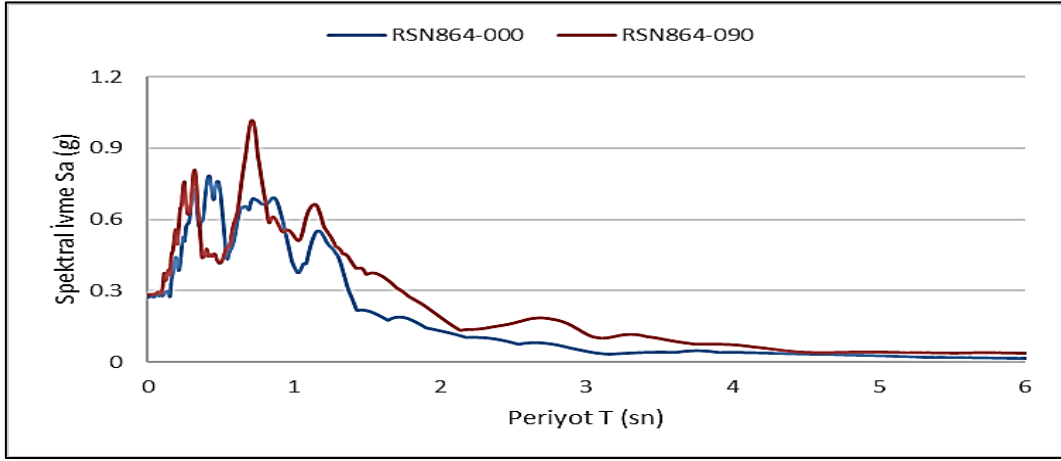


Şekil 2.36. RSN864-000 İvme-zaman grafiği

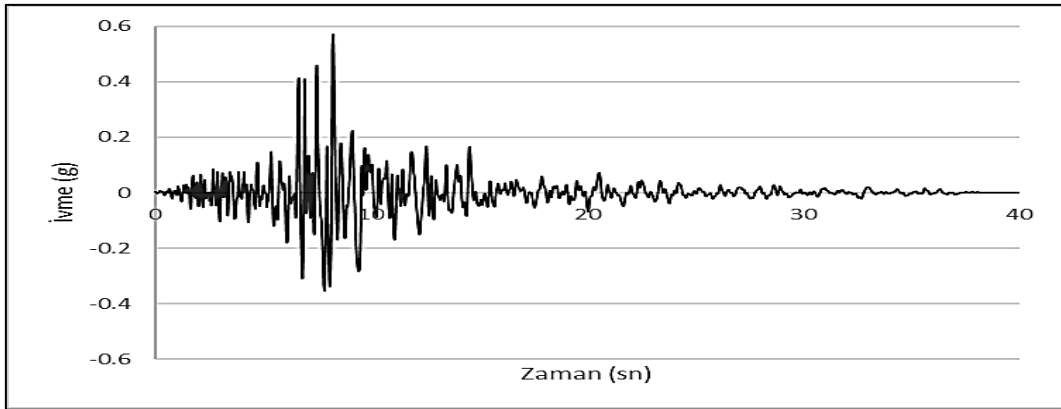




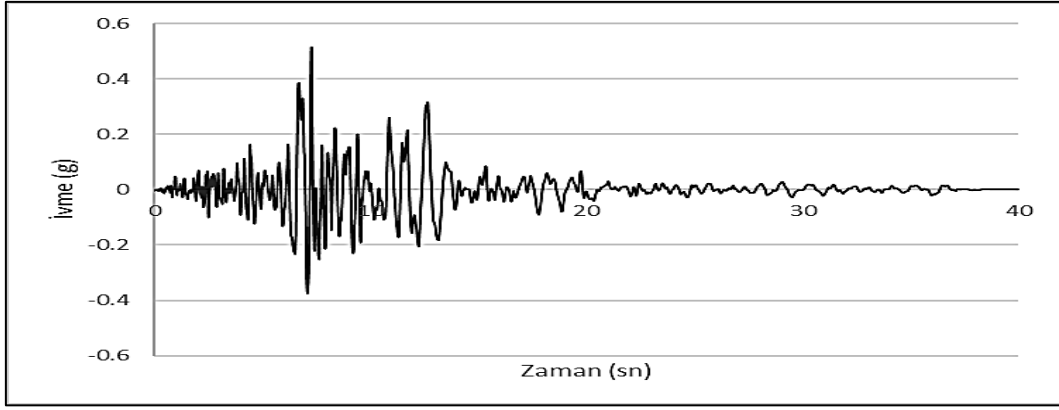
Şekil 2.37. RSN864-090 İvme-zaman grafiği



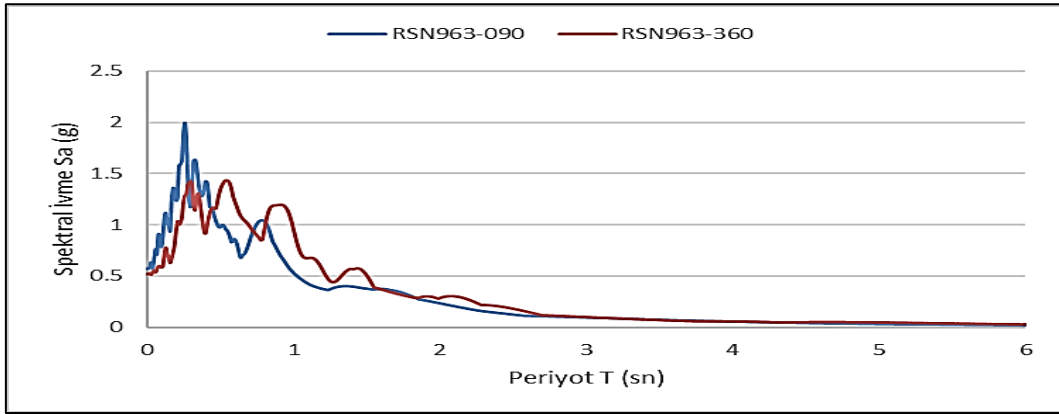
Şekil 2.38. RSN864 İvme tepki spektrum grafiği



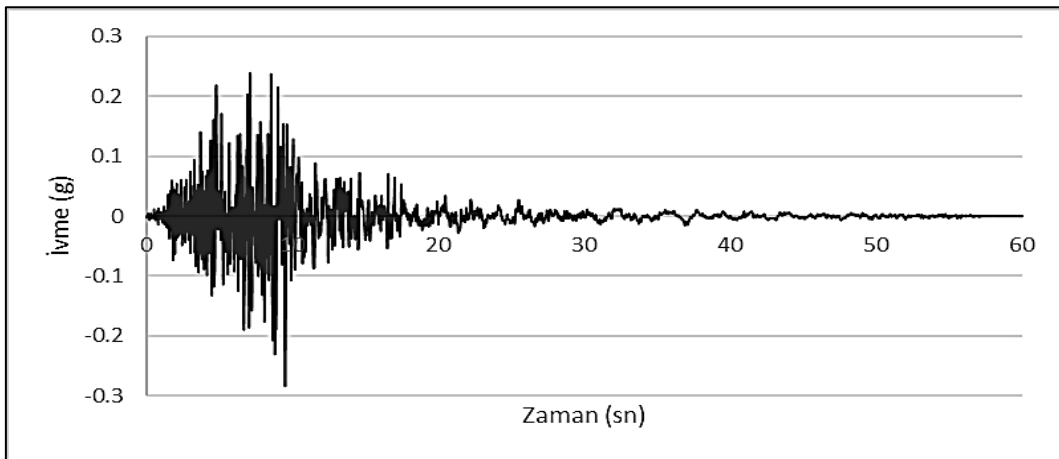
Şekil 2.39. RSN963-090 İvme-zaman grafiği



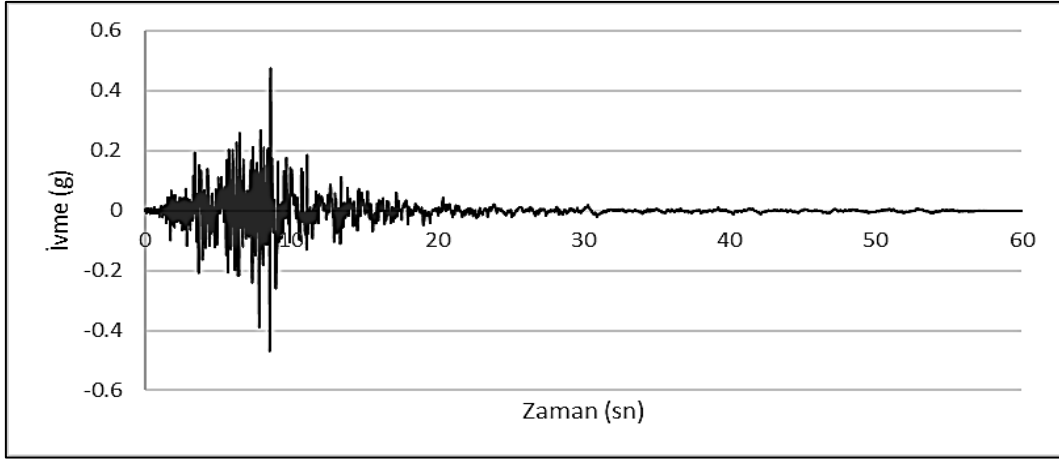
Şekil 2.40. RSN963-360 İvme-zaman grafiği



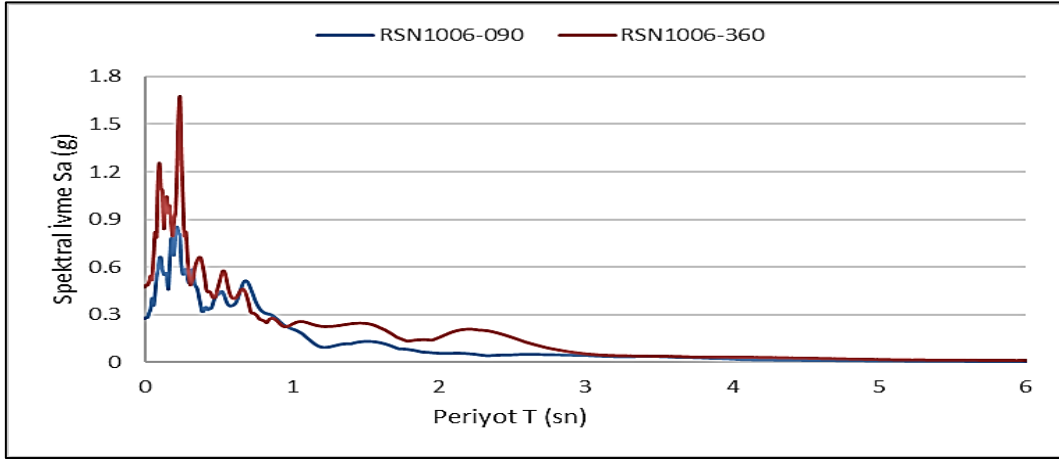
Şekil 2.41. RSN963 İvme tepki spektrum grafiği



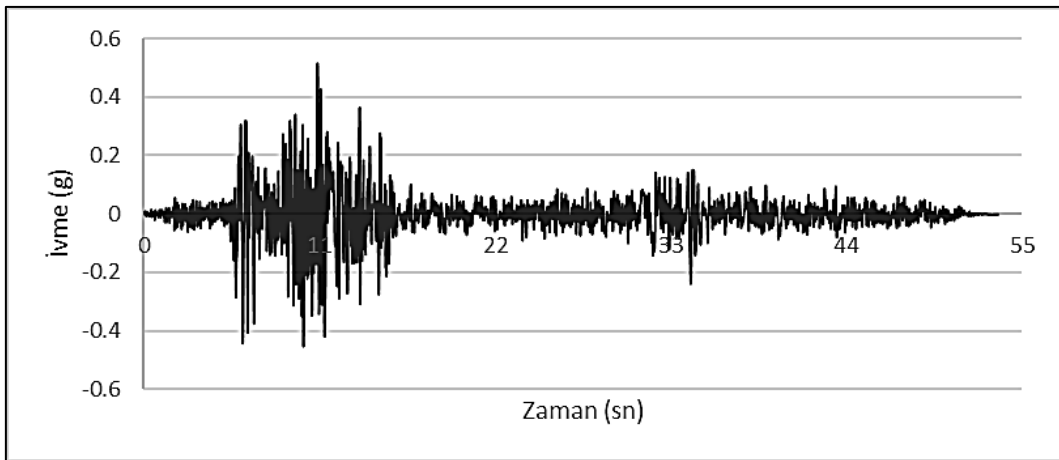
Şekil 2.42. RSN1006-090 İvme-zaman grafiği



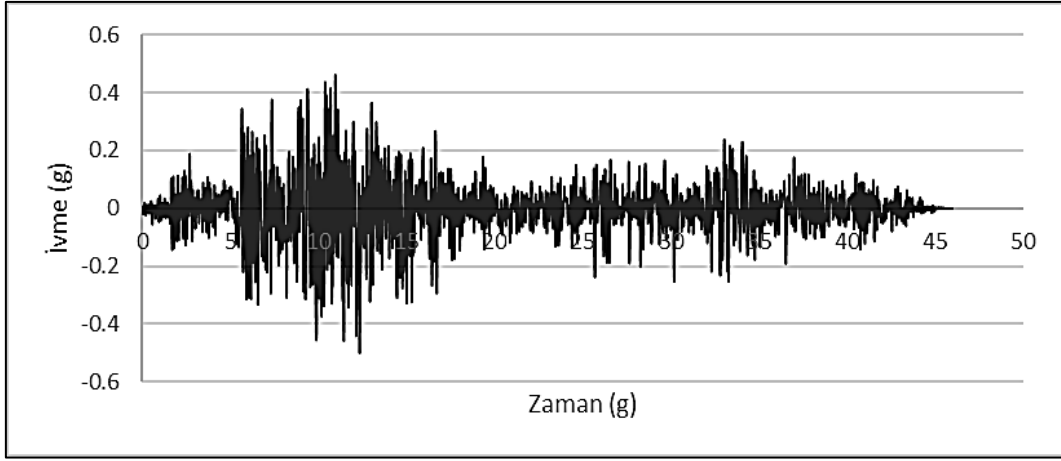
Şekil 2.43. RSN1006-360 İvme-zaman grafiği



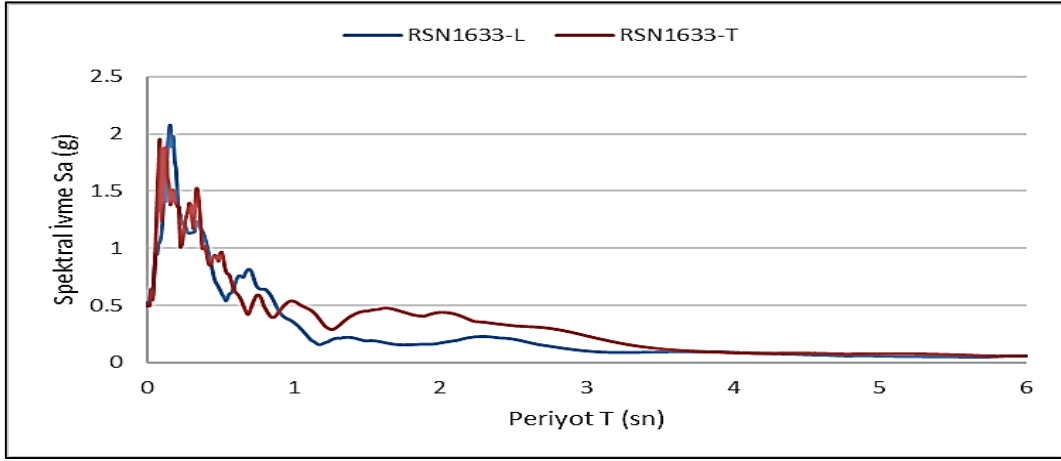
Şekil 2.44. RSN1006 İvme tepki spektrum grafiği



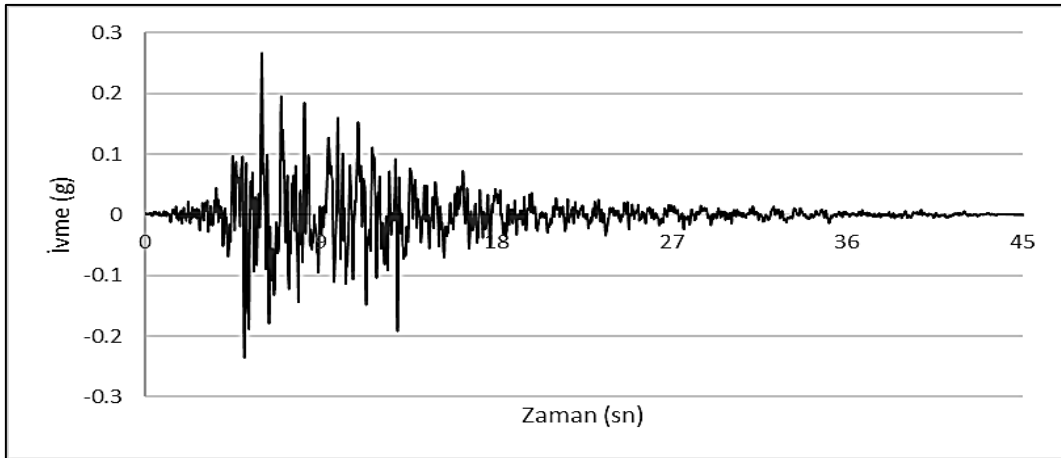
Şekil 2.45. RSN1633-L İvme-zaman grafiği



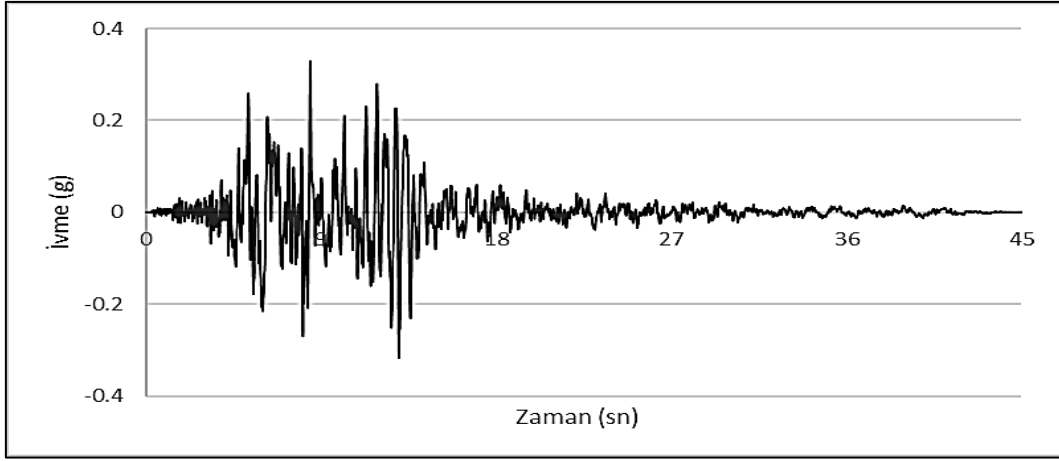
Şekil 2.46. RSN1633 İvme-zaman grafiği



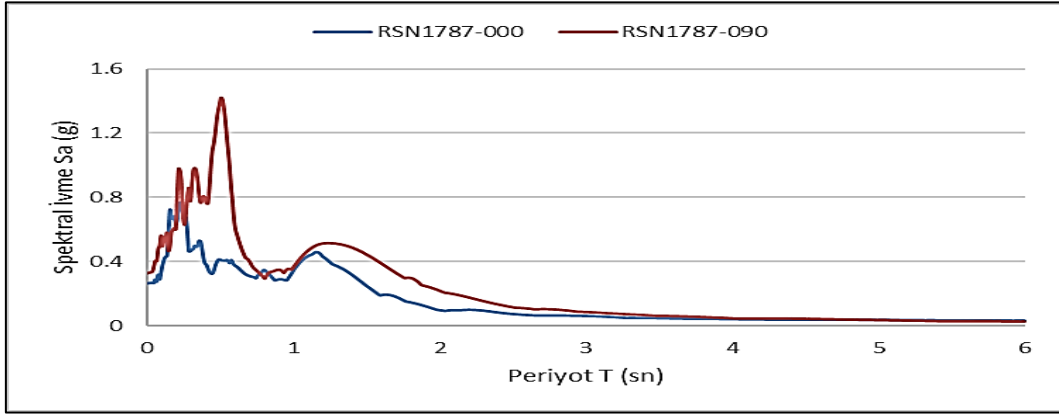
Şekil 2.47. RSN1633 İvme tepki spektrum grafiği



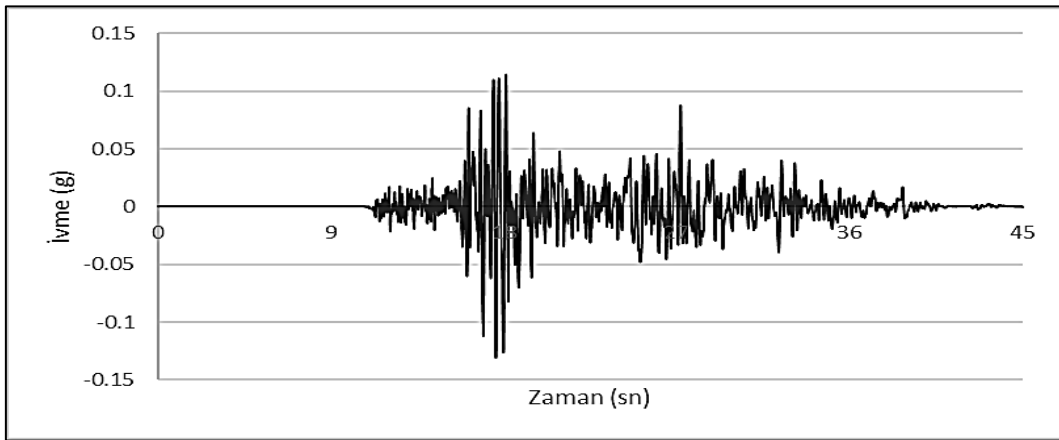
Şekil 2.48. RSN1787-000 İvme-zaman grafiği



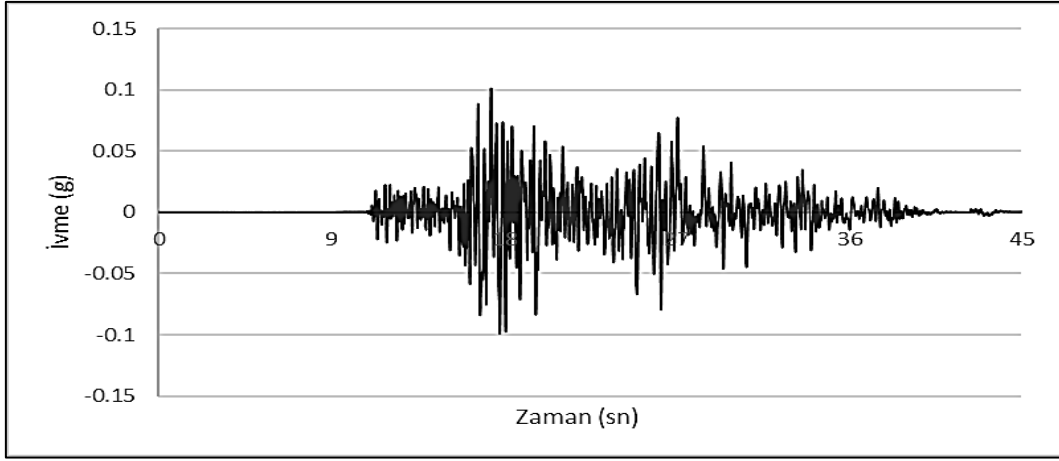
Şekil 2.49. RSN1787-090 İvme-zaman grafiği



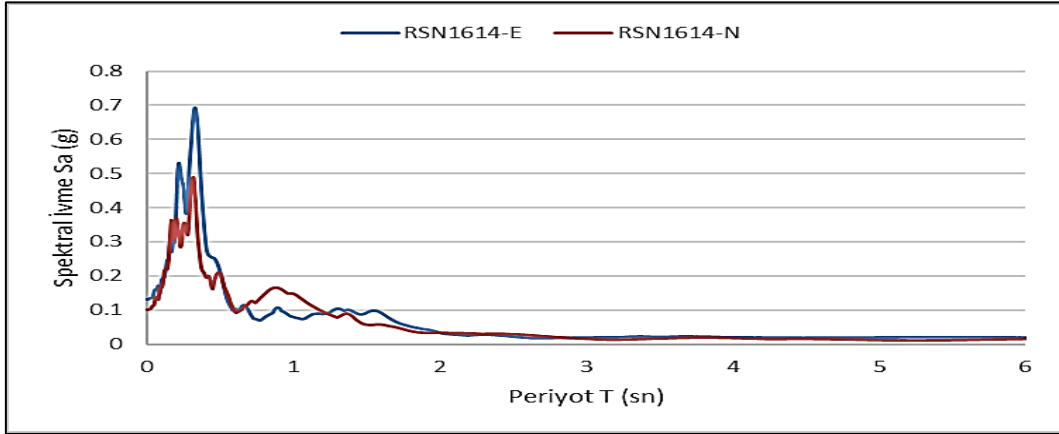
Şekil 2.50. RSN1787 İvme tepki spektrum grafiği



Şekil 2.51. RSN1614-E İvme-zaman grafiği



Şekil 2.52. RSN1614-N İvme-zaman grafiği



Şekil 2.53. RSN1614 Spektral ivme tepki grafiği

### 2.2.5. Doğrusal Olmayan Modelleme ile İlgili Gözönüne Alınan Diğer Hususlar

Doğrusal olmayan modelleme yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda verilmiştir.

- Yüksek yapıların doğrusal olmayan çözümlemesi için sönüm oranı %2.5 alınmıştır.
- Doğrusal olmayan geometri (P- $\Delta$ ) etkileri gözönüne alınmıştır.
- Perdelerin kesme davranışının doğrusal olacağı kabul edilmiştir.
- Döşemelerde rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

### 3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Tez çalışmasında TBDY-2018 kural ve yöntemlere göre dış destek kirişli ve dış destek kirişsiz iki model tasarlanmış olup doğrusal analiz ve doğrusal olmayan analiz yapıp sonuçlar bu ana başlık altında karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

#### 3.1. Doğrusal Analiz Sonuçları ve İrdelemeler

##### 3.1.1. Modal Analiz Sonuçları

Kütle katılım oranları her iki model için %90'ın üzerinde çıkmıştır. Dış destek kirişli modelde kütle katılım oranı %92 olurken, dış destek kirişsiz model de %91 olmuştur. Dış destek kirişsiz model için kütle katılım oranları Tablo 3.1'de, dış destek kirişli model için Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Dış destek kirişsiz model için kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	SumUX	SumUY
1	<b>2.91685</b>	<b>0.67255</b>	0.00000	0.67255	0.00000
2	<b>2.84822</b>	0.00000	<b>0.66716</b>	0.67255	0.66716
3	2.02509	0.00000	0.00000	0.67255	0.66716
4	0.90028	0.11792	0.00000	0.79047	0.66716
5	0.86102	0.00000	0.12268	0.79047	0.78984
6	0.65727	0.00000	0.00000	0.79047	0.78984
7	0.46485	0.04764	0.00000	0.83811	0.78984
8	0.43470	0.00000	0.05037	0.83811	0.84021
9	0.35745	0.00000	0.00000	0.83811	0.84021
10	0.28919	0.02919	0.00000	0.86730	0.84021
...					
...					
...					
80	0.12206	0.00000	0.00000	0.90482	0.90819
81	0.12206	0.00000	0.00000	0.90482	0.90819
82	0.12205	0.00000	0.00000	0.90482	0.90819
83	0.12205	0.00000	0.00000	0.90482	0.90819
84	0.12205	0.00000	0.00000	0.90482	0.90819
85	0.12205	0.00000	0.00000	0.90482	0.90819
86	0.12205	0.00000	0.00000	0.90482	0.90819
87	0.12205	0.00000	0.00000	0.90482	0.90819

Tablo 3.2. Dış destek kirişli model için kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	SumUX	SumUY
1	<b>2.22133</b>	<b>0.70112</b>	0.00000	0.70112	0.00000
2	<b>2.15645</b>	0.00000	<b>0.69507</b>	0.70112	0.69507
3	1.56025	0.00000	0.00000	0.70112	0.69507
4	0.74141	0.12919	0.00000	0.83031	0.69507
5	0.71217	0.00000	0.13198	0.83031	0.82705
6	0.54278	0.00000	0.00000	0.83031	0.82705
7	0.45215	0.02667	0.00000	0.85697	0.82705
8	0.42542	0.00000	0.03071	0.85697	0.85775
9	0.35177	0.00000	0.00000	0.85697	0.85775
10	0.22100	0.00000	0.00000	0.85697	0.85775
...					
...					
...					
80	0.12203	0.00000	0.00000	0.91605	0.91774
81	0.12203	0.00000	0.00000	0.91605	0.91774
82	0.12203	0.00000	0.00000	0.91605	0.91774
83	0.12203	0.00000	0.00000	0.91605	0.91774
84	0.12203	0.00000	0.00000	0.91605	0.91774
85	0.12203	0.00000	0.00000	0.91605	0.91774
86	0.12204	0.00000	0.00000	0.91605	0.91774
87	0.12204	0.00000	0.00000	0.91605	0.91774

### 3.1.2. Bina Modelleri İçin Kat Ağırlıkları

Deprem hesabında esas alınan kat ağırlıkları Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’te verilmiştir. Tasarlanan yapı konut olarak tasarlandığı için hareketli yük katılım katsayısı 0.3 alınmıştır.



Tablo 3.3. Dış destek kirişsiz model için kat ağırlıkları

Kat	Yükseklik (m)	Kütle (Mi)	Ağırlık (Wi)
29	116.00	1525.83	14968.39
28	112.00	1643.71	16124.80
27	108.00	1643.71	16124.80
26	104.00	1643.71	16124.80
25	100.00	1643.71	16124.80
24	96.00	1643.71	16124.80
23	92.00	1643.71	16124.80
22	88.00	1643.71	16124.80
21	84.00	1643.71	16124.80
20	80.00	1772.23	17385.58
19	76.00	1772.23	17385.58
18	72.00	1772.23	17385.58
17	68.00	1772.23	17385.58
16	64.00	1772.23	17385.58
15	60.00	1772.23	17385.58
14	56.00	1772.23	17385.58
13	52.00	1772.23	17385.58
12	48.00	1772.23	17385.58
11	44.00	1772.23	17385.58
10	40.00	1907.63	18713.85
9	36.00	1907.63	18713.85
8	32.00	1907.63	18713.85
7	28.00	1907.63	18713.85
6	24.00	1907.63	18713.85
5	20.00	1907.63	18713.85
4	16.00	1907.63	18713.85
3	12.00	1907.63	18713.85
2	8.00	2321.55	22774.41
1	4.00	2287.79	22443.22
Toplam		52268.19	512750.94

Tablo 3.4. Dış destek kirişli model için kat ağırlıkları

Kat	Yükseklik (m)	Kütle (Mi)	Ağırlık (Wi)
29	116.00	1525.83	14968.39
28	112.00	1643.71	16124.80
27	108.00	1643.71	16124.80
26	104.00	1643.71	16124.80
25	100.00	1643.71	16124.80
24	96.00	1643.71	16124.80
23	92.00	1643.71	16124.80
22	88.00	1643.71	16124.80
21	84.00	1824.26	17895.99
20	80.00	1994.35	19564.57
19	76.00	1919.49	18830.20
18	72.00	1772.23	17385.58
17	68.00	1772.23	17385.58
16	64.00	1772.23	17385.58
15	60.00	1772.23	17385.58
14	56.00	1772.23	17385.58
13	52.00	1772.23	17385.58
12	48.00	1772.23	17385.58
11	44.00	1951.94	19148.53
10	40.00	2127.29	20868.71
9	36.00	2055.57	20165.14
8	32.00	1907.63	18713.85
7	28.00	1907.63	18713.85
6	24.00	1907.63	18713.85
5	20.00	1907.63	18713.85
4	16.00	1907.63	18713.85
3	12.00	1907.63	18713.85
2	8.00	2321.55	22774.41
1	4.00	2287.79	22443.22
Toplam		53365.43	523514.87

Dış destek kirişli modelde kat ağırlıkları ek yapı elemanı kullanımına bağlı olarak %2.1 attığı gözlemlenmiştir.

### 3.1.3. (A1) Burulma Düzensizliği Kontrolü

Doğrusal analiz için Burulma tahkiki sonuçları Sap2000 programından alınmıştır. Dış destek kirişsiz model için X doğrultusunda burulma tahkik sonuçları Tablo 3.5'te, dış destek kirişsiz model için Y doğrultusunda burulma tahkik sonuçları Tablo 3.6'da, Dış Destek kirişli model için X doğrultusunda burulma tahkik sonuçları Tablo 3.7'de, dış destek kirişli model için Y doğrultusunda burulma tahkik sonuçları Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Dış destek kirişsiz model için X doğrultusunda burulma kontrolü

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	$\Delta_{ix.max}$ (m)	$\Delta_{ix.max}$ (m)	$\Delta_{ix.ort}$ (m)	$\eta_{bi.x}$ (m)	Kontrol; $\leq 1.2$
116.0	4.0	0.07128	0.07128	0.07128	1.00	✓
112.0	4.0	0.06971	0.06971	0.06971	1.00	✓
108.0	4.0	0.06806	0.06806	0.06806	1.00	✓
104.0	4.0	0.06630	0.06630	0.06630	1.00	✓
100.0	4.0	0.06442	0.06442	0.06442	1.00	✓
96.0	4.0	0.06239	0.06239	0.06239	1.00	✓
92.0	4.0	0.06022	0.06022	0.06022	1.00	✓
88.0	4.0	0.05791	0.05791	0.05791	1.00	✓
84.0	4.0	0.05546	0.05546	0.05546	1.00	✓
80.0	4.0	0.05288	0.05288	0.05288	1.00	✓
76.0	4.0	0.05021	0.05021	0.05021	1.00	✓
72.0	4.0	0.04744	0.04744	0.04744	1.00	✓
68.0	4.0	0.04457	0.04457	0.04457	1.00	✓
64.0	4.0	0.04161	0.04161	0.04161	1.00	✓
60.0	4.0	0.03856	0.03856	0.03856	1.00	✓
56.0	4.0	0.03543	0.03543	0.03543	1.00	✓
52.0	4.0	0.03223	0.03223	0.03223	1.00	✓
48.0	4.0	0.02897	0.02897	0.02897	1.00	✓
44.0	4.0	0.02568	0.02568	0.02568	1.00	✓
40.0	4.0	0.02236	0.02236	0.02236	1.00	✓
36.0	4.0	0.01907	0.01907	0.01907	1.00	✓
32.0	4.0	0.01582	0.01582	0.01582	1.00	✓
28.0	4.0	0.01263	0.01263	0.01263	1.00	✓
24.0	4.0	0.00958	0.00958	0.00958	1.00	✓
20.0	4.0	0.00672	0.00672	0.00672	1.00	✓
16.0	4.0	0.00417	0.00417	0.00417	1.00	✓
12.0	4.0	0.00208	0.00208	0.00208	1.00	✓
8.0	4.0	0.00070	0.00070	0.00070	1.00	✓
4.0	4.0	0.00021	0.00021	0.00021	1.00	✓

Tablo 3.6 Dış destek kirişsiz model için Y doğrultusunda burulma kontrolü

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	$\Delta_{iy.max}$ (m)	$\Delta_{iy.max}$ (m)	$\Delta_{iy.ort}$ (m)	$\eta_{bi.y}$ (m)	Kontrol; $\leq 1.2$
116.0	4.0	0.07036	0.07036	0.07036	1.00	✓
112.0	4.0	0.06866	0.06866	0.06866	1.00	✓
108.0	4.0	0.06687	0.06687	0.06687	1.00	✓
104.0	4.0	0.06500	0.06500	0.06500	1.00	✓
100.0	4.0	0.06300	0.06300	0.06300	1.00	✓
96.0	4.0	0.06089	0.06089	0.06089	1.00	✓
92.0	4.0	0.05866	0.05866	0.05866	1.00	✓
88.0	4.0	0.05630	0.05630	0.05630	1.00	✓
84.0	4.0	0.05381	0.05381	0.05381	1.00	✓
80.0	4.0	0.05121	0.05121	0.05121	1.00	✓
76.0	4.0	0.04853	0.04853	0.04853	1.00	✓
72.0	4.0	0.04576	0.04576	0.04576	1.00	✓
68.0	4.0	0.04291	0.04291	0.04291	1.00	✓
64.0	4.0	0.03997	0.03997	0.03997	1.00	✓
60.0	4.0	0.03696	0.03696	0.03696	1.00	✓
56.0	4.0	0.03389	0.03389	0.03389	1.00	✓
52.0	4.0	0.03076	0.03076	0.03076	1.00	✓
48.0	4.0	0.02760	0.02760	0.02760	1.00	✓
44.0	4.0	0.02442	0.02442	0.02442	1.00	✓
40.0	4.0	0.02123	0.02123	0.02123	1.00	✓
36.0	4.0	0.01810	0.01810	0.01810	1.00	✓
32.0	4.0	0.01501	0.01501	0.01501	1.00	✓
28.0	4.0	0.01201	0.01201	0.01201	1.00	✓
24.0	4.0	0.00914	0.00914	0.00914	1.00	✓
20.0	4.0	0.00645	0.00645	0.00645	1.00	✓
16.0	4.0	0.00404	0.00404	0.00404	1.00	✓
12.0	4.0	0.00205	0.00205	0.00205	1.00	✓
8.0	4.0	0.00069	0.00069	0.00069	1.00	✓
4.0	4.0	0.00022	0.00022	0.00022	1.00	✓

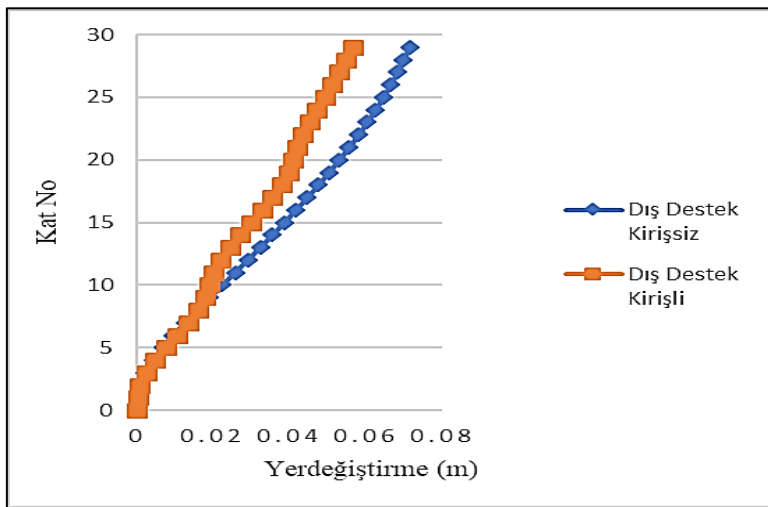
Yapılan kontroller neticesinde dış destek kirişsiz yapı için X doğrultusunda ve y doğrultusunda (A1) burulma düzensizliğine rastlanmamıştır.

Tablo 3.7 Dış destek kirişli model için X doğrultusunda burulma kontrolü

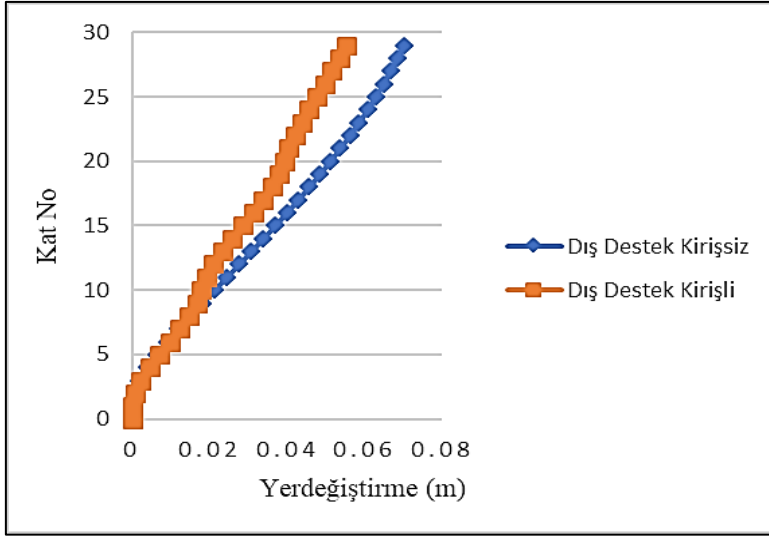
Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	$\Delta_{ix.max}$ (m)	$\Delta_{ix.max}$ (m)	$\Delta_{ix.ort}$ (m)	$\eta_{bi.x}$ (m)	Kontrol; $\leq 1.2$
116.0	4.0	0.05650	0.05650	0.05650	1.00	✓
112.0	4.0	0.05478	0.05478	0.05478	1.00	✓
108.0	4.0	0.05299	0.05299	0.05299	1.00	✓
104.0	4.0	0.05110	0.05110	0.05110	1.00	✓
100.0	4.0	0.04915	0.04915	0.04915	1.00	✓
96.0	4.0	0.04718	0.04718	0.04718	1.00	✓
92.0	4.0	0.04524	0.04524	0.04524	1.00	✓
88.0	4.0	0.04345	0.04345	0.04345	1.00	✓
84.0	4.0	0.04192	0.04192	0.04192	1.00	✓
80.0	4.0	0.04082	0.04082	0.04082	1.00	✓
76.0	4.0	0.03964	0.03964	0.03964	1.00	✓
72.0	4.0	0.03779	0.03779	0.03779	1.00	✓
68.0	4.0	0.03544	0.03544	0.03544	1.00	✓
64.0	4.0	0.03277	0.03277	0.03277	1.00	✓
60.0	4.0	0.02994	0.02994	0.02994	1.00	✓
56.0	4.0	0.02709	0.02709	0.02709	1.00	✓
52.0	4.0	0.02439	0.02439	0.02439	1.00	✓
48.0	4.0	0.02200	0.02200	0.02200	1.00	✓
44.0	4.0	0.02014	0.02014	0.02014	1.00	✓
40.0	4.0	0.01903	0.01903	0.01903	1.00	✓
36.0	4.0	0.01788	0.01788	0.01788	1.00	✓
32.0	4.0	0.01591	0.01591	0.01591	1.00	✓
28.0	4.0	0.01336	0.01336	0.01336	1.00	✓
24.0	4.0	0.01051	0.01051	0.01051	1.00	✓
20.0	4.0	0.00757	0.00757	0.00757	1.00	✓
16.0	4.0	0.00480	0.00480	0.00480	1.00	✓
12.0	4.0	0.00244	0.00244	0.00244	1.00	✓
8.0	4.0	0.00084	0.00084	0.00084	1.00	✓
4.0	4.0	0.00026	0.00026	0.00026	1.00	✓

Tablo 3.8 Dış destek kirişli model için Y doğrultusunda burulma kontrolü

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	$\Delta_{iy.max}$ (m)	$\Delta_{iy.max}$ (m)	$\Delta_{iy.ort}$ (m)	$\eta_{bi.y}$ (m)	Kontrol; $\leq 1.2$
116.0	4.0	0.05531	0.05531	0.05531	1.00	✓
112.0	4.0	0.05354	0.05354	0.05354	1.00	✓
108.0	4.0	0.05170	0.05170	0.05170	1.00	✓
104.0	4.0	0.04978	0.04978	0.04978	1.00	✓
100.0	4.0	0.04782	0.04782	0.04782	1.00	✓
96.0	4.0	0.04584	0.04584	0.04584	1.00	✓
92.0	4.0	0.04390	0.04390	0.04390	1.00	✓
88.0	4.0	0.04206	0.04206	0.04206	1.00	✓
84.0	4.0	0.04045	0.04045	0.04045	1.00	✓
80.0	4.0	0.03932	0.03932	0.03932	1.00	✓
76.0	4.0	0.03812	0.03812	0.03812	1.00	✓
72.0	4.0	0.03623	0.03623	0.03623	1.00	✓
68.0	4.0	0.03393	0.03393	0.03393	1.00	✓
64.0	4.0	0.03138	0.03138	0.03138	1.00	✓
60.0	4.0	0.02870	0.02870	0.02870	1.00	✓
56.0	4.0	0.02601	0.02601	0.02601	1.00	✓
52.0	4.0	0.02342	0.02342	0.02342	1.00	✓
48.0	4.0	0.02107	0.02107	0.02107	1.00	✓
44.0	4.0	0.01914	0.01914	0.01914	1.00	✓
40.0	4.0	0.01802	0.01802	0.01802	1.00	✓
36.0	4.0	0.01685	0.01685	0.01685	1.00	✓
32.0	4.0	0.01486	0.01486	0.01486	1.00	✓
28.0	4.0	0.01243	0.01243	0.01243	1.00	✓
24.0	4.0	0.00978	0.00978	0.00978	1.00	✓
20.0	4.0	0.00709	0.00709	0.00709	1.00	✓
16.0	4.0	0.00454	0.00454	0.00454	1.00	✓
12.0	4.0	0.00235	0.00235	0.00235	1.00	✓
8.0	4.0	0.00082	0.00082	0.00082	1.00	✓
4.0	4.0	0.00027	0.00027	0.00027	1.00	✓



Şekil 3.1. Her iki model için X doğrultusunda ötelemelerin karşılaştırılması



Şekil 3.2. Her iki model için Y doğrultusunda ötelemelerin karşılaştırılması

Yapılan kontroller neticesinde dış destek kirişli modelde X doğrultusunda ve Y doğrultusunda tüm katlar için (A1) burulma düzensizliğine rastlanmamıştır. X doğrultusunda dış destek kirişsiz model için maksimum yer değiştirme 0.71 metre iken dış destek kirişli model için 0.56 metre olmuştur. Y doğrultusunda dış destek kirişsiz model için maksimum yer değiştirme 0.70 metre iken dış destek kirişli model için 0.55 metre olmuştur. X ve Y doğrultusunda %21 oranında ötelemeler azalmıştır.

#### 3.1.4. (A2) Döşeme Süreksizliği Kontrolleri

TBDY-2018'e göre döşemedeki boşlukların toplam kat alanına oranının 1/3'den fazla olması gerekmektedir. Yatayda döşemede boşluk oranının fazla olması taşıyıcı sistem elemanlarına yük aktarımını ve döşeme dayanımını olumsuz etkilemektedir.

$$\text{Toplam yapı alanı} = 900 \text{ m}^2 \rightarrow 900 / 3 = 300 \text{ m}^2$$

$$\text{Yapıda asansör + merdiven boşlukları toplamı} = 36 \text{ m}^2 < 300 \text{ m}^2 \rightarrow \checkmark$$

Boşluk alanlarının yapı alanına oranı 0.04 olduğundan dolayı yapıda (A2) Döşeme süreksizliği bulunmamaktadır. Asansör ve merdiven boşlukları rijit kirişlerle çevrelendiği için boşluk kısımlarında oluşabilecek görelî kat ötelemeler kısıtlanmıştır, rijitlik artırılmıştır.

### 3.1.5. (A3) Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliği

Bina modelleri için ankastre balkonlar tasarlanmıştır. Çıkıntı yapılan döşeme alanının toplam kat alanının %20'sinden küçük olması gerekmektedir. Dolayısıyla;

$$\text{Toplam kat alanı} = 900 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad 900 / 5 = 180 \text{ m}^2$$

$$\text{Toplam balkon alanları} = 64 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad 64 \text{ m}^2 < 180 \text{ m}^2 \quad \checkmark$$

Yapıda A3 türü düzensizlik söz konusu değildir.

### 3.1.6. (B1) Komşu Katlar Arası Dayanım (Zayıf Kat) Düzensizliği

Betonarme binalarda, herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanının, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı ( $\eta_{ci}$ ) 0.80'den küçük olması gerekmektedir. Tez çalışmasında +40.0 ve +80.0 kotlarından sonra kolonlar sırası ile 1.00m'lik kesitten 0.90m'lik kesite sonrasında ise 0.90m'lik kesitten 0.80m'lik kesite düşürülmüştür. Perdeler ise 0.60m'lik kalınlıktan 0.50m'lik kalınlığa sonrasında ise 0.50m'lik kalınlıktan 0.40m'lik kalınlığa düşürülmüştür. Katlardaki bölme duvarlar tüm katlarda aynı şekil devam ettiği varsayıldığı için her kat için dayanıma katkısı aynı olacaktır ve bu hesapta ihmal edilmiştir.

➤ +40.0 kot ile +44.0 kotlar arası X doğrultusu için etkili kesme alanı kontrolü;

$$\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1};$$

$$\sum A_w = 32 \text{ m}^2$$

$$\sum A_g = 25.2 \text{ m}^2$$

$$\sum A_{(w+1)} = 25.92 \text{ m}^2$$

$$\sum A_{(g+1)} = 21 \text{ m}^2$$

$$\eta_{ci}; 46.92/57.2 = 0.82 \rightarrow \quad \checkmark$$

➤ +40.0 kot ile +44.0 kotlar arası Y doğrultusu için etkili kesme alanı kontrolü;

$$\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1};$$

$$\sum A_w = 32 \text{ m}^2$$

$$\sum A_g = 18 \text{ m}^2$$



$$\Sigma A_{w+1} = 25.92 \text{ m}^2$$

$$\Sigma A_{g+1} = 15 \text{ m}^2$$

$$\eta_{ci}; 4.92/50 = 0.82 \rightarrow \checkmark$$

➤ +80.0 kot ile +84.0 kotlar arası X doğrultusu için etkili kesme alanı kontrolü;

$$\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1};$$

$$\Sigma A_w = 25.92 \text{ m}^2$$

$$\Sigma A_g = 21 \text{ m}^2$$

$$\Sigma A_{(w+1)} = 20.48 \text{ m}^2$$

$$\Sigma A_{(g+1)} = 16.8 \text{ m}^2$$

$$\eta_{ci}; 37.28/46.92 = 0.80 \rightarrow$$

➤ +80.0 kot ile +84.0 kotlar arası Y doğrultusu için etkili kesme alanı kontrolü;

$$\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1};$$

$$\Sigma A_w = 25.92 \text{ m}^2$$

$$\Sigma A_g = 15 \text{ m}^2$$

$$\Sigma A_{(w+1)} = 20.48 \text{ m}^2$$

$$\Sigma A_{(g+1)} = 12 \text{ m}^2$$

$$\eta_{ci}; 32.48/40.92 = 0.80 \rightarrow \checkmark$$

### 3.1.7. (B2) Komşu Katlar Arası Rijitlik (Yumuşak Kat) Düzensizliği

Bodrum katlar dışında, herhangi bir i'nci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısının ( $\eta_{ki}$ ) 2.0'den küçük olması gerekmektedir. Aşağıda her bir düzensizlik tahkiki verilmiştir.

Tablo 3.9. Dış destek kirişsiz bina için X doğrultusu B2 düzensizliği kontrolü

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	$\Delta_{ix.ort}$ (m)	$\Delta_{ix.ort} / h_i$	$\eta_{ki.x} = \frac{(\Delta_{ix.ort} / h_i)}{(\Delta_{ix-1.ort} / h_{i-1})}$	Kontrol; $\leq 2.0$
116.0	4.0	0.07128	0.01782	1.02	✓
112.0	4.0	0.06971	0.01743	1.02	✓
108.0	4.0	0.06806	0.01702	1.03	✓
104.0	4.0	0.06630	0.01658	1.03	✓
100.0	4.0	0.06442	0.01610	1.03	✓
96.0	4.0	0.06239	0.01560	1.04	✓
92.0	4.0	0.06022	0.01505	1.04	✓
88.0	4.0	0.05791	0.01448	1.04	✓
84.0	4.0	0.05546	0.01387	1.05	✓
80.0	4.0	0.05288	0.01322	1.05	✓
76.0	4.0	0.05021	0.01255	1.06	✓
72.0	4.0	0.04744	0.01186	1.06	✓
68.0	4.0	0.04457	0.01114	1.07	✓
64.0	4.0	0.04161	0.01040	1.08	✓
60.0	4.0	0.03856	0.00964	1.09	✓
56.0	4.0	0.03543	0.00886	1.10	✓
52.0	4.0	0.03223	0.00806	1.11	✓
48.0	4.0	0.02897	0.00724	1.13	✓
44.0	4.0	0.02568	0.00642	1.15	✓
40.0	4.0	0.02236	0.00559	1.17	✓
36.0	4.0	0.01907	0.00477	1.21	✓
32.0	4.0	0.01582	0.00395	1.25	✓
28.0	4.0	0.01263	0.00316	1.32	✓
24.0	4.0	0.00958	0.00239	1.43	✓
20.0	4.0	0.00672	0.00168	1.61	✓
16.0	4.0	0.00417	0.00104	2.00	✓
12.0	4.0	0.00208	0.00052		

Tablo 3.10. Dış destek kirişsiz bina için Y doğrultusu B2 düzensizliği kontrolü

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	$\Delta_{iy.ort}$ (m)	$\Delta_{iy.ort} / h_i$	$\eta_{ki,y} = \frac{(\Delta_{iy.ort} / h_i)}{(\Delta_{iy-1,ort} / h_{i-1})}$	Kontrol; $\leq 2.0$
116.0	4.0	0.07036	0.01759	1.02	✓
112.0	4.0	0.06866	0.01716	1.03	✓
108.0	4.0	0.06687	0.01672	1.03	✓
104.0	4.0	0.06500	0.01625	1.03	✓
100.0	4.0	0.06300	0.01575	1.03	✓
96.0	4.0	0.06089	0.01522	1.04	✓
92.0	4.0	0.05866	0.01466	1.04	✓
88.0	4.0	0.05630	0.01407	1.05	✓
84.0	4.0	0.05381	0.01345	1.05	✓
80.0	4.0	0.05121	0.01280	1.06	✓
76.0	4.0	0.04853	0.01213	1.06	✓
72.0	4.0	0.04576	0.01144	1.07	✓
68.0	4.0	0.04291	0.01073	1.07	✓
64.0	4.0	0.03997	0.00999	1.08	✓
60.0	4.0	0.03696	0.00924	1.09	✓
56.0	4.0	0.03389	0.00847	1.10	✓
52.0	4.0	0.03076	0.00769	1.11	✓
48.0	4.0	0.02760	0.00690	1.13	✓
44.0	4.0	0.02442	0.00610	1.15	✓
40.0	4.0	0.02123	0.00531	1.17	✓
36.0	4.0	0.01810	0.00452	1.21	✓
32.0	4.0	0.01501	0.00375	1.25	✓
28.0	4.0	0.01201	0.00300	1.31	✓
24.0	4.0	0.00914	0.00228	1.42	✓
20.0	4.0	0.00645	0.00161	1.60	✓
16.0	4.0	0.00404	0.00101	1.97	✓
12.0	4.0	0.00205	0.00051		

Tablo 3.11. Dış destek kirişli bina için X doğrultusu B2 düzensizliği kontrolü

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	$\Delta_{ix.ort}$ (m)	$\Delta_{ix.ort} / h_i$	$\eta_{ki.x} = \frac{(\Delta_{ix.ort} / h_i)}{(\Delta_{ix-1.ort} / h_{i-1})}$	Kontrol; $\leq 2.0$
116.0	4.0	0.05650	0.01413	1.03	✓
112.0	4.0	0.05478	0.01370	1.03	✓
108.0	4.0	0.05299	0.01325	1.04	✓
104.0	4.0	0.05110	0.01278	1.04	✓
100.0	4.0	0.04915	0.01229	1.04	✓
96.0	4.0	0.04718	0.01179	1.04	✓
92.0	4.0	0.04524	0.01131	1.04	✓
88.0	4.0	0.04345	0.01086	1.04	✓
84.0	4.0	0.04192	0.01048	1.03	✓
80.0	4.0	0.04082	0.01020	1.03	✓
76.0	4.0	0.03964	0.00991	1.05	✓
72.0	4.0	0.03779	0.00945	1.07	✓
68.0	4.0	0.03544	0.00886	1.08	✓
64.0	4.0	0.03277	0.00819	1.09	✓
60.0	4.0	0.02994	0.00748	1.10	✓
56.0	4.0	0.02709	0.00677	1.11	✓
52.0	4.0	0.02439	0.00610	1.11	✓
48.0	4.0	0.02200	0.00550	1.09	✓
44.0	4.0	0.02014	0.00503	1.06	✓
40.0	4.0	0.01903	0.00476	1.06	✓
36.0	4.0	0.01788	0.00447	1.12	✓
32.0	4.0	0.01591	0.00398	1.19	✓
28.0	4.0	0.01336	0.00334	1.27	✓
24.0	4.0	0.01051	0.00263	1.39	✓
20.0	4.0	0.00757	0.00189	1.58	✓
16.0	4.0	0.00480	0.00120	1.96	✓
12.0	4.0	0.00244	0.00061		

Tablo 3.12. Dış destek kirişli bina için Y doğrultusu B2 düzensizliği kontrolü

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	$\Delta_{iy.ort}$ (m)	$\Delta_{iy.ort} / h_i$	$\eta_{ki.y} = \frac{(\Delta_{iy.ort} / h_i)}{(\Delta_{iy-1.ort} / h_{i-1})}$	Kontrol; $\leq 2.0$
116.0	4.0	0.05531	0.01383	1.03	✓
112.0	4.0	0.05354	0.01338	1.04	✓
108.0	4.0	0.05170	0.01292	1.04	✓
104.0	4.0	0.04978	0.01245	1.04	✓
100.0	4.0	0.04782	0.01196	1.04	✓
96.0	4.0	0.04584	0.01146	1.04	✓
92.0	4.0	0.04390	0.01097	1.04	✓
88.0	4.0	0.04206	0.01052	1.04	✓
84.0	4.0	0.04045	0.01011	1.03	✓
80.0	4.0	0.03932	0.00983	1.03	✓
76.0	4.0	0.03812	0.00953	1.05	✓
72.0	4.0	0.03623	0.00906	1.07	✓
68.0	4.0	0.03393	0.00848	1.08	✓
64.0	4.0	0.03138	0.00784	1.09	✓
60.0	4.0	0.02870	0.00718	1.10	✓
56.0	4.0	0.02601	0.00650	1.11	✓
52.0	4.0	0.02342	0.00585	1.11	✓
48.0	4.0	0.02107	0.00527	1.10	✓
44.0	4.0	0.01914	0.00479	1.06	✓
40.0	4.0	0.01802	0.00450	1.07	✓
36.0	4.0	0.01685	0.00421	1.13	✓
32.0	4.0	0.01486	0.00372	1.20	✓
28.0	4.0	0.01243	0.00311	1.27	✓
24.0	4.0	0.00978	0.00244	1.38	✓
20.0	4.0	0.00709	0.00177	1.56	✓
16.0	4.0	0.00454	0.00114	1.94	✓
12.0	4.0	0.00235	0.00059		

Dış destek kirişli model için X doğrultusunda maksimum yumuşak kat düzensizlik oranı 1.96 olurken, dış destek kirişsiz model için 2.0 olmuştur. Dış destek kirişli model için Y doğrultusunda maksimum yumuşak kat düzensizlik oranı 1.94 olurken, dış destek kirişsiz model için 1.97 olmuştur. X doğrultusunda yumuşak kat düzensizlik oranı %2, Y doğrultusunda %1.5 azaldığı gözlemlenmiştir.

### 3.1.8. (B3) Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılması, kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması bu düzensizlik kapsamındadır, bu düzensizlik durumları deprem etkisinde yapıda fazlaca hasara sebep olabilir. Tasarlanan bina modellerinde bu tarz düzensizlik durumu bulunmamaktadır.

### 3.1.9. Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü

Binalardaki kolon ve perde gibi düşey taşıyıcılarda oluşan şekildeğişiminin ardışık iki kat diyaframının yanal ötelenmeleri arasındaki farkın yönetmelikteki sınır değeri içerisinde kalması gerekmektedir.

Tablo 3.13. Dış destek kirişsiz bina için X doğrultusu Görelî kat öteleme tahkiki

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	$\lambda_x$ = $\frac{(DD-3)}{(DD-2)}$	$u_i^{(x)}$	$\Delta_i^{(x)}$ = $u_i^{(x)} - u_{i-1}^{(x)}$	$\delta_i^{(x)}$ = $\frac{R}{I} \Delta_i^{(x)}$	$\lambda_x \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i}$	Kontrol; $\leq 0.016$
116.0	4.0	0.394	0.07128	0.00156	0.00938	0.00092	✓
112.0	4.0	0.394	0.06971	0.00165	0.00989	0.00097	✓
108.0	4.0	0.394	0.06806	0.00176	0.01056	0.00104	✓
104.0	4.0	0.394	0.06630	0.00189	0.01133	0.00112	✓
100.0	4.0	0.394	0.06442	0.00203	0.01217	0.00120	✓
96.0	4.0	0.394	0.06239	0.00217	0.01301	0.00128	✓
92.0	4.0	0.394	0.06022	0.00231	0.01386	0.00137	✓
88.0	4.0	0.394	0.05791	0.00245	0.01468	0.00145	✓
84.0	4.0	0.394	0.05546	0.00258	0.01548	0.00152	✓
80.0	4.0	0.394	0.05288	0.00267	0.01604	0.00158	✓
76.0	4.0	0.394	0.05021	0.00277	0.01663	0.00164	✓
72.0	4.0	0.394	0.04744	0.00287	0.01721	0.00169	✓
68.0	4.0	0.394	0.04457	0.00296	0.01777	0.00175	✓
64.0	4.0	0.394	0.04161	0.00305	0.01829	0.00180	✓
60.0	4.0	0.394	0.03856	0.00313	0.01878	0.00185	✓
56.0	4.0	0.394	0.03543	0.00320	0.01919	0.00189	✓
52.0	4.0	0.394	0.03223	0.00326	0.01953	0.00192	✓
48.0	4.0	0.394	0.02897	0.00330	0.01977	0.00195	✓
44.0	4.0	0.394	0.02568	0.00332	0.01990	0.00196	✓
40.0	4.0	0.394	0.02236	0.00329	0.01973	0.00194	✓
36.0	4.0	0.394	0.01907	0.00326	0.01953	0.00192	✓
32.0	4.0	0.394	0.01582	0.00318	0.01910	0.00188	✓
28.0	4.0	0.394	0.01263	0.00306	0.01835	0.00181	✓
24.0	4.0	0.394	0.00958	0.00286	0.01716	0.00169	✓
20.0	4.0	0.394	0.00672	0.00255	0.01530	0.00151	✓
16.0	4.0	0.394	0.00417	0.00208	0.01250	0.00123	✓
12.0	4.0	0.394	0.00208	0.00138	0.00827	0.00081	✓
8.0	4.0	0.394	0.00070	0.00049	0.00296	0.00029	✓
4.0	4.0	0.394	0.00021	0.00021	0.00125	0.00012	✓

Tablo 3.14. Dış destek kirişsiz bina için Y doğrultusu Görelî kat öteleme tahkiki

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	$\lambda_y = \frac{(DD - 3)}{(DD - 2)}$	$u_i^{(y)}$	$\Delta_i^{(y)} = u_i^{(y)} - u_{i-1}^{(y)}$	$\delta_i^{(y)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(y)}$	$\lambda_y \frac{\delta_{i,max}^{(y)}}{h_i}$	Kontrol; $\leq 0.016$
116.0	4.0	0.394	0.07036	0.00170	0.01020	0.00100	✓
112.0	4.0	0.394	0.06866	0.00178	0.01069	0.00105	✓
108.0	4.0	0.394	0.06687	0.00188	0.01127	0.00111	✓
104.0	4.0	0.394	0.06500	0.00199	0.01195	0.00118	✓
100.0	4.0	0.394	0.06300	0.00211	0.01267	0.00125	✓
96.0	4.0	0.394	0.06089	0.00224	0.01342	0.00132	✓
92.0	4.0	0.394	0.05866	0.00236	0.01416	0.00139	✓
88.0	4.0	0.394	0.05630	0.00248	0.01489	0.00147	✓
84.0	4.0	0.394	0.05381	0.00260	0.01562	0.00154	✓
80.0	4.0	0.394	0.05121	0.00268	0.01609	0.00158	✓
76.0	4.0	0.394	0.04853	0.00277	0.01662	0.00164	✓
72.0	4.0	0.394	0.04576	0.00285	0.01712	0.00169	✓
68.0	4.0	0.394	0.04291	0.00294	0.01761	0.00173	✓
64.0	4.0	0.394	0.03997	0.00301	0.01805	0.00178	✓
60.0	4.0	0.394	0.03696	0.00307	0.01844	0.00182	✓
56.0	4.0	0.394	0.03389	0.00313	0.01875	0.00185	✓
52.0	4.0	0.394	0.03076	0.00316	0.01898	0.00187	✓
48.0	4.0	0.394	0.02760	0.00318	0.01910	0.00188	✓
44.0	4.0	0.394	0.02442	0.00319	0.01912	0.00188	✓
40.0	4.0	0.394	0.02123	0.00313	0.01880	0.00185	✓
36.0	4.0	0.394	0.01810	0.00309	0.01852	0.00182	✓
32.0	4.0	0.394	0.01501	0.00300	0.01801	0.00177	✓
28.0	4.0	0.394	0.01201	0.00287	0.01724	0.00170	✓
24.0	4.0	0.394	0.00914	0.00269	0.01611	0.00159	✓
20.0	4.0	0.394	0.00645	0.00241	0.01444	0.00142	✓
16.0	4.0	0.394	0.00404	0.00200	0.01197	0.00118	✓
12.0	4.0	0.394	0.00205	0.00135	0.00812	0.00080	✓
8.0	4.0	0.394	0.00069	0.00047	0.00284	0.00028	✓
4.0	4.0	0.394	0.00022	0.00022	0.00133	0.00013	✓

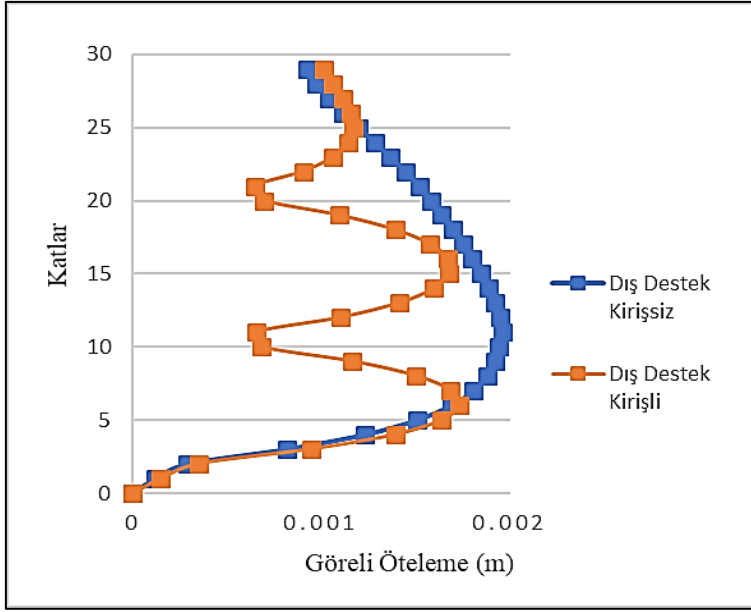
Tablo 3.15. Dış destek kirişli bina için X doğrultusu Görelî kat öteleme tahkiki

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	$\lambda_x = \frac{(DD - 3)}{(DD - 2)}$	$u_i^{(x)}$	$\Delta_i^{(x)} = u_i^{(x)} - u_{i-1}^{(x)}$	$\delta_i^{(x)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(x)}$	$\lambda_x \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i}$	Kontrol; $\leq 0.016$
116.0	4.0	0.394	0.05650	0.00172	0.01031	0.00102	✓
112.0	4.0	0.394	0.05478	0.00180	0.01078	0.00106	✓
108.0	4.0	0.394	0.05299	0.00188	0.01130	0.00111	✓
104.0	4.0	0.394	0.05110	0.00195	0.01171	0.00115	✓
100.0	4.0	0.394	0.04915	0.00198	0.01186	0.00117	✓
96.0	4.0	0.394	0.04718	0.00193	0.01160	0.00114	✓
92.0	4.0	0.394	0.04524	0.00180	0.01078	0.00106	✓
88.0	4.0	0.394	0.04345	0.00153	0.00917	0.00090	✓
84.0	4.0	0.394	0.04192	0.00110	0.00659	0.00065	✓
80.0	4.0	0.394	0.04082	0.00118	0.00707	0.00070	✓
76.0	4.0	0.394	0.03964	0.00185	0.01110	0.00109	✓
72.0	4.0	0.394	0.03779	0.00235	0.01412	0.00139	✓
68.0	4.0	0.394	0.03544	0.00267	0.01602	0.00158	✓
64.0	4.0	0.394	0.03277	0.00283	0.01699	0.00167	✓
60.0	4.0	0.394	0.02994	0.00284	0.01706	0.00168	✓
56.0	4.0	0.394	0.02709	0.00270	0.01622	0.00160	✓
52.0	4.0	0.394	0.02439	0.00239	0.01433	0.00141	✓
48.0	4.0	0.394	0.02200	0.00186	0.01116	0.00110	✓
44.0	4.0	0.394	0.02014	0.00111	0.00664	0.00065	✓
40.0	4.0	0.394	0.01903	0.00115	0.00692	0.00068	✓
36.0	4.0	0.394	0.01788	0.00197	0.01183	0.00117	✓
32.0	4.0	0.394	0.01591	0.00255	0.01528	0.00150	✓
28.0	4.0	0.394	0.01336	0.00286	0.01714	0.00169	✓
24.0	4.0	0.394	0.01051	0.00293	0.01760	0.00173	✓
20.0	4.0	0.394	0.00757	0.00278	0.01665	0.00164	✓
16.0	4.0	0.394	0.00480	0.00236	0.01413	0.00139	✓
12.0	4.0	0.394	0.00244	0.00160	0.00960	0.00095	✓
8.0	4.0	0.394	0.00084	0.00059	0.00353	0.00035	✓
4.0	4.0	0.394	0.00026	0.00026	0.00153	0.00015	✓

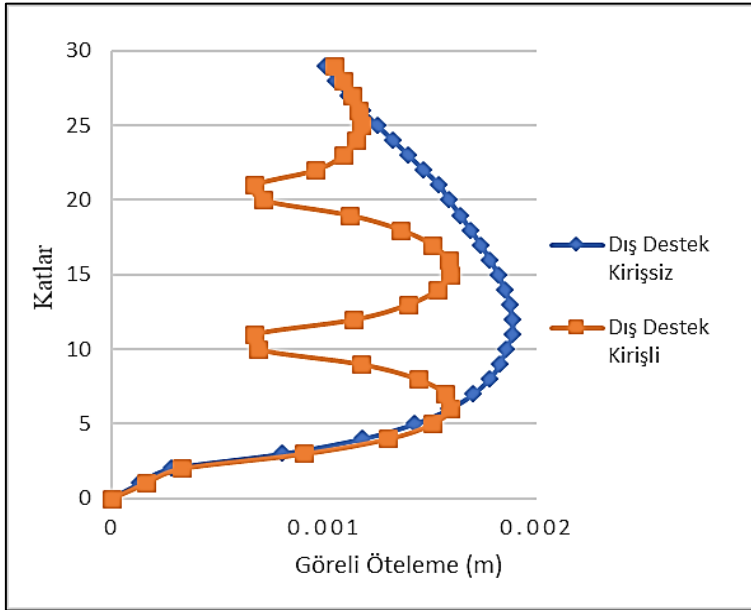


Tablo 3.16. Dış destek kirişli bina için Y doğrultusu Görelî kat öteleme tahkiki

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	$\lambda_y = \frac{(DD - 3)}{(DD - 2)}$	$u_i^{(y)}$	$\Delta_i^{(y)} = u_i^{(y)} - u_{i-1}^{(y)}$	$\delta_i^{(y)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(y)}$	$\lambda_y \frac{\delta_{i,max}^{(y)}}{h_i}$	Kontrol; $\leq 0.016$
116.0	4.0	0.394	0.05531	0.00177	0.01063	0.00105	✓
112.0	4.0	0.394	0.05354	0.00184	0.01106	0.00109	✓
108.0	4.0	0.394	0.05170	0.00191	0.01147	0.00113	✓
104.0	4.0	0.394	0.04978	0.00196	0.01178	0.00116	✓
100.0	4.0	0.394	0.04782	0.00198	0.01187	0.00117	✓
96.0	4.0	0.394	0.04584	0.00194	0.01166	0.00115	✓
92.0	4.0	0.394	0.04390	0.00184	0.01102	0.00109	✓
88.0	4.0	0.394	0.04206	0.00161	0.00968	0.00095	✓
84.0	4.0	0.394	0.04045	0.00113	0.00677	0.00067	✓
80.0	4.0	0.394	0.03932	0.00120	0.00722	0.00071	✓
76.0	4.0	0.394	0.03812	0.00189	0.01133	0.00112	✓
72.0	4.0	0.394	0.03623	0.00230	0.01380	0.00136	✓
68.0	4.0	0.394	0.03393	0.00255	0.01529	0.00151	✓
64.0	4.0	0.394	0.03138	0.00268	0.01606	0.00158	✓
60.0	4.0	0.394	0.02870	0.00269	0.01616	0.00159	✓
56.0	4.0	0.394	0.02601	0.00259	0.01554	0.00153	✓
52.0	4.0	0.394	0.02342	0.00235	0.01412	0.00139	✓
48.0	4.0	0.394	0.02107	0.00193	0.01155	0.00114	✓
44.0	4.0	0.394	0.01914	0.00113	0.00676	0.00067	✓
40.0	4.0	0.394	0.01802	0.00117	0.00699	0.00069	✓
36.0	4.0	0.394	0.01685	0.00199	0.01192	0.00117	✓
32.0	4.0	0.394	0.01486	0.00243	0.01460	0.00144	✓
28.0	4.0	0.394	0.01243	0.00265	0.01591	0.00157	✓
24.0	4.0	0.394	0.00978	0.00269	0.01614	0.00159	✓
20.0	4.0	0.394	0.00709	0.00255	0.01529	0.00151	✓
16.0	4.0	0.394	0.00454	0.00219	0.01316	0.00130	✓
12.0	4.0	0.394	0.00235	0.00153	0.00918	0.00090	✓
8.0	4.0	0.394	0.00082	0.00055	0.00330	0.00033	✓
4.0	4.0	0.394	0.00027	0.00027	0.00160	0.00016	✓



Şekil 3.3. Her iki model için X doğrultusunda kat öteleme karşılaştırılması



Şekil 3.4. Her iki model için Y doğrultusunda kat öteleme karşılaştırılması

Dış destek kirişli model için X doğrultusunda maksimum göreceli öteleme miktarı 0.00173 olurken, dış destek kirişsiz model için 0.00196 olmuştur. Dış destek kirişli model için Y doğrultusunda maksimum göreceli öteleme miktarı 0.00159 olurken, dış destek

kirişsiz model için 0.00188 olmuştur. X doğrultusunda görelî kat öteleme miktarı %12, Y doğrultusunda %15 azaldığı gözlemlenmiştir.

### 3.1.10. Yapıda İkinci Mertebe Etkileri

Tasarlanan her iki model için ikinci mertebe etkileri hesabı Tablo 3.17, Tablo 3.18, Tablo 3.19 ve Tablo 3.20’de verilmiştir.

Tablo 3.17. X doğrultusunda dış destek kirişsiz model için İkinci Mertebe etkileri

Kat Yüksekliği (m)	h <sub>i</sub> (m)	Kütle M <sub>i</sub>	Ağırlık W <sub>i</sub>	ΣW <sub>i</sub>	Δ <sub>ix,ort</sub> (m)	V <sub>ix</sub> (kN)	θ <sub>i,x</sub>	0.12*D/ (Ch*R)	Kontrol; ≤0,1
116.0	4.0	1525.83	14968.39	19923.23	0.0016	3205.44	0.002	0.1	✓
112.0	4.0	1643.71	16124.80	36048.02	0.0016	3888.34	0.004	0.1	✓
108.0	4.0	1643.71	16124.80	52172.82	0.0018	4598.64	0.005	0.1	✓
104.0	4.0	1643.71	16124.80	68297.61	0.0019	5283.57	0.006	0.1	✓
100.0	4.0	1643.71	16124.80	84422.41	0.0020	5943.13	0.007	0.1	✓
96.0	4.0	1643.71	16124.80	100547.20	0.0022	6577.33	0.008	0.1	✓
92.0	4.0	1643.71	16124.80	116672.00	0.0023	7186.16	0.009	0.1	✓
88.0	4.0	1643.71	16124.80	132796.79	0.0024	7769.61	0.010	0.1	✓
84.0	4.0	1643.71	16124.80	148921.59	0.0026	8327.71	0.012	0.1	✓
80.0	4.0	1772.23	17385.58	166307.16	0.0027	8860.43	0.013	0.1	✓
76.0	4.0	1772.23	17385.58	183692.74	0.0028	9407.45	0.014	0.1	✓
72.0	4.0	1772.23	17385.58	201078.32	0.0029	9927.13	0.015	0.1	✓
68.0	4.0	1772.23	17385.58	218463.89	0.0030	10419.45	0.016	0.1	✓
64.0	4.0	1772.23	17385.58	235849.47	0.0030	10884.42	0.017	0.1	✓
60.0	4.0	1772.23	17385.58	253235.05	0.0031	11322.04	0.018	0.1	✓
56.0	4.0	1772.23	17385.58	270620.62	0.0032	11732.31	0.018	0.1	✓
52.0	4.0	1772.23	17385.58	288006.20	0.0033	12115.23	0.019	0.1	✓
48.0	4.0	1772.23	17385.58	305391.77	0.0033	12470.80	0.020	0.1	✓
44.0	4.0	1772.23	17385.58	322777.35	0.0033	12799.01	0.021	0.1	✓
40.0	4.0	1907.63	18713.85	341491.20	0.0033	13099.87	0.021	0.1	✓
36.0	4.0	1907.63	18713.85	360205.05	0.0033	13394.28	0.022	0.1	✓
32.0	4.0	1907.63	18713.85	378918.90	0.0032	13659.25	0.022	0.1	✓
28.0	4.0	1907.63	18713.85	397632.75	0.0031	13894.78	0.022	0.1	✓
24.0	4.0	1907.63	18713.85	416346.60	0.0029	14100.87	0.021	0.1	✓
20.0	4.0	1907.63	18713.85	435060.45	0.0026	14277.51	0.019	0.1	✓
16.0	4.0	1907.63	18713.85	453774.30	0.0021	14424.72	0.016	0.1	✓
12.0	4.0	1907.63	18713.85	472488.15	0.0014	14542.48	0.011	0.1	✓
8.0	4.0	2321.55	22774.41	495262.56	0.0005	14630.80	0.004	0.1	✓
4.0	4.0	2287.79	22443.22	517705.78	0.0002	14702.46	0.002	0.1	✓

Tablo 3.18. X doğrultusunda dış destek kirişli model için İkinci Mertebe etkileri

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	Kütle $M_i$	Ağırlık $W_i$	$\Sigma W_i$	$\Delta_{ix,ort}$ (m)	$V_{ix}$ (kN)	$\theta_{i,x}$	$0.12 \cdot D / (Ch \cdot R)$	Kontrol; $\leq 0,1$
116.0	4.0	1525.83	14968.39	19923.23	0.0017	4598.41	0.002	0.1	✓
112.0	4.0	1643.71	16124.80	36048.02	0.0018	5556.86	0.003	0.1	✓
108.0	4.0	1643.71	16124.80	52172.82	0.0019	6553.76	0.004	0.1	✓
104.0	4.0	1643.71	16124.80	68297.61	0.0020	7515.05	0.004	0.1	✓
100.0	4.0	1643.71	16124.80	84422.41	0.0020	8440.74	0.005	0.1	✓
96.0	4.0	1643.71	16124.80	100547.20	0.0019	9330.82	0.005	0.1	✓
92.0	4.0	1643.71	16124.80	116672.00	0.0018	10185.31	0.005	0.1	✓
88.0	4.0	1643.71	16124.80	132796.79	0.0015	11004.18	0.005	0.1	✓
84.0	4.0	1824.26	17895.99	150692.78	0.0011	11787.46	0.004	0.1	✓
80.0	4.0	1994.35	19564.57	170257.36	0.0012	12617.26	0.004	0.1	✓
76.0	4.0	1919.49	18830.20	189087.55	0.0019	13481.23	0.006	0.1	✓
72.0	4.0	1772.23	17385.58	206473.13	0.0024	14271.19	0.009	0.1	✓
68.0	4.0	1772.23	17385.58	223858.71	0.0027	14962.16	0.010	0.1	✓
64.0	4.0	1772.23	17385.58	241244.28	0.0028	15614.74	0.011	0.1	✓
60.0	4.0	1772.23	17385.58	258629.86	0.0028	16228.93	0.011	0.1	✓
56.0	4.0	1772.23	17385.58	276015.44	0.0027	16804.74	0.011	0.1	✓
52.0	4.0	1772.23	17385.58	293401.01	0.0024	17342.16	0.010	0.1	✓
48.0	4.0	1772.23	17385.58	310786.59	0.0019	17841.20	0.008	0.1	✓
44.0	4.0	1951.94	19148.53	329935.12	0.0011	18301.84	0.005	0.1	✓
40.0	4.0	2127.29	20868.71	350803.83	0.0012	18766.92	0.005	0.1	✓
36.0	4.0	2055.57	20165.14	370968.98	0.0020	19227.70	0.010	0.1	✓
32.0	4.0	1907.63	18713.85	389682.83	0.0025	19628.42	0.013	0.1	✓
28.0	4.0	1907.63	18713.85	408396.68	0.0029	19958.98	0.015	0.1	✓
24.0	4.0	1907.63	18713.85	427110.53	0.0029	20248.22	0.015	0.1	✓
20.0	4.0	1907.63	18713.85	445824.38	0.0028	20496.14	0.015	0.1	✓
16.0	4.0	1907.63	18713.85	464538.23	0.0024	20702.74	0.013	0.1	✓
12.0	4.0	1907.63	18713.85	483252.08	0.0016	20868.02	0.009	0.1	✓
8.0	4.0	2321.55	22774.41	506026.48	0.0006	20991.98	0.004	0.1	✓
4.0	4.0	2287.79	22443.22	528469.70	0.0003	21092.55	0.002	0.1	✓

Tablo 3.19. Y doğrultusunda dış destek kirişsiz model için İkinci Mertebe etkileri

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	Kütle $M_i$	Ağırlık $W_i$	$\Sigma W_i$	$\Delta_{iy,ort}$ (m)	$V_{iy}$ (kN)	$\theta_{i,y}$	$0.12 \cdot D / (Ch \cdot R)$	Kontrol; $\leq 0,1$
116.0	4.0	1525.83	14968.39	19923.23	0.0017	3455.54	0.002	0.1	
112.0	4.0	1643.71	16124.80	36048.02	0.0018	4191.72	0.004	0.1	✓
108.0	4.0	1643.71	16124.80	52172.82	0.0019	4957.44	0.005	0.1	✓
104.0	4.0	1643.71	16124.80	68297.61	0.0020	5695.80	0.006	0.1	✓
100.0	4.0	1643.71	16124.80	84422.41	0.0021	6406.82	0.007	0.1	✓
96.0	4.0	1643.71	16124.80	100547.20	0.0022	7090.49	0.008	0.1	✓
92.0	4.0	1643.71	16124.80	116672.00	0.0024	7746.82	0.009	0.1	✓
88.0	4.0	1643.71	16124.80	132796.79	0.0025	8375.80	0.010	0.1	✓
84.0	4.0	1643.71	16124.80	148921.59	0.0026	8977.43	0.011	0.1	✓
80.0	4.0	1772.23	17385.58	166307.16	0.0027	9551.72	0.012	0.1	✓
76.0	4.0	1772.23	17385.58	183692.74	0.0028	10141.42	0.013	0.1	✓
72.0	4.0	1772.23	17385.58	201078.32	0.0029	10701.64	0.013	0.1	✓
68.0	4.0	1772.23	17385.58	218463.89	0.0029	11232.37	0.014	0.1	✓
64.0	4.0	1772.23	17385.58	235849.47	0.0030	11733.61	0.015	0.1	✓
60.0	4.0	1772.23	17385.58	253235.05	0.0031	12205.38	0.016	0.1	✓
56.0	4.0	1772.23	17385.58	270620.62	0.0031	12647.65	0.017	0.1	✓
52.0	4.0	1772.23	17385.58	288006.20	0.0032	13060.45	0.017	0.1	✓
48.0	4.0	1772.23	17385.58	305391.77	0.0032	13443.75	0.018	0.1	✓
44.0	4.0	1772.23	17385.58	322777.35	0.0032	13797.57	0.019	0.1	✓
40.0	4.0	1907.63	18713.85	341491.20	0.0031	14121.91	0.019	0.1	✓
36.0	4.0	1907.63	18713.85	360205.05	0.0031	14439.29	0.019	0.1	✓
32.0	4.0	1907.63	18713.85	378918.90	0.0030	14724.93	0.019	0.1	✓
28.0	4.0	1907.63	18713.85	397632.75	0.0029	14978.83	0.019	0.1	✓
24.0	4.0	1907.63	18713.85	416346.60	0.0027	15201.00	0.018	0.1	✓
20.0	4.0	1907.63	18713.85	435060.45	0.0024	15391.42	0.017	0.1	✓
16.0	4.0	1907.63	18713.85	453774.30	0.0020	15550.11	0.015	0.1	✓
12.0	4.0	1907.63	18713.85	472488.15	0.0014	15677.06	0.010	0.1	✓
8.0	4.0	2321.55	22774.41	495262.56	0.0005	15772.28	0.004	0.1	✓
4.0	4.0	2287.79	22443.22	517705.78	0.0002	15849.53	0.002	0.1	✓

Tablo 3.20. Y doğrultusunda dış destek kirişli model için İkinci Mertebe etkileri

Kat Yüksekliği (m)	$h_i$ (m)	Kütle $M_i$	Ağırlık $W_i$	$\Sigma W_i$	$\Delta_{iy,ort}$ (m)	$V_{iy}$ (kN)	$\theta_{i,y}$	$0.12 \cdot D / (Ch \cdot R)$	Kontrol; $\leq 0,1$
116.0	4.0	1525.83	14968.39	19923.23	0.0018	4577.55	0.002	0.1	✓
112.0	4.0	1643.71	16124.80	36048.02	0.0018	5531.65	0.003	0.1	✓
108.0	4.0	1643.71	16124.80	52172.82	0.0019	6524.02	0.004	0.1	✓
104.0	4.0	1643.71	16124.80	68297.61	0.0020	7480.95	0.004	0.1	✓
100.0	4.0	1643.71	16124.80	84422.41	0.0020	8402.43	0.005	0.1	✓
96.0	4.0	1643.71	16124.80	100547.20	0.0019	9288.47	0.005	0.1	✓
92.0	4.0	1643.71	16124.80	116672.00	0.0018	10139.07	0.005	0.1	✓
88.0	4.0	1643.71	16124.80	132796.79	0.0016	10954.23	0.005	0.1	✓
84.0	4.0	1824.26	17895.99	150692.78	0.0011	11733.95	0.004	0.1	✓
80.0	4.0	1994.35	19564.57	170257.36	0.0012	12559.98	0.004	0.1	✓
76.0	4.0	1919.49	18830.20	189087.55	0.0019	13420.03	0.007	0.1	✓
72.0	4.0	1772.23	17385.58	206473.13	0.0023	14206.40	0.008	0.1	✓
68.0	4.0	1772.23	17385.58	223858.71	0.0025	14894.23	0.010	0.1	✓
64.0	4.0	1772.23	17385.58	241244.28	0.0027	15543.85	0.010	0.1	✓
60.0	4.0	1772.23	17385.58	258629.86	0.0027	16155.26	0.011	0.1	✓
56.0	4.0	1772.23	17385.58	276015.44	0.0026	16728.45	0.011	0.1	✓
52.0	4.0	1772.23	17385.58	293401.01	0.0024	17263.43	0.010	0.1	✓
48.0	4.0	1772.23	17385.58	310786.59	0.0019	17760.20	0.008	0.1	✓
44.0	4.0	1951.94	19148.53	329935.12	0.0011	18218.75	0.005	0.1	✓
40.0	4.0	2127.29	20868.71	350803.83	0.0012	18681.72	0.005	0.1	✓
36.0	4.0	2055.57	20165.14	370968.98	0.0020	19140.41	0.010	0.1	✓
32.0	4.0	1907.63	18713.85	389682.83	0.0024	19539.31	0.012	0.1	✓
28.0	4.0	1907.63	18713.85	408396.68	0.0027	19868.37	0.014	0.1	✓
24.0	4.0	1907.63	18713.85	427110.53	0.0027	20156.29	0.014	0.1	✓
20.0	4.0	1907.63	18713.85	445824.38	0.0025	20403.09	0.014	0.1	✓
16.0	4.0	1907.63	18713.85	464538.23	0.0022	20608.75	0.012	0.1	✓
12.0	4.0	1907.63	18713.85	483252.08	0.0015	20773.28	0.009	0.1	✓
8.0	4.0	2321.55	22774.41	506026.48	0.0006	20896.68	0.003	0.1	✓
4.0	4.0	2287.79	22443.22	528469.70	0.0003	20996.79	0.002	0.1	✓

Dış destek kirişsiz model için X doğrultusunda maksimum ikinci mertebe etkisi 0.022 olurken dış destek kirişli model için 0.015, Y doğrultusunda maksimum ikinci mertebe etkisi 0.019 olurken dış destek kirişli model için 0.014 olduğu gözlemlenmiştir. İkinci mertebe etkileri X doğrultusunda %30, Y doğrultusunda %26 azalmıştır.

### 3.2. Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları ve İrdelemeler

#### 3.2.1. Modal Analiz Sonuçları

Modellenen her iki yüksek binanın doğru olduğunu anlayabilmek adına modal analiz sonuçları kullanılacaktır. Modal analiz sırasında yönetmelikte verilen başlangıç rijitlik değerleri kullanılmıştır. Bu sayede modal analiz ile edilen değerler doğrusal analiz için

yapılan modal analiz sonuçlarıyla karşılaştırılabilmektedir. Analiz sonuçlarından sonra periyot ve kütle katılım değerleri birbirine yakın ise, yapının rijitliğinin ve kütlesinin doğru olarak modellendiği anlaşıldığı varsayılacaktır. Doğrusal olmayan tasarım için Modal analiz sonuçları Tablo 3.21 ve Tablo 3.22’de verilmiştir. Sonuçlar doğrultusunda periyot değerleri birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Periyot artış oranı X doğrultusunda %5 Y doğrultusunda %6 artış göstermiştir. Bunun en önemli sebebi ise etkin rijitlik değerlerinin fark etmesi ve perdelerin kabuk model yerine çubuk model olarak tasarlanmasıdır.

Tablo 3.21. Doğrusal olmayan analiz için dış destek kirişsiz model kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	SumUX	SumUY
1	<b>3.11605</b>	0.00000	<b>0.63440</b>	0.00000	0.63440
2	<b>2.98415</b>	<b>0.64673</b>	0.00000	0.64673	0.63440
3	2.26784	0.00000	0.00000	0.64673	0.63440
4	0.92090	0.00000	0.14265	0.64673	0.77705
5	0.91224	0.13497	0.00000	0.78170	0.77705
6	0.72107	0.00000	0.00000	0.78170	0.77705
7	0.44270	0.05740	0.00000	0.83910	0.77705
8	0.42278	0.00000	0.06196	0.83910	0.83901
9	0.35670	0.00000	0.00000	0.83910	0.83901
10	0.26127	0.03299	0.00000	0.87210	0.83901
11	0.24414	0.00000	0.03507	0.87210	0.87408
12	0.21134	0.00000	0.00000	0.87210	0.87408
13	0.21041	0.00000	0.00000	0.87210	0.87408
14	0.19583	0.00010	0.00000	0.87219	0.87408
15	0.19580	0.00000	0.00004	0.87219	0.87412
16	0.18439	0.00000	0.00000	0.87219	0.87412
17	0.17417	0.00000	0.00000	0.87219	0.87412
18	0.17309	0.02244	0.00000	0.89463	0.87412
...					
...					
...					
80	0.12687	0.00000	0.00000	0.89516	0.89771
81	0.12686	0.00000	0.00000	0.89516	0.89771
82	0.12686	0.00000	0.00000	0.89516	0.89771
83	0.12675	0.00000	0.00000	0.89516	0.89771
84	0.12675	0.00000	0.00000	0.89516	0.89771
85	0.12675	0.00000	0.00000	0.89516	0.89771
86	0.12675	0.00000	0.00000	0.89516	0.89771
87	0.12667	0.00008	0.00000	0.89524	0.89771

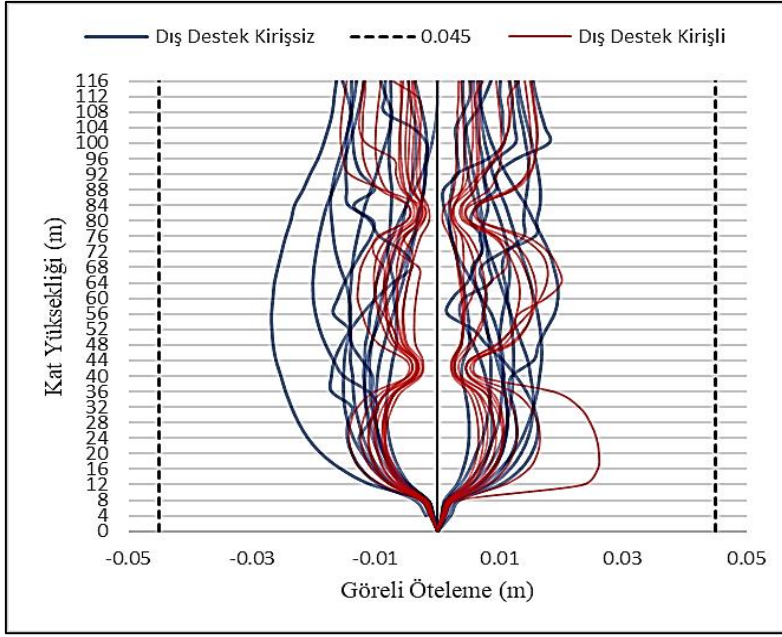
Tablo 3.22. Doğrusal olmayan analiz için dış destek kirişli model kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	SumUX	SumUY
1	<b>2.16960</b>	0.00000	<b>0.67894</b>	0.00000	0.67894
2	<b>2.13666</b>	<b>0.68963</b>	0.00000	0.68963	0.67894
3	1.65419	0.00000	0.00000	0.68963	0.67894
4	0.73508	0.00000	0.12961	0.68963	0.80854
5	0.73447	0.12615	0.00000	0.81578	0.80854
6	0.58632	0.00000	0.00000	0.81578	0.80854
7	0.43800	0.04148	0.00000	0.85726	0.80854
8	0.42024	0.00000	0.04791	0.85726	0.85645
9	0.35614	0.00000	0.00000	0.85726	0.85645
10	0.20533	0.01893	0.00000	0.87618	0.85645
11	0.19814	0.00000	0.02112	0.87618	0.87758
12	0.19522	0.00000	0.00000	0.87618	0.87758
13	0.17326	0.00000	0.00000	0.87618	0.87758
14	0.17022	0.01069	0.00000	0.88687	0.87758
15	0.16498	0.00000	0.00900	0.88687	0.88658
16	0.15065	0.01479	0.00000	0.90167	0.88658
17	0.14470	0.00000	0.01748	0.90167	0.90405
18	0.13897	0.00000	0.00000	0.90167	0.90405
...					
...					
...					
80	0.12655	0.00000	0.00000	0.90186	0.90427
81	0.12655	0.00001	0.00000	0.90187	0.90427
82	0.12655	0.00000	0.00000	0.90187	0.90427
83	0.12649	0.00005	0.00000	0.90193	0.90427
84	0.12649	0.00000	0.00000	0.90193	0.90427
85	0.12649	0.00000	0.00000	0.90193	0.90427
86	0.12647	0.00000	0.00000	0.90193	0.90427
87	0.12647	0.00002	0.00000	0.90194	0.90427

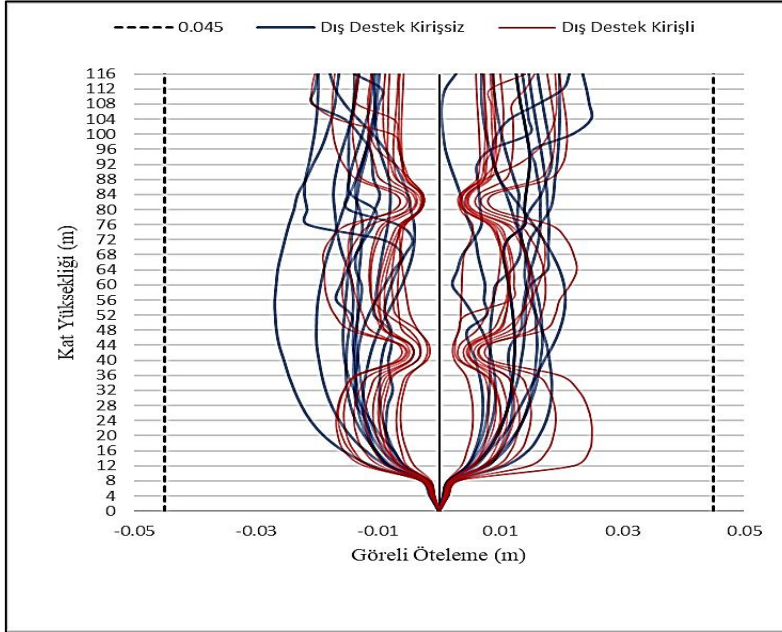
### 3.2.2. Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

Yüksek yapılar için elde edilen göreli kat ötelemelerinin ortalaması 0.03 değerini ve tek bir deprem kaydından elde edilen göreli kat ötelemesi değerinin 0.045'i geçmemesi gerekmektedir. Her iki model için; X doğrultusunda her bir deprem kayıtları için göreli kat ötelemeleri kontrolü Şekil 3.5'de, Y doğrultusunda her bir deprem kaydı için göreli kat ötelemeleri kontrolü Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Her iki model için ortalama göreli kat öteleme değerleri Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü üzere tasarlanan yapı gereken şartları sağlamaktadır.

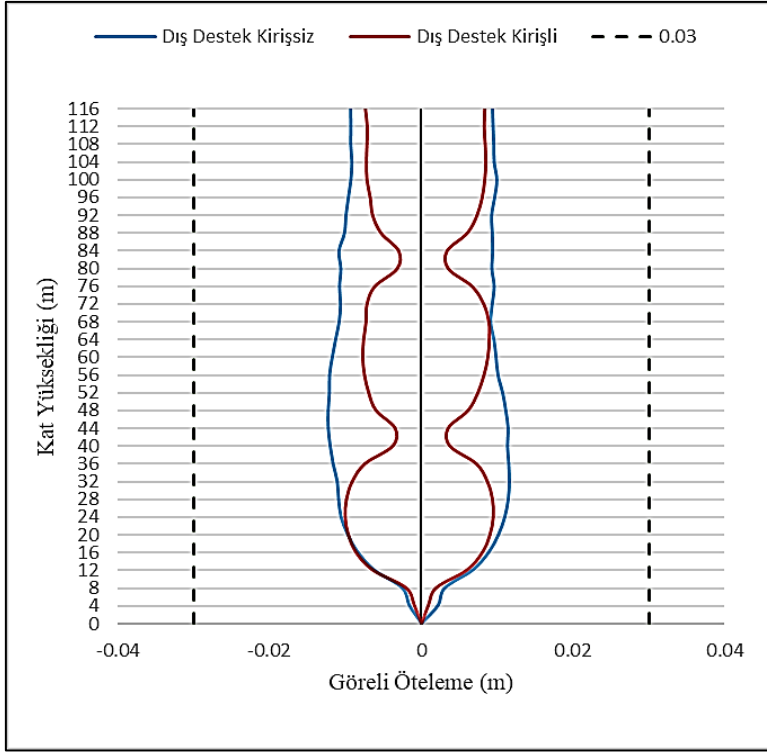




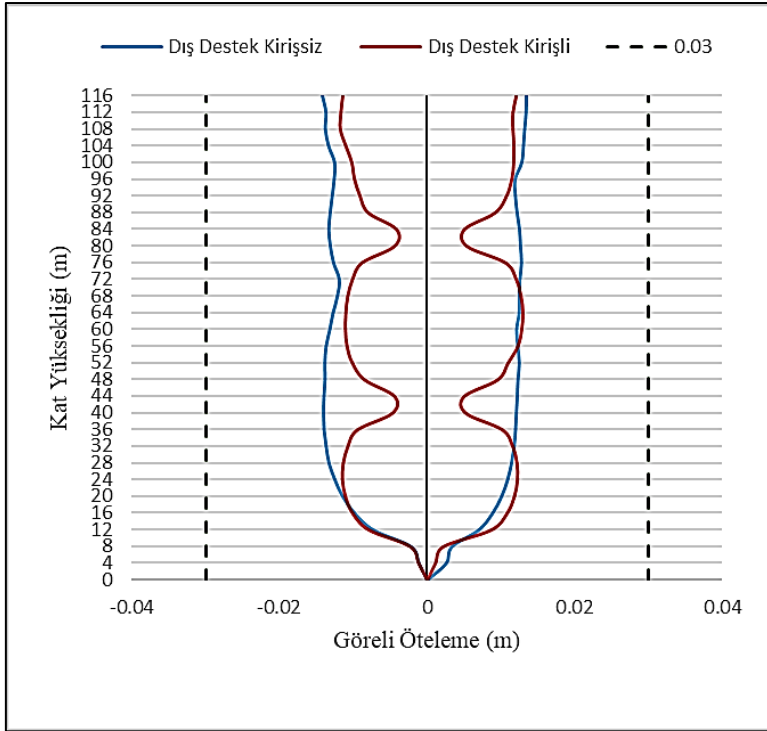
Şekil 3.5. X Doğrultusunda her bir deprem kaydı için görel kat ötelemeleri



Şekil 3.6. Y Doğrultusunda her bir deprem kaydı için görel kat ötelemeleri



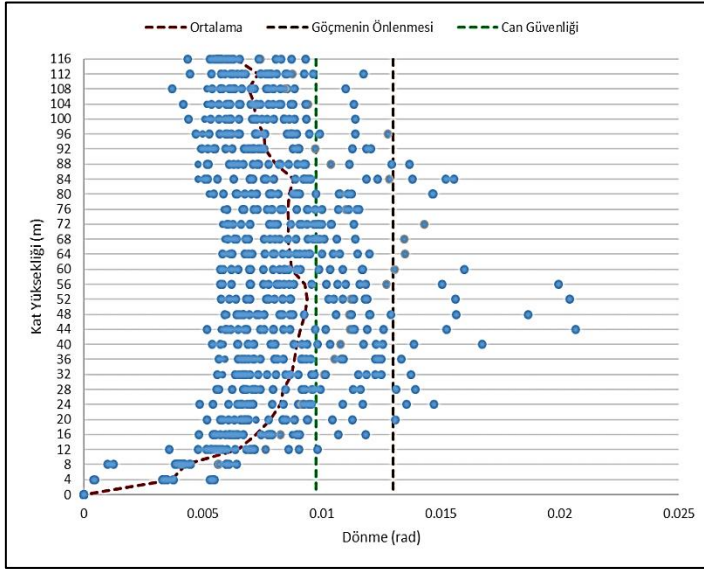
Şekil 3.7. X Doğrultusunda ortalama görelî kat ötelemeleri



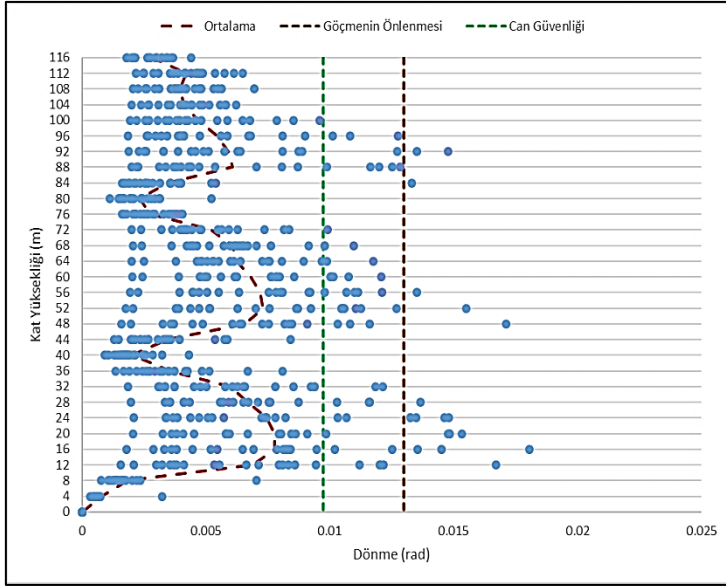
Şekil 3.8. Y Doğrultusunda ortalama görelî kat ötelemeleri

### 3.2.3. Kiriş Plastik Dönmelerinin Kontrolü

Kirişlerin plastik dönmelerinin hesabı için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda her bir deprem kaydı için elde edilen kiriş uçlarının eğrilik değerleri hesaplanmıştır. Dış destek kirişsiz model için B1 kirişli dönme değerleri Şekil 3.9’da, dış destek kirişli model için Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Kirişlerde Plastik uç dönmelerinin ortalamaları hedeflenen performans düzeyi olan göçmenin önlenmesi performans düzeyinin oldukça altında kalmaktadır. Dış destek kirişli modelde ise dönme değerlerinin azaldığı görülmüştür. Dış destek kirişsiz model için maksimum ortalama dönme değeri 0.0093 rad iken, dış destek kirişli model için maksimum ortalama dönme değeri 0.0071’e düşmüştür. Yaklaşık %24 oranında azalma meydana gelmiştir. Her iki bina modeli için Can güvenliği performans düzeyi sağlanmıştır.



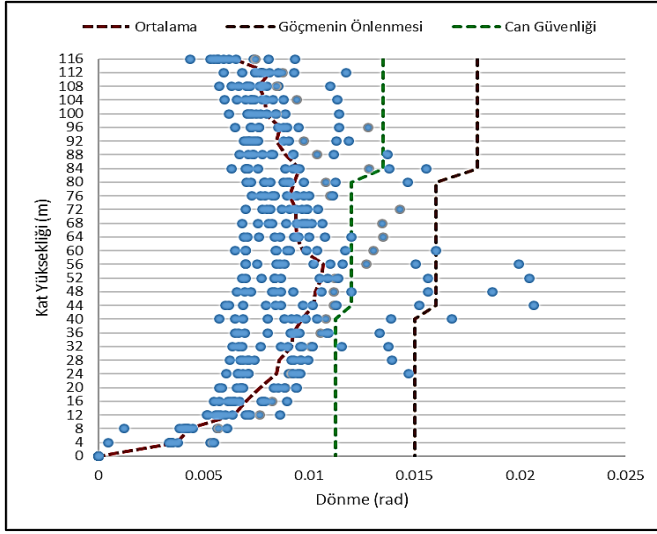
Şekil 3.9. Dış destek kirişsiz model için B1 kiriş dönme değerleri



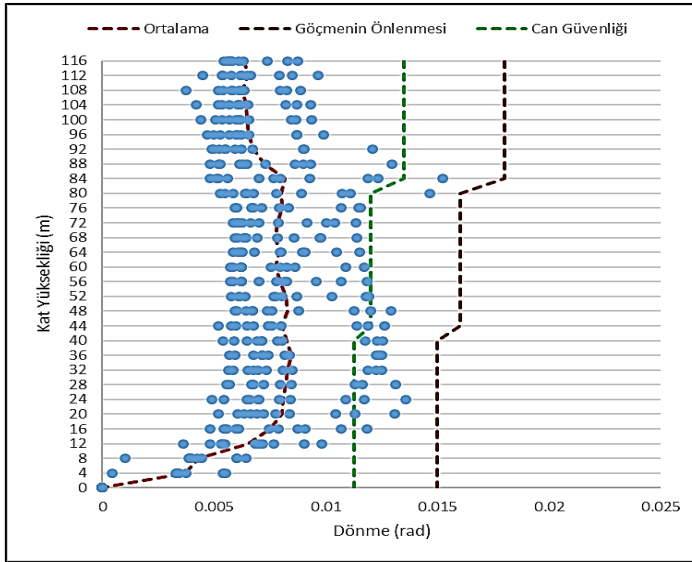
Şekil 3.10. Dış destek kirişli model için B1 kirişi dönme değerleri

#### 3.2.4. Kolon Plastik Dönmelerinin Kontrolü

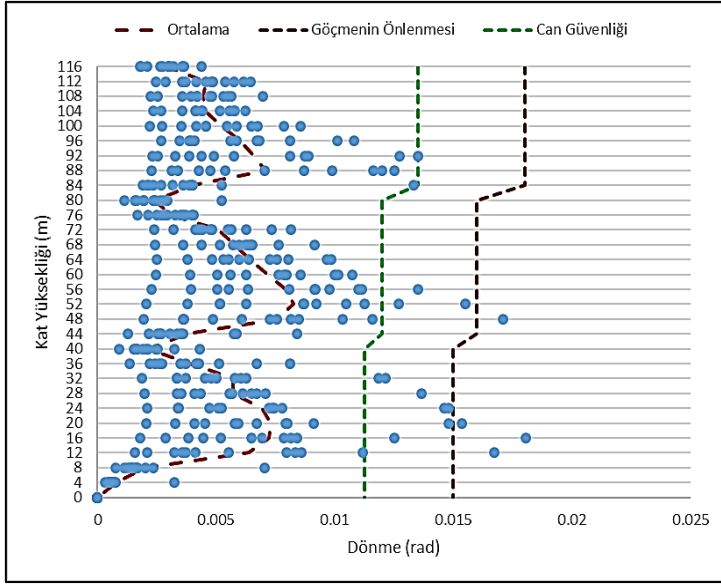
Kolonların plastik dönmelerinin hesabı için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda her bir deprem kaydı için kolon uçlarının eğrilik değerleri hesaplanmıştır. Dış destek kirişsiz model için C1 kolonu X ve Y doğrultularındaki dönme değerleri Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de, dış destek kirişli model için Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’te gösterilmiştir. Dış destek kirişli modelde ise dönme değerlerinin azaldığı görülmüştür. Dış destek kirişsiz model için maksimum ortalama dönme değeri 0.011 rad iken, dış destek kirişli model için maksimum ortalama dönme değeri 0.0082’e düşmüştür. Yaklaşık %25 oranında azalma meydana gelmiştir. Her iki model için Can Güvenliği performans seviyesi sağlanmıştır.



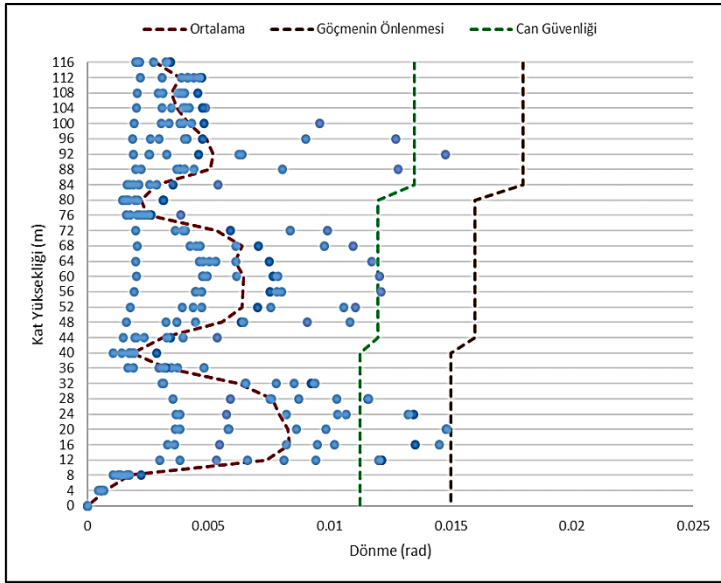
Şekil 3.11. Dış destek kirişsiz model için C1 kolonu X doğrultusu dönme değerleri



Şekil 3.12. Dış destek kirişsiz model için C1 kolonu Y doğrultusu dönme değerleri



Şekil 3.13. Dış destek kirişli model için C1 kolonu X doğrultusunda dönme değerleri

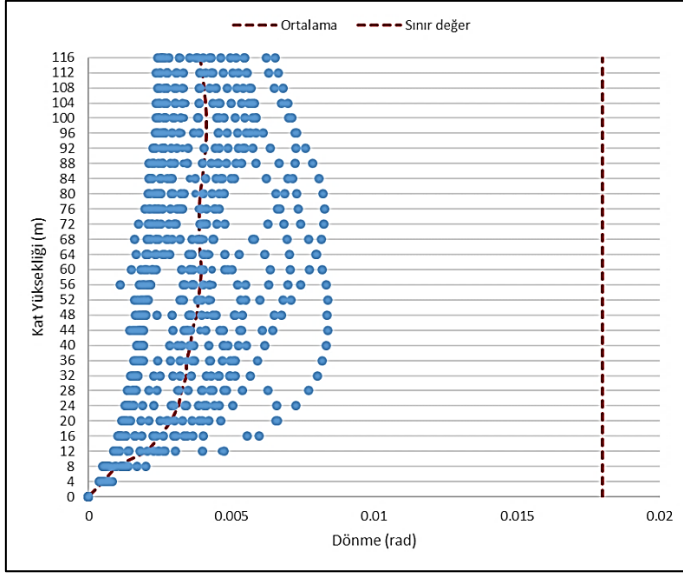


Şekil 3.14. Dış destek kirişli model için C1 kolonu Y doğrultusunda dönme değerleri

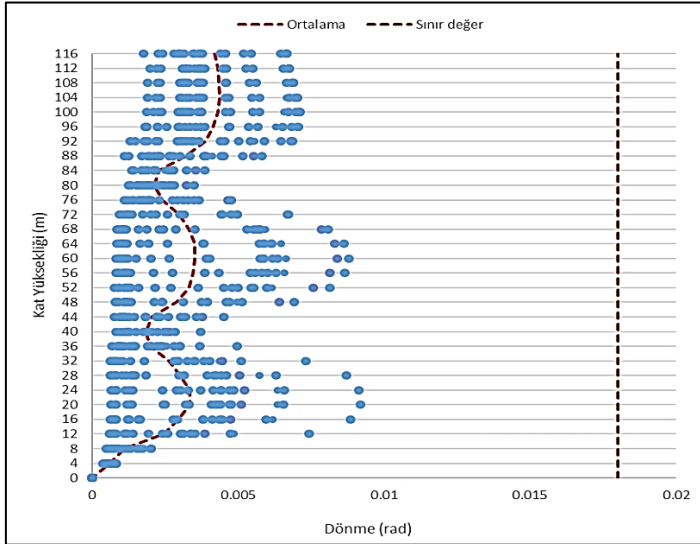
### 3.2.5. Perde Birim Şekildeğiştirme Kontrolü

Perdelerin plastik dönmelerinin hesabı için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda perde uçlarının eğrilik değerleri elde edilmiştir. Dış destek kirişsiz model için P1 perdesi dönme değerleri Şekil 3.15’de, dış destek kirişli model için Şekil 3.16’da

gösterilmiştir. Dış destek kirişli model için ortalama sınır değiştirme değerleri %18 azaldığı görülmüştür. Her iki bina modeli için hedeflenen performans seviyesi sağlanmıştır.



Şekil 3.15. Dış destek kirişsiz model P1 Perdesi dönme değerleri

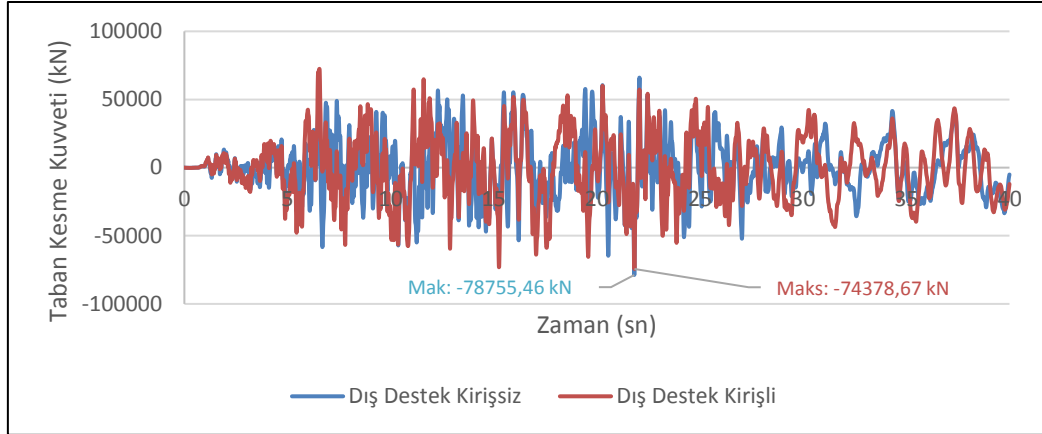


Şekil 3.16. Dış destek kirişli model P1 perdesi dönme değerleri

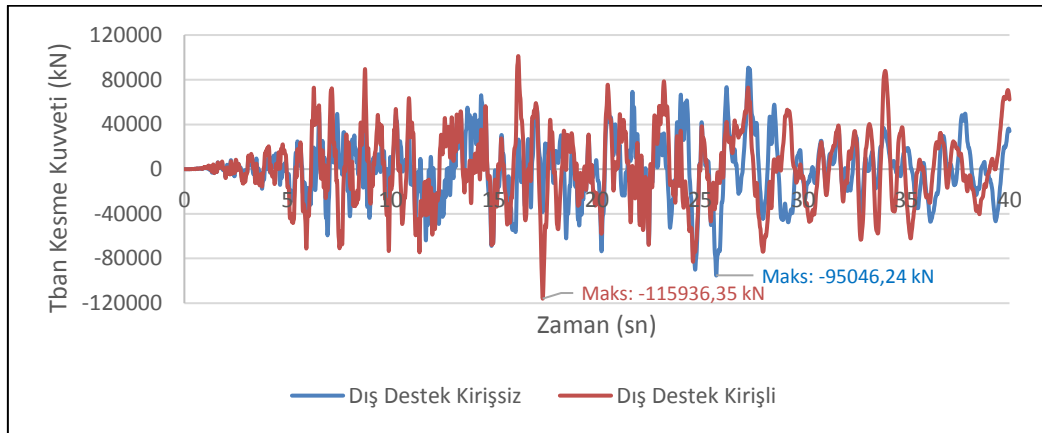
### 3.2.6. Kesme Kuvvetleri, Momentler ve Plastik Mafsallaşma

#### P1 Perdesi Kesme Kuvvetleri

Aşağıdaki şekillerde dış destek kirişli ve dış destek kirişsiz model için X-Y doğrultusunda P1 perdesi kesme kuvvetleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

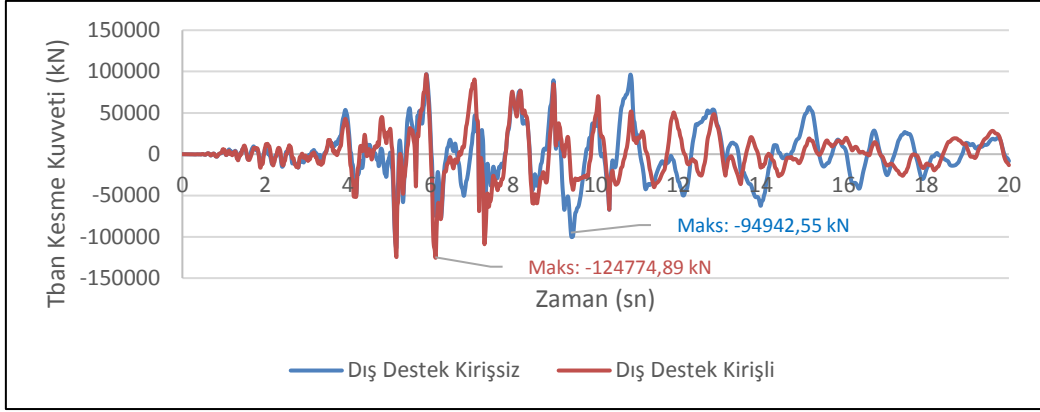


Şekil 3.17. X Doğrultusunda RSN164 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti

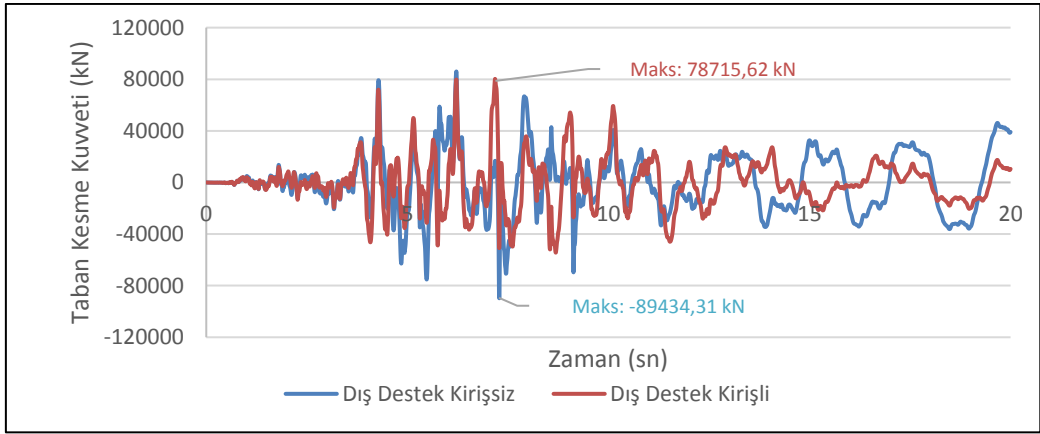


Şekil 3.18. Y Doğrultusunda RSN164 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti

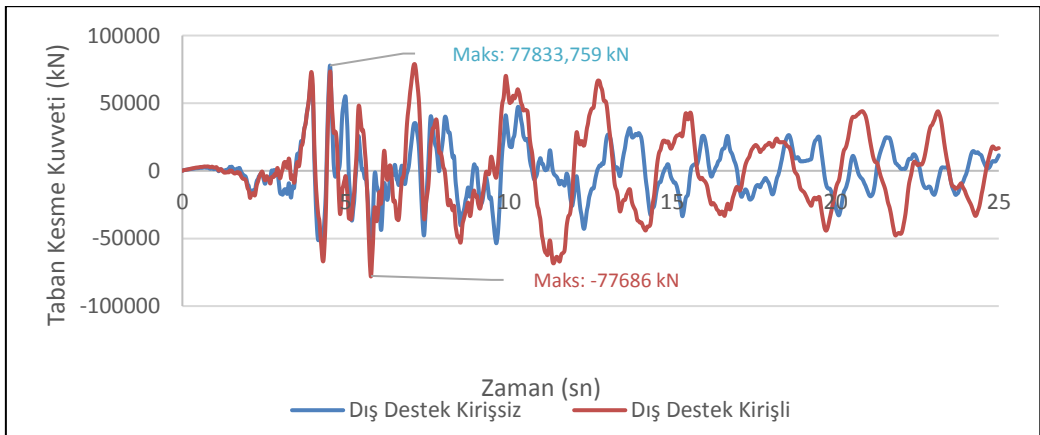




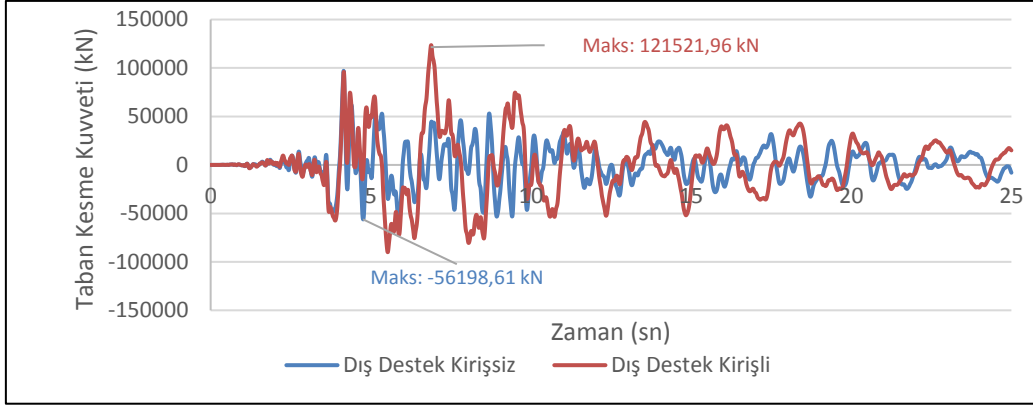
Şekil 3.19. X Doğrultusunda RSN265 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



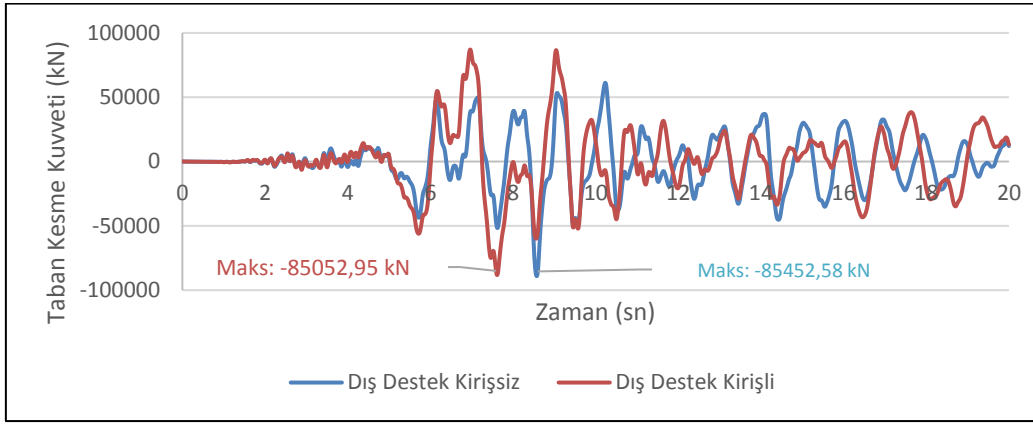
Şekil 3.20. Y Doğrultusunda RSN265 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



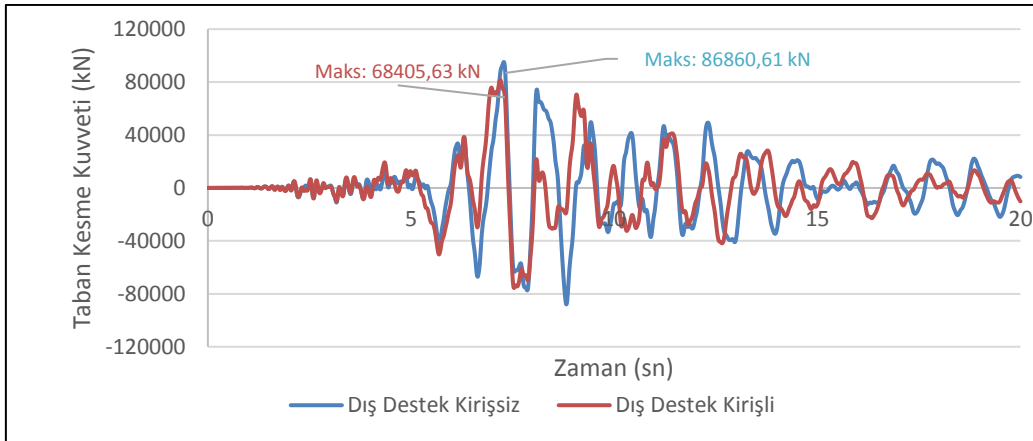
Şekil 3.21. X Doğrultusunda RSN313 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



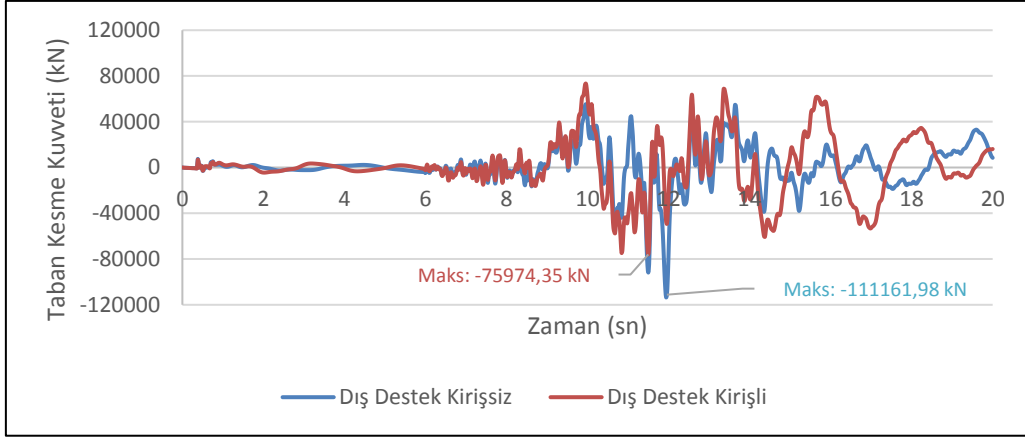
Şekil 3.22. Y Doğrultusunda RSN313 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



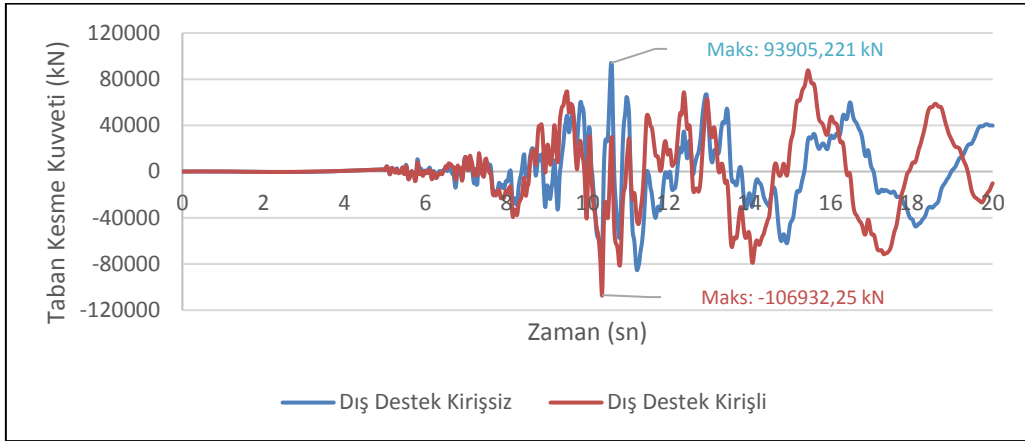
Şekil 3.23. X Doğrultusunda RSN359 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



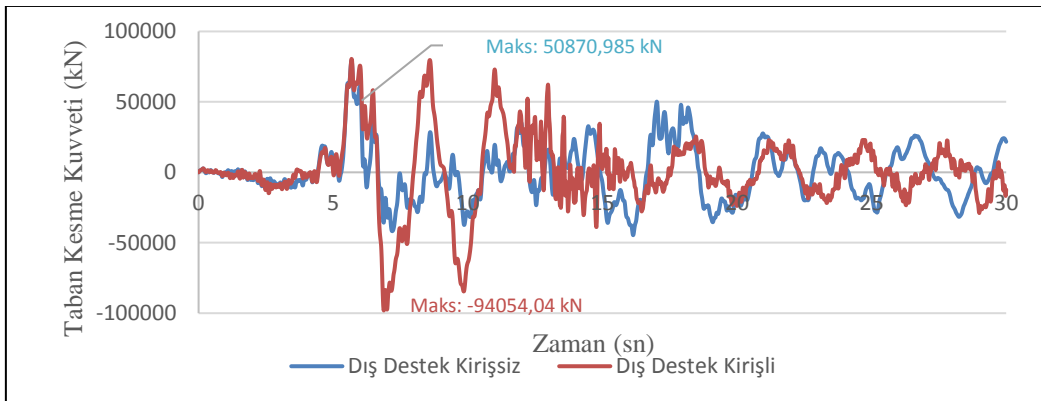
Şekil 3.24. Y Doğrultusunda RSN359 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



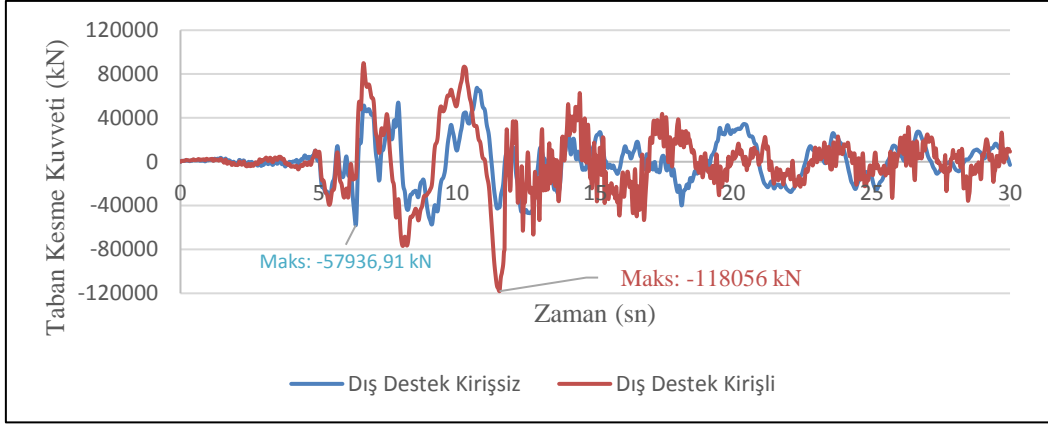
Şekil 3.25. X Doğrultusunda RSN587 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



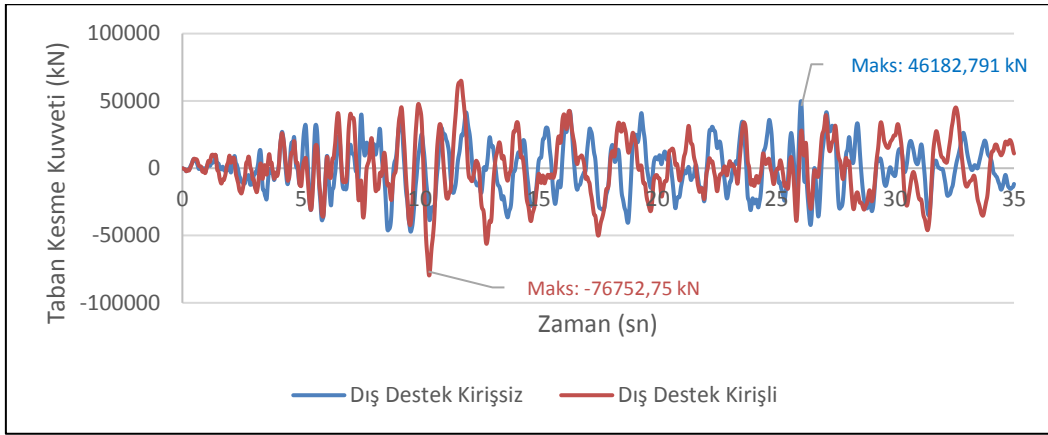
Şekil 3.26. Y Doğrultusunda RSN587 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



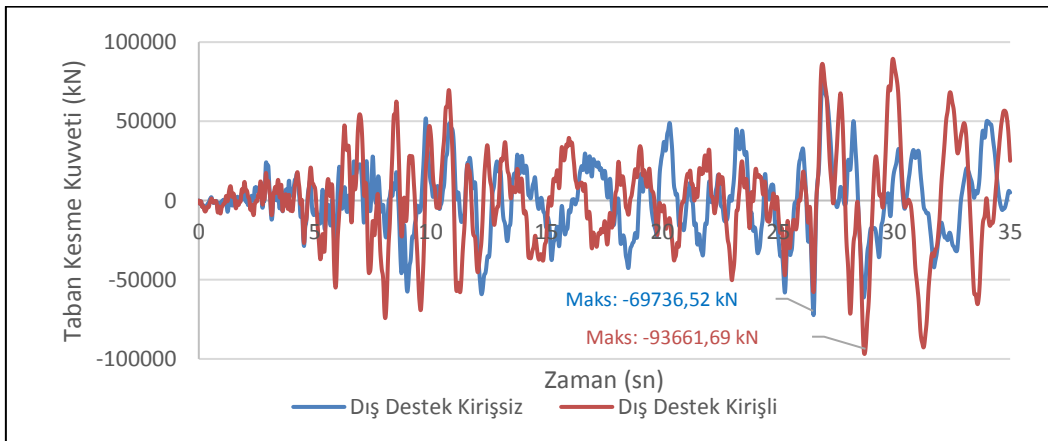
Şekil 3.27. X Doğrultusunda RSN827 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



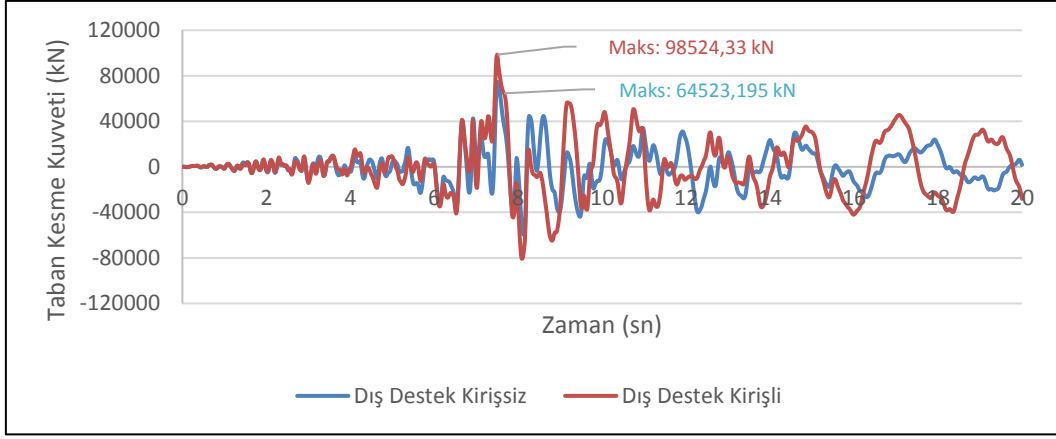
Şekil 3.28. Y Doğrultusunda RSN827 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



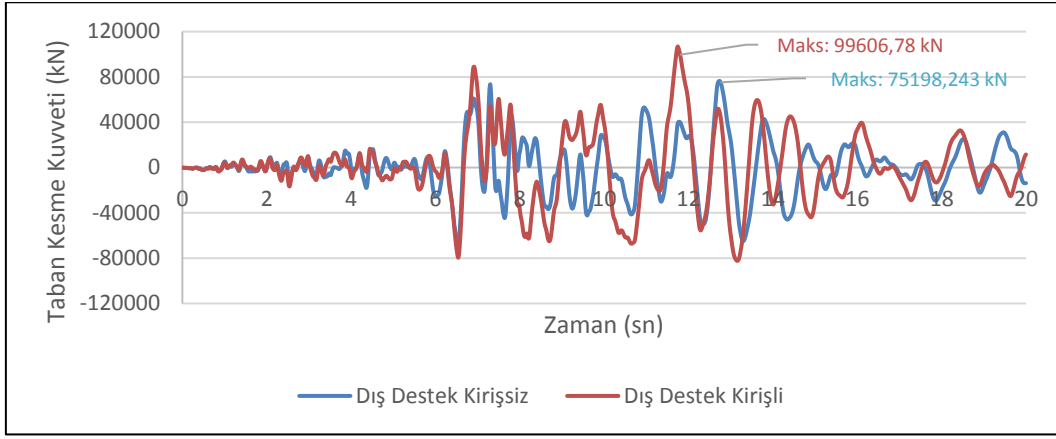
Şekil 3.29. X Doğrultusunda RSN864 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



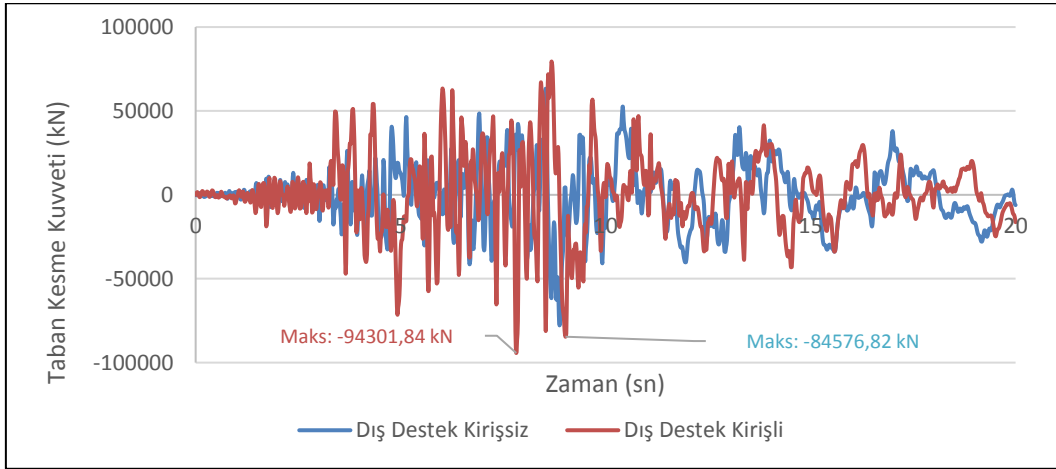
Şekil 3.30. Y Doğrultusunda RSN864 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



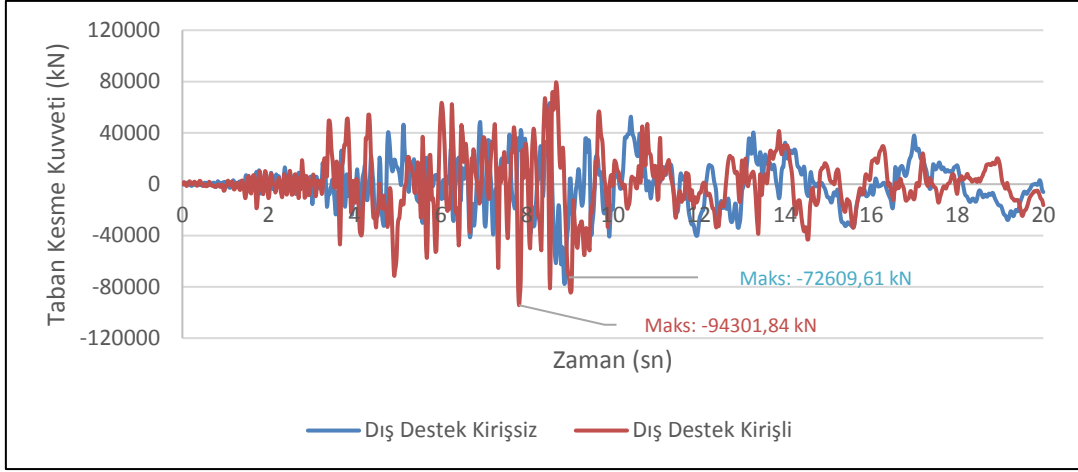
Şekil 3.31. X Doğrultusunda RSN963 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



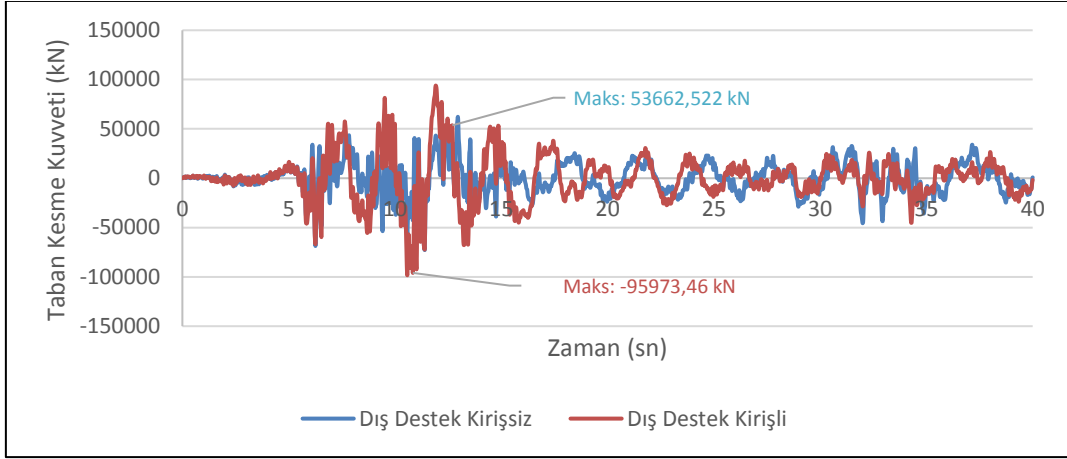
Şekil 3.32. Y Doğrultusunda RSN963 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



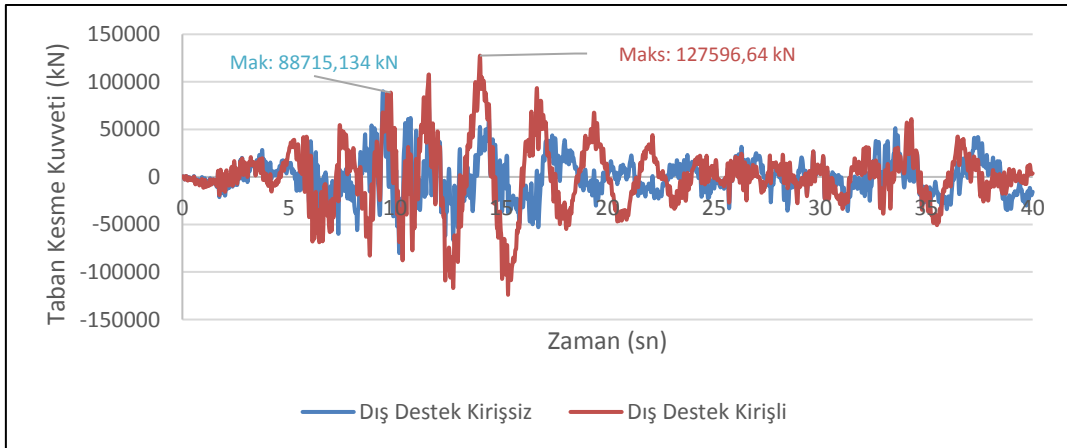
Şekil 3.33. Y Doğrultusunda RSN1006 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



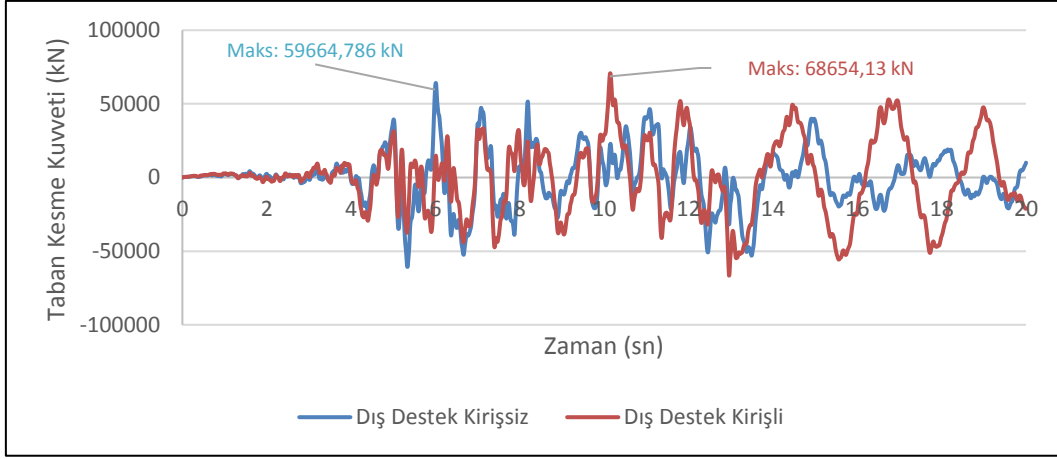
Şekil 3.34. Y Doğrultusunda RSN1006 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



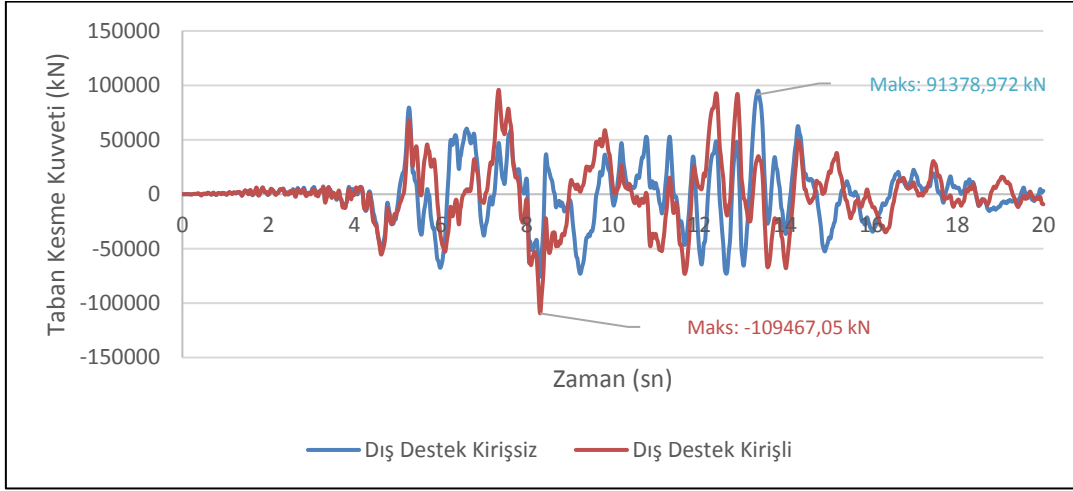
Şekil 3.35. X Doğrultusunda RSN1633 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



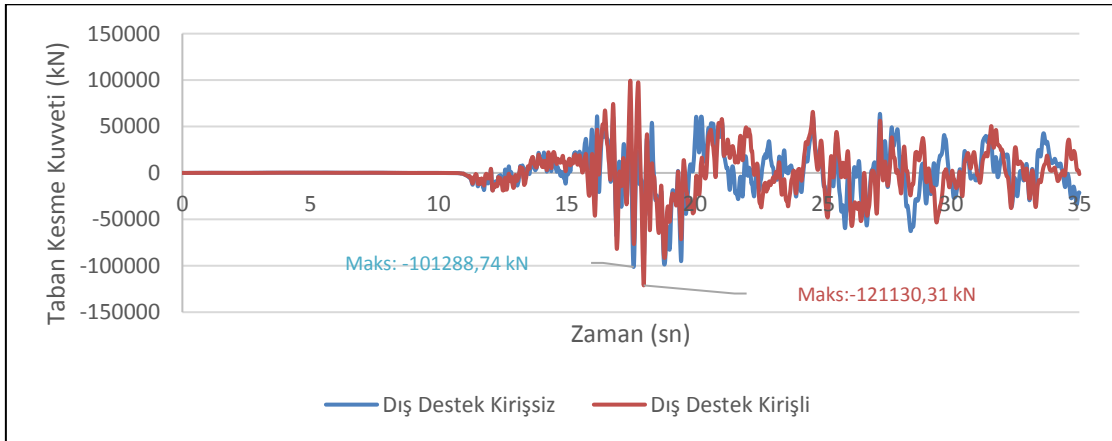
Şekil 3.36. Y Doğrultusunda RSN1633 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



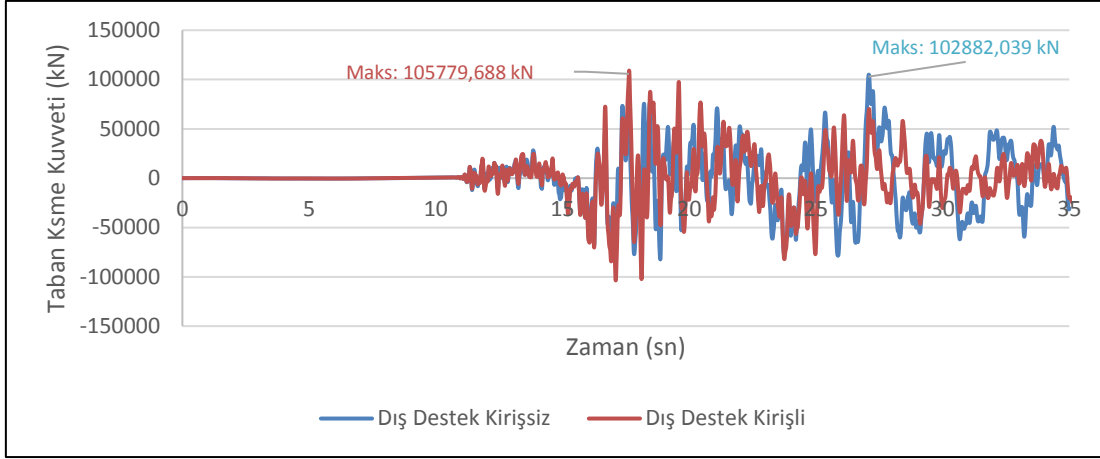
Şekil 3.37. X Doğrultusunda RSN1787 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



Şekil 3.38. Y Doğrultusunda RSN1787 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



Şekil 3.39. X Doğrultusunda RSN1614 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti



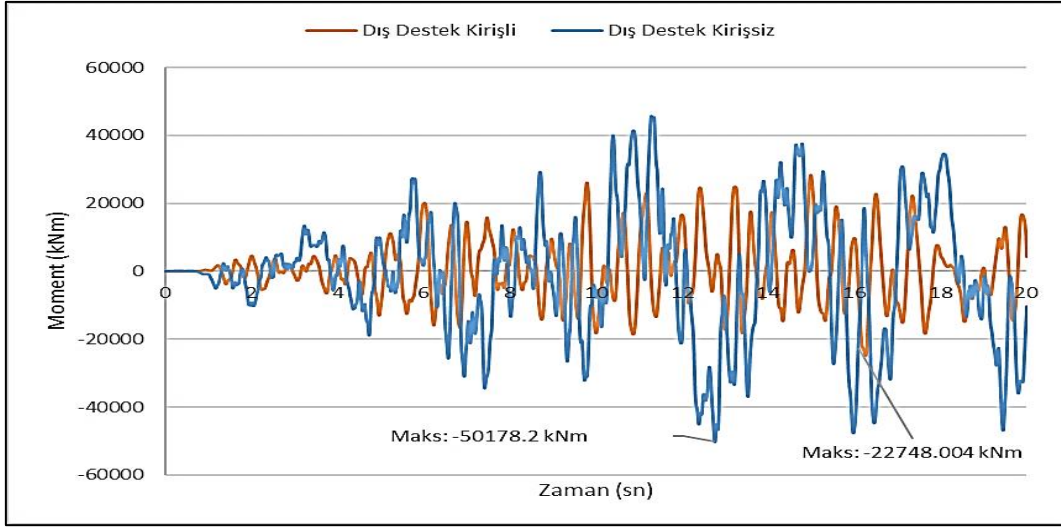
Şekil 3.40. Y Doğrultusunda RSN1614 ivme kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti

Yukarıdaki taban kesme kuvveti şekillerinden görüleceği gibi dıştan destekli sistemler perdenin taşıdığı kesme kuvveti açısından önemli azalmaya yol açmadığı görülmüştür, hatta genel olarak kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür. RSN164 deprem kaydı için P1 perdesi kesme kuvveti yaklaşık %20, RSN1614 deprem kaydı için %16 arttığı gözlemlenmiştir.

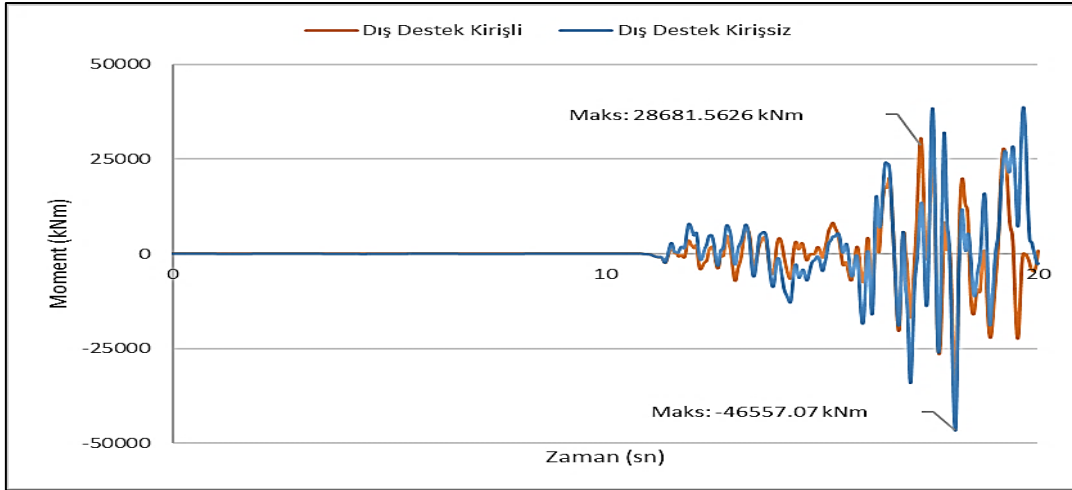
### Eğilme Momenti

Dış destek kullanılan katlarda rijitlik artarken buna bağlı olarak öteleme ve görelî kat ötelemeleri azalmıştır. Buna paralel olarak dış destek kullanılan katlarda eğilme momenti değerlerinin azaldığı aşağıdaki grafiklerde görülmektedir. Şekil 3.41 ve Şekil 3.42’de P1 perdesi için RSN164 ile RSN1614 deprem kayıtları için moment grafikleri verilmiştir. Şekil 3.43 ve Şekil 3.44’te RSN164 ile RSN1614 deprem kayıtları için P1 perdesi eğilme momenti akış diyagramları verilmiştir. RSN164 için P1 perdesi eğilme momenti değeri yaklaşık olarak %54, RSN1614 için P1 perdesi eğilme momenti değeri yaklaşık olarak %39 azaldığı görülmüştür. İki deprem kaydı için sonuçlar verilmiştir, diğer kayıtlarda da benzer sonuçlar çıktığı için verilmeye gerek görülmemiştir.

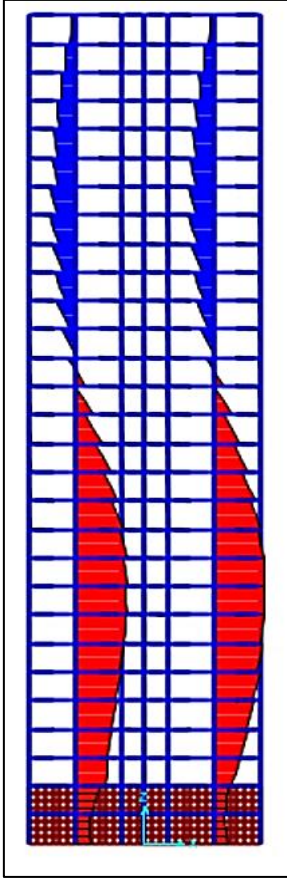




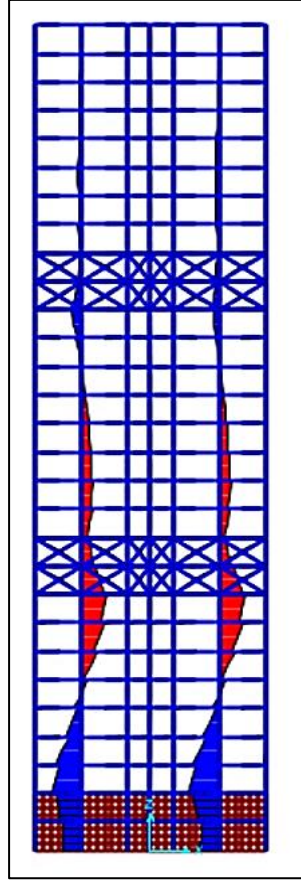
Şekil 3.41. RSN164 deprem ivme kaydı için P1 Perdesi eğilme momenti değerleri



Şekil 3.42. RSN1614 deprem ivme kaydı için P1 Perdesi eğilme momenti değerleri

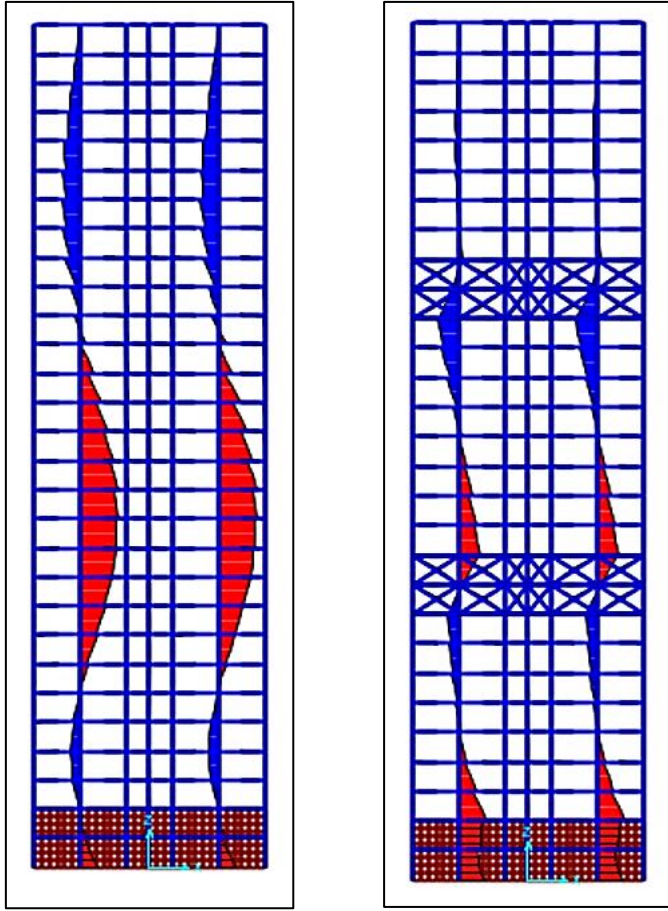


a) Dış destek kirişsiz



b) Dış destek kirişli

Şekil 3.43. RSN164 deprem kaydı için P1 Perdesi eğilme momenti diyagramı



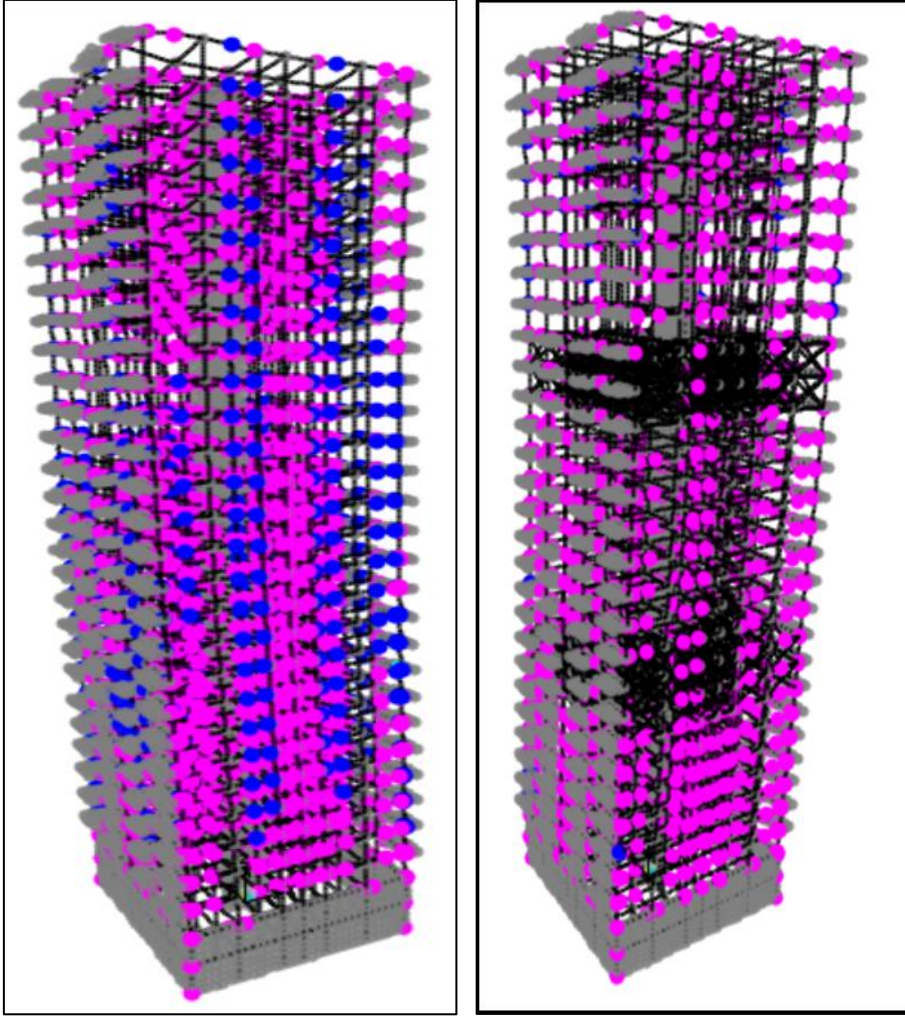
a) Dış destek kirişsiz

b) Dış destek kirişli

Şekil 3.44. RSN1614 deprem kaydı için P1 Perdesi eğilme momenti diyagramı

### Plastik Mafsallaşma

Aşağıda Şekil 3.45'te dış destek kirişli ve dış destek kirişsiz model için plastik mafsallaşma verilmiştir. Görüldüğü üzere dış destek kiriş kullanılan yapı için plastik mafsallaşma sayısında pek değişme olmazken, plastik mafsallaşma sınırı düşmüştür.



a) Dış destek kirişsiz model

b) Dış destek kirişli model

Şekil 3.45. RSN827 deprem kaydı plastik mafsallaşma karşılaştırması

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde yüksek binaların yapımı giderek artmaktadır, buna bağlı olarak yüksek binaların deprem analizleri giderek önem kazanmıştır. TBDY-2018 yönetmeliğinde yüksek binalar için ayrı bir ana başlıkta uyulması gereken hesap ve kurallar belirtilmiştir. Tez kapsamında taşıyıcı sistemi ve ölçüleri aynı fakat taşıyıcı sisteme ek dış destek kiriş kullanılan iki bina tasarlanmış olup sonuçlar doğrusal ve doğrusal olmayan analiz için aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

- Dış destek kiriş kullanılan model için X ve Y doğrultularındaki periyot değeri %24 oranında azalmıştır.
- Dış destek kirişli modelin toplam kütlesi, bu ilave kiriş sebebiyle %2.1 oranında artmıştır.
- Her iki model de simetrik taşıyıcı elemanlar kullanıldığı için burulma düzensizliği görülmemiştir ve buna bağlı olarak burulma düzensizliği oranları birbirine yakın çıkmıştır. Dış destek kirişli modelde X ve Y doğrultusunda %21 oranında yerdeğiştirmeler azalmıştır.
- Bina modellerinde yumuşak kat düzensizliği görülmemiştir. Fakat kullanılan rijit bodrum perdeleri sebebiyle bodrum katlarından sonraki katta yumuşak kat etkisi arttığı görülmüştür. Dış destek kirişli model için X Doğrultusunda yumuşak kat düzensizlik oranı %2, Y doğrultusunda %1.5 azaldığı gözlemlenmiştir.
- Dış destek kirişli model için X doğrultusunda görel kat öteleme miktarı %12, Y doğrultusunda %15 azaldığı gözlemlenmiştir.
- Dış destek kirişli model için ikinci mertebe etkileri X doğrultusunda %30, Y doğrultusunda %26 azalmıştır.

Seçilen taşıyıcı eleman ebatları doğrusal analiz için gerekli koşulları sağlamıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

- Doğrusal olmayan analiz için perde elemanlarının çubuk model olarak modellenmesi sebebiyle periyotlarda %1 oranında artış görülmüştür.

- Doğrusal olmayan analizler için perde elemanlarının çubuk eleman olarak modellenmesi sebebiyle binanın hakim periyodu X doğrultusunda eğilme davranışından Y doğrultusunda eğilme davranışına geçtiği görülmüştür.
- Dış destek kirişli model için maksimum yerdeğiştirme yaklaşık %27 oranında bir azalış göstermiştir.
- Düzce deprem kaydı için; dış destek kirişli modelin maksimum yer değiştirmesinde yaklaşık %29 oranında azalma gözlemlenmiştir.
- Her iki model için görelî kat ötelemeleri TBDY-2018’de ki sınır şartları sağladığı görülmüştür.
- Dış destek kirişli model için +44.0 kotu ile +84.0 kotu sonrasında düşey taşıyıcı elemanların boyutlarında azalma olmasına rağmen görelî kat ötelemelerinde belirgin artma olmamıştır. Bunun nedeni olarak dış destek kiriş kullanımı, boyutların azaldığı katlarda kullanılması nedeniyle rijitlik farkını giderdiği düşünülmektedir.
- Dış destek kiriş kullanılan katlarda Görelî Kat Ötelemelerin önemli oranlarda azaldığı görülmüştür.
- RSN164 deprem kaydı dış destek kirişli model için P1 perdesi kesme kuvveti yaklaşık %20, RSN1614 deprem kaydı dış destek kirişli model için %16 oranında arttığı belirlenmiştir.
- Dış destek kullanılan katlarda rijitlik artarken buna bağılı olarak yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemeleri azalmıştır. Buna paralel olarak dış destek kullanılan katlarda eğilme momenti değerlerinin azaldığı görülmüştür. RSN164 için P1 perdesi eğilme momenti değeri yaklaşık olarak %54, RSN1614 için P1 perdesi eğilme momenti değeri yaklaşık olarak %39 oranında azaldığı görülmüştür.
- TBDY-2018’e göre yapılan hesapta yığılı plastik mafsâl kabulünün yapıldığı kiriş ve kolonların dönme sınır değerleri kesit boyutları, donatı alanı, beton sınıfı ve moment-eğrilik diyagramına göre hesaplanmaktadır. Yayılı plastik mafsâl kabulünün yapıldığı perdeler de ise birim kısalma sınır değeri, kesitteki donatı oranı ve etriye durumuna göre hesaplanmaktadır.
- Dış destek kiriş kullanılan yapı için plastik mafsallaşma sayısında pek değişme olmazken, plastik mafsallaşma sınırı düşmüştür. Performans hedefi

olarak DD-1 deprem düzeyi için göçmenin önlenmesi performans seviyesi her iki model için sağlanmıştır.

- Dış destek kirişli modelde kirişler için maksimum ortalama dönme değeri yaklaşık %24 oranında azalmıştır.
- Dış destek kirişli modelde kolon dönme değerlerinin yaklaşık %25 oranında azaldığı görülmüştür.
- Dış destek kirişli modelde perdeler için ortalama sınır değiştirme değerleri %18 azaldığı görülmüştür.

Yapılan çalışmanın devamında yapılabilecek çalışmalar için öneriler aşağıda verilmektedir.

- Tasarlanan binalarda binayı çepeçevre saran rijit perdeler kullanıldığında bodrum katlardan sonraki katta yumuşak kat düzensizliği olma ihtimaline karşı, bodrum perdelerini kademeli olarak azaltmalı ya da dış cephelerde bina boyunca devam eden rijit perdeler kullanılmalıdır.
- Dış destek kiriş kullanılacak katlar seçilirken; taşıyıcı sistem ebatlarının küçüldüğü katlarda ani rijitlik azalması olacağından bu katların tercih edilmesi katlar arası rijitlik farkını gidermesi beklenmektedir.
- Dış destek kirişler farklı kat seviyelerinde kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile ilgili çalışmalar artırılabilir.

## 5. KAYNAKLAR

- Al-Luhaibi, M. S., 2017. Design and Analysis Of A High-Rise Building Located In Two Different Seismic Zones Utilizing Istanbul Seismic Design Code For Tall Buildings (Isdctb), Higher Engineering Thesis, Istanbul Technical University Graduate School Of Science, Engineering And Technology, Istanbul.
- Aydemir, C., Kırçıl, M. S., Hancıoğlu, B. ve Zorbozan, M., 2011. Betonarme Kolonların Hasar Sınır Eğriliklerinin Belirlenmesi, İMO Teknik Dergi, Yazı 361, İstanbul.
- Balcı S. B., 2013. Yüksek Yapıların Taşıyıcı Sistemleri ve Mimari Tasarımla Olan Etkileşimi, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Berahaman, F., 2013. Performance-based seismic evaluation of the Icon Hotel in Dubai, United Arab Emirates. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 22(3), 300-326.
- Bozdağ, Ö., 2010. Binaların deprem performansının belirlenmesi için yönlü modal birleştirme ve enerji esaslı yer değiştirmeye dayalı bir artımsal itme analiz yöntemi. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Budak, E. ve Sucuoğlu, H., 2015. Yüksek Yapıların Performans Esaslı Tasarımı, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir.
- Calayır, Y. ve Dedeoğlu, İ. Ö., 2017. Outrigger Kullanılan Betonarme Yüksek Yapıların Deprem Etkisindeki Davranışı, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği Ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir.
- Carpenter, L. D., Naeim, F., Lew, M., Youssef, N. F., Rojas, F. ve Saragoni, G. R., 2011. Performance of tall buildings in Vina del Mar in the 27 February 2010 Offshore Maule, Chile earthquake. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 20, 17-36.
- Celep, Z., 2007. Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsallı Kabulü ve Çözümleme, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Celep, Z., 2011, Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep, Z., 2014. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Doğrusal Olmayan Davranışı ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.



- Celep, Z., 2015. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Chopra, A. K. ve Goel, R. K., 2002, A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings Earthquake Engineering and Structural Dynamics 31:561–582 (DOI: 10.1002/eqe.144).
- Çakıroğlu, A. ve Özer, E., 1980. Malzeme Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt 1, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Çavdar, Ö. ve Bayraktar, A., 2014. Pushover and nonlinear time history analysis evaluation of a RC building collapsed during the Van (Turkey) earthquake on October 23, 2011. Natural Hazards, Vol. 70, pp. 657-673, (DOI 10.1007/s11069-013-0835-3).
- Çeri, M., 2012. Çok Katlı Betonarme Yapılarda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Çözümleme, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çetin, C., 2007. Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesinde Doğrusal Olmayan Yöntemlerin Karşılaştırılması Üzerine Sayısal Bir İnceleme, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çırpan, B., 2017. Çok Katlı Çelik Yapılarda Yapı Geometrisinin Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi Ve İdeal Geometrik Formun Belirlenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Eroğlu, A., 2017. Seismic Design Optimization And Seismic Performance Of Tall Buildings And Seismic Performance, Higher Engineering Thesis, Gebze Technical University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Gebze.
- Gözütok, B., 2011. Betonarme Yüksek Bir Yapının Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güven M., 2018. Türk ve Amerikan Yönetmeliklerine Göre Yüksek Bir Binadaki Perdelerin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Tasarımı, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY), 2008. Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

- Kaltakçı, M. Y., Köken, A. ve Yılmaz, Ü. S., 2006. Eksenel Yük Altındaki Çelik Lifli ve Lifsiz Etriyeli Betonarme Kolonların Davranışının DeneySEL ve Analitik Olarak İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 8, Sayı: 1, Sayfa: 65-85, İzmir.
- Kamath K., Divya, N. ve Rao A. U., 2012. A Study On Static And Dynamic Behavior Of Outrigger Structural System For Tall Buildings, Bonfring International Journal Of Industrial Engineering and Management Science, Vol. 2, No. 4.
- Karaçöp, A., 2010. Betonarme Bir Yüksek Binanın İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Katipoğlu, A., 2008. Çok Katlı Bir Çelik Yapının Tasarımında Yatay Kafes Kirişli Çerçeve Sistem Uygulamasının Analizi, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Keskin, E. ve Bozdoğan, K. B., 2018. 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırklareli İli Özelinde Değerlendirilmesi, Kırklareli University Journal of Engineering and Science, 4-1, 74-90, Çanakkale.
- Koilgeri, S. S. ve Shanthapriya, B., 2015. A Study On Behaviour Of Outrigger System On High Rise Steel Structure By Varying Outrigger Depth, International Journal of Research in Engineering and Technology eISSN: 2319-1163 | pISSN: 2321-7308.
- Liu, P., Ho, G., Lee, A., Yin, C., Lee, K. ve Liu, G., 2012. The structural design of Tianjin Goldin Finance 117 Tower. International Journal of High-Rise Buildings, 1(4), 271-281.
- Mander, J. B., Priestley, M. J. N. ve Park, R., 1988. Theoretical stress-strain model for confined concrete, Journal of the Structural Division.
- Özer, E., 2009. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Hesabı Ders Notları, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Gen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özgeldi, A. C., 2013. Mevcut 25 Katlı Betonarme Bir Yapının Deprem Performansının İncelenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özgün, E., 2012. İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğine Göre Betonarme Yüksek Bir Binanın Analizi, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk, M., 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası İle İlgili İç Anadolu Bölgesi Bazında Bir Değerlendirme, Selçuk-Teknik Dergisi Issn 1302-6178, Cilt 17, Sayı:2, Konya.

- Pakoğlu, H., 2009. Çok Katlı Bir Yapının DBYBHY 2007'ye Göre Tasarımı ve DBYBHY 2007 İle IBC' un Teorik Olarak Karşılaştırılması, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- PESPONSE2000, 2000. Sectional Analysis Program, Version: 1.0.5, Toronto.
- SAP2000, 2020. Integrated Finite Element Analysis and Desing of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.
- Şen, G., 2006. Çok Katlı Çelik Yapılarda Performansa Dayalı Tasarım Kriterleri, Yüksek Mühendislik Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Taranath, B., 2010. Reinforced Concrete Design of Tall Buildings, CRC Press, Florida.
- Temiz, G. M., 2014. Betonarme Yüksek Bir Binanın 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarımı ve İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğine Göre Performansının İncelenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TS 498, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TSE-Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE-Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 75 s.
- Türkel, E. B., 2016. Tünel Kalıp Sistemi Kullanılan Betonarme Yüksek Yapılarda Bina Özellikleri ile Maliyet Arasındaki İlişkiler, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 2018. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, Ankara.
- URL-1, <https://www.bloomberght.com/haberler/haber/2108274-insaat-sektoru-2017-de-yuzde-8-9-buyudu>, 5 Kasım 2019.
- URL-2, <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>, 6 Kasım 2019.
- URL-3, <https://insapedia.com/tbdy2018-sekildegistirmeye-gore-tasarim-degerlendirme-sgtd/>, 5 Kasım 2019.
- URL-4, <https://ngawest2.berkeley.edu/>, 4 Kasım 2019.
- Uzun, D., 2014. 33 Katlı Betonarme Yüksek Bir Binanın Deprem Davranışına Farklı Döşeme Sistemlerinin Etkisi, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ünerdem, Y., 2011. 30 Katlı Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Çözümleme Uygulanarak Belirlenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Halil İbrahim ÇELİK, 1993 yılında Trabzon ilinde doğdu. Lise öğrenimini 2007-2011 yılları arasında Trabzon Yunus Emre Lisesi'nde tamamladı. Lisans eğitimini 2011-2015 yılları arasında Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2016 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.