

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME ÇEKİRDEK PERDELİ VE ÇELİK TAŞIYICI
SİSTEMLERİ SAHİP YÜKSEK BİNALARIN ZAMAN TANIM
ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

YASİN MURAT HOTHOT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2018

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME ÇEKİRDEK PERDELİ VE
ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERE SAHİP YÜKSEK
BİNALARIN ZAMAN TANIM ALANINDA
DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

YASİN MURAT HOTHOT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
PROF. DR. BÜLENT AKBAŞ

GEBZE

2018

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**NONLINEAR DYNAMIC TIME HISTORY
ANALYSIS OF HIGH RISE BUILDINGS
WITH REINFORCED CONCRETE SHEAR
WALL AND STEEL FRAMING**

YASİN MURAT HOTHOT
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL PROGRAM

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. BÜLENT AKBAŞ

GEBZE
2018

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 10/01/2018 tarih ve 2018/03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 30/01/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yasin Murat HOTHOT'un tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Prof. Dr. Bülent AKBAŞ



ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Ahmet Anıl DİNDAR



ÜYE

: Prof. Dr. Bilge DORAN



ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Yapısal sistemlerin tasarımında ve mevcut yapıların değerlendirilmesinde kullanılan farklı analiz yöntemleri mevcuttur. Yüksek binalar tasarlanırken veya mevcut durumlarının deprem davranışları incelenirken analizlerin, zaman tanım alanında analiz yöntemi ile yapılması daha uygundur. Yapı sistemine etki eden deprem ve rüzgâr kuvvetleri uygun şekillerde belirlenmeli ve yapı analizinde kullanılmadır.

Tez kapsamında, 50 katlı ve 204m yüksekliğinde bir yüksek binanın doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. Yapılan hesaplamalarda bir çok yönetmelikten faydalanılmıştır. Bunların başlıcaları; İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY), 2008; Tall Buildings Initiative (TBI), 2010, Taslak-Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2016, ASCE/SEI 41-13 yönetmelikleridir.

İncelenen yapının taşıyıcı sistemini betonarme perdeler, çelik gömme kompozit kolonlar, çelik kirişler ve betonarme kirişler oluşturmaktadır. Yapıda kompozit döşeme ve betonarme döşemeler bir arada kullanılmaktadır. Çelik ve betonarme bağ kirişler perdeleri birbirine bağlayan elemanlardır.

İncelenen yapının ön tasarımı Taslak-TBDY-2016'da belirtilen DD-2 deprem düzeyine göre yapılmıştır. Doğrusal olmayan analizler DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerini dikkate alarak yapılmıştır. Yüksek binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi yapılırken Perform 3D programı kullanılmıştır. Tüm taşıyıcı elemanlar ve malzemeler, doğrusal olmayan davranışları dikkate alınarak modellenmiştir.

Tez kapsamında, yüksek binalarda devrilme momentlerini ve deplasmanları önemli ölçüde azaltan dış destek (outrigger) elemanı olarak burkulması önlenmiş çapraz (BÖÇ) elemanlar kullanılmıştır. Yüksek bina, ilk önce dış destek elemanlar olmadan analiz edilmiştir. Daha sonra, BÖÇ elemanlar farklı kat seviyelerine yerleştirilerek analizler tekrarlanmıştır. Binanın ve yapısal elemanların doğrusal olmayan deprem davranışı incelenmiş ve kıyaslamalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Binaların Zaman Tanım Alanında Analizi, Doğrusal Olmayan Davranış, Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi, Burkulması Önlenmiş Çapraz (BÖÇ), Kompozit Kolon, Perform3D.

SUMMARY

There are different analysis methods used in the design and evaluation of structural systems. Time history analysis is the preferred method of analysis for designing and evaluating the seismic behavior of tall buildings. Earthquake and wind forces acting on the structure should be determined in an appropriate manner and used in structural analysis accordingly.

In this study, nonlinear behavior of a 50-story tall building with a height of 204 m is investigated. Various specifications have been used calculations. The main ones are; Istanbul Tall Building Seismic Design Codes (Draft), 2008, Tall Buildings Initiative (TBI), 2010, Turkey Building Seismic Design Codes (Draft), 2016, ASCE/SEI 41-13.

The structural system of the structure consists of reinforced concrete shear walls, steel embedded composite columns, steel beams and reinforced concrete beams. Composite and reinforced concrete floors are used together as a structural floor framing system. Steel and reinforced concrete link beams are used to connect the shear walls.

The preliminary design of the structure is made according to the DD-2 earthquake level specified in Draft-TBDY-2016. Nonlinear analyzes are carried out taking into account the earthquake levels DD-1 and DD-2. In the non-linear time history analysis of this structure, Perform-3D structural analysis software is used. All structural elements and materials are modeled by considering nonlinear behavior.

In this thesis, buckling restrained brace (BRB) elements were used as outrigger elements which significantly reduce overturning moments and displacements in tall buildings. The structure is first analyzed without outrigger elements. Then, the BRB elements are placed in different story levels and the analyzes are repeated. Nonlinear seismic behavior of building and structural elements are investigated and compared.

Key Words: Dynamic Time History Analysis of Tall Buildings, Nonlinear Behavior, Scaling of Earthquake Records, Buckling Restrained Brace (BRB), Composite Column, Perform-3D.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesi ile bu çalışmanın oluşmasına yardımcı olan danışmanım Prof. Dr. Bülent AKBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı, her daim yanımda olan eşim Merve HOTHOT'a ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
TABLolar DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasında Yapılmak İstenenler	2
1.2. Tez Çalışmasında Uygulanacak Metot	3
1.3. Tezin Bilime Katkısı	3
2. YÜKSEK BİNALAR VE TAŞIYICI SİSTEMLERİ	4
2.1. Yüksek Binaların Tarihsel Gelişim Süreci	4
2.2. Yüksek Binaların Taşıyıcı Sistemleri	8
2.2.1. Rijit Çerçeve Sistemler	10
2.2.2. Perdeli Çerçeve Sistemler	12
2.2.2.1. Çaprazlı Çerçeve Sistemler	12
2.2.2.2. Boşluklu / Boşluksuz Betonarme Perdeli Çerçeve Sistemler	13
2.2.3. Dış Destekli (Outrigger) Çerçeve Sistemler	14
2.2.4. Tübüler Sistemler	15
2.2.4.1. Çerçeve-Tüp Sistemler	15
2.2.4.2. Kafes-Tüp Sistemler	16
2.2.4.3. Demet-Tüp Sistemler	18
2.2.4.4. Tüp İçinde Tüp Sistemler	19
3. YÜKSEK BİNALARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ	21
3.1. Genel Tanımlar	21
3.2. Yüksek Bina Tanımı	21
3.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	23

3.3.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)	23
3.3.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)	23
3.3.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)	23
3.3.4. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)	23
3.4. Performans Hedefleri ve Tasarım Aşamaları	24
3.4.1. Tasarım Aşaması I	24
3.4.2. Tasarım Aşaması II	25
3.4.3. Tasarım Aşaması III	25
3.5. Deprem Yer Hareketi Spektrumları	26
3.5.1. Tanım	26
3.5.2. Harita Spektral İvme Katsayıları ve Tasarım Spektral İvme Katsayıları	26
3.6. Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumu	28
3.7. Zaman Tanım alanında Deprem Yer Hareketi	28
3.8. Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri	29
3.8.1. Davranışın Eğri Şeklinde Tanımlanması	29
3.8.2. Çevrim Modelleri	30
3.8.3. Analitik Modeller	31
3.8.4. Betonarme Kolon ve Kirişlerin Modellenmesi	33
3.8.4.1. Çatlamış Kesit Rijitiği	33
3.8.4.2. Plastik Mafsal	34
3.8.4.3. Davranış Eğrileri ve Moment Değerleri	35
3.8.5. Betonarme Perdelerin Modellenmesi	35
3.8.5.1. Orta Dikme Çubuk Modeli	36
3.8.5.2. Fiber Eleman Modeli	37
3.8.6. Çelik Kiriş Elemanların Modellenmesi	37
3.8.7. Çelik Kolon Elemanların Modellenmesi	38
3.8.7.1. Kolonun Akma Dönmesinin Tanımı ve Plastik Mafsal Tanımı	41
3.8.8. Kompozit Kolon Elemanlarının Modellenmesi	41
3.8.8.1. Basınç ve Çekme Dayanımı	43
3.8.8.2. Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Etkisi	43

3.8.8.3. Eksenel Kuvvet ve Eğilme Momentinin Bileşik Etkisi	44
3.8.9. Bağ Kirişlerinin Modellenmesi	45
3.8.10. Burkulması Önlenmiş Çaprazların (BRB) Modellenmesi	47
3.9. Yapı – Zemin Etkileşimi	49
4. SAYISAL UYGULAMA	50
4.1. Yapısal Model, Malzeme Özellikleri ve Yük Kabulleri	50
4.2. Deprem Parametreleri	55
4.3. Yapı Sisteminin Ön Tasarımı	59
4.4. Yapı Sisteminin Doğrusal Olmayan Analizi	60
4.4.1. Rayleigh Sönümü ve Deprem Kayıtları	61
4.4.1.1. Rayleigh Sönümü	61
4.4.1.2. Deprem Kayıtları	63
4.4.2. Analiz Sonuçları	67
4.4.2.1. Perde Birim Şekil Değiştirmeleri	68
4.4.2.2. Görelî Kat Ötelenmeleri	74
4.4.2.3. Elemanların Çevrimsel Davranışı ve Enerji Dağılımları	79
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	89

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
A	: İlgili kesitin alanı
A_g	: Kayıpsız enkesit alanı
b_{bf}	: Kiriş kesitinin başlık genişliği
b_f	: Kesitin başlık genişliği
d_b	: Kiriş enkesit yüksekliği
d_c	: Kolon enkesit yüksekliği
DL	: Elemanların basınç ve çekme bölgesinde dayanım kaybetmeden ulaşabileceği maksimum birim şekil değiştirmesi
DX	: Elemanların basınç ve çekme bölgesinde maksimum birim şekil değiştirmeleri
DR	: Çapraz elemanların basınç ve çekme bölgesinde dayanım kaybı esnasında ulaşacağı birim şekil değiştirmeleri
E	: Yapı çeliği elastisite modülü
E_b	: Kiriş elemanının elastisite modülü
E_c	: Kolon elemanının elastisite modülü
f_1	: Birinci sınır değer için bina doğal titreşim frekansı
f_2	: İkinci sınır değer için bina doğal titreşim frekansı
F_a	: Kısa periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı
F_{cr}	: Beklenen kritik burkulma gerilmesi
F_e	: Beklenen elastik burkulma gerilmesi
$F_{u(Basınç)}$	: Çapraz elemanlar için basınç bölgesindeki beklenen burkulma gerilmesi
$F_{u(Çekme)}$	: Çapraz elemanlar için çekme bölgesindeki beklenen akma gerilmesi.
F_x	: Normal dağılım fonksiyonu
F_v	: 1 saniye periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı
F_y	: Yapı çeliğinin akma gerilmesi
F_{ye}	: Yapı çeliğinin beklenen akma gerilmesi
FR/FU	: Çapraz elemanların basınç ve çekme bölgesinde dayanım kaybı oranı

g	: Yer çekimi ivmesi
g_i	: Kat seviyelerindeki toplam ölü yük
G	: Toplam sabit yük
$G_{(A,B)}$	: Kolonun üst veya alt uçlarında birleşen kolonların ve kirişlerin eğilme rijitlikleri toplamalarının oranı
h	: İlgili “I” kesitli kirişlerin enkesit yüksekliğinden başlık genişlikleri çıktıktan sonra kalan mesafesi
h_{ji}	: İlgili elemanın yüksekliği
I_b	: Kirişin atalet momenti
I_c	: Kolonun atalet momenti
I_x	: Elemanın x yönündeki atalet momenti
i_y	: Kiriş başlığının ve gövdenin basınç gerilmeleri etkisindeki bölümün 1/3’ünün yanal doğrultudaki atalet yarıçapı
K	: Kolon burkulma katsayısı
K_x	: Kolonun x yönündeki burkulma katsayısı
K_y	: Kolonun y yönündeki burkulma katsayısı
L	: İlgili elemanın boyu
L_b	: Kirişin yanal doğrultuda mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklık
L_c	: Kolonun net açıklığı
L_h	: Kiriş net açıklığının rijit bölgelerin çıktıktan sonra kalan uzunluğu
L_k	: Kirişin, düğüm noktaları arasındaki uzunluğu
L_n	: Kirişin net açıklığı
L_z	: Kirişin, kolon yüzeyinden plastik mafsal merkezine olan uzaklığı
M_n	: Eğilme momenti kapasitesi
M_{nx}, M_x	: Elemanın x yönünde eğilme momenti kapasitesi
M_{ny}	: Elemanın y yönünde eğilme momenti kapasitesi
M_{rx}	: Yük birleşimleri için x yönünde gerekli eğilme momenti dayanımı
M_{ry}	: Yük birleşimleri için y yönünde gerekli eğilme momenti dayanımı
M_{zn}	: Azaltılmış kiriş en kesitinde eğilme momenti kapasitesi
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
P	: Maksimum plastik dönme durumunda çelik kesitte bulunan eksenel yük
P_{CL}	: Çelik elemanın beklenen eksenel basınç dayanımı

P_n	: Eksenel basınç veya çekme kuvveti dayanımı
P_D	: Ölü tekil yük
P_L	: Hareketli tekil yük
P_r	: Yük birleşimleri için gerekli eksenel kuvvet dayanımı
P_{ye}	: Çelik elemanın beklenen eksenel akma kuvveti
r	: Atalet yarıçapı
r_x	: Elemanın x yönünde atalet yarıçapı
r_y	: Elemanın y yönündeki atalet yarıçapı
S_{MS}	: Gözönüne alınan zemin sınıfı için kısa periyotlu spektral ivme
S_{M1}	: Gözönüne alınan zemin sınıfı için 1 saniye periyotlu spektral ivme
S_s	: Referans zemin sınıfı için kısa periyotlu spektral ivme
S_1	: Referans zemin sınıfı için 1 saniye periyotlu spektral ivme
Q	: Toplam hareketli yük
q_D	: Ölü yayılı yük
q_i	: Kat seviyelerinde toplam hareketli yük
q_L	: Hareketli yayılı yük
$S_{a(g)}$	: Yerçekimi ivmesi cinsinden spektral ivme değeri
S_{ae}	: Elastik spektral ivme
$SF_{(i)}$	: Bina spektrumuna ölçeklenmiş ivme değeri – Ölçekleme faktörü
T	: Bina periyodu
T_L	: Uzun periyod bölgesine geçiş periyodu
T_o	: Spektrum köşe periyodu
T_s	: Spektrum köşe periyodu
T_1	: Birinci sınır değer için bina titreşim periyodu
T_2	: İkinci sınır değer için bina titreşim periyodu
t_f	: Kesitin başlık kalınlığı
t_w	: Kesitin gövde kalınlığı
u	: Poisson oranı
Z_x	: Enkesitin x yönünde plastik mukavemet momenti.
Z_{zx}	: Azaltılmış enkesitinde x yönünde plastik mukavemet momenti
W	: Toplam bina ağırlığı
λ_{hd}	: Süneklik düzeyi yüksek elemanlar için enkesit koşulu sınır değeri

λ	: Narinlik oranı
λ_x	: Elemanın x yönündeki narinlik oranı
λ_y	: Elemanın y yönündeki narinlik oranı
θ_p	: Plastik dönme istemi
θ_y	: Akma dönmesi
Δ_c	: Çelik elemanın eksenel basınç dayanımına karşı gelen akma yerdeğiştirmesi
Δ_t	: Çelik elemanın eksenel çekme dayanımına karşı gelen akma yerdeğiştirmesidir
[C]	: Bina sönüm matrisi
[K]	: Bina rijitlik matrisi
[M]	: Bina kütle matrisi
α	: Rayleigh sönüm fonksiyonu için için kütle matrisi katsayısı
β	: Rayleigh sönüm fonksiyonu için rijitlik matrisi katsayısı
ζ_1	: Birinci sınır değer için bina sönüm katsayısı
ζ_2	: İkinci sınır değer için bina sönüm katsayısı
ζ_i	: Bina titreşim periyotlarına karşı gelen bina sönüm fonksiyonu
ω_1	: Birinci sınır değer için bina açısal frekansı
ω_2	: İkinci sınır değer için bina açısal frekans
δ_{ji}	: i' inci katta j' inci kolonun alt ve üst uçları arasındaki yerdeğiştirme farkı
$\epsilon_{y(\text{Çekme})}$	: Elemanın çekme bölgesinde birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{y(\text{Basınç})}$	: Elemanın basınç bölgesinde birim şekil değiştirmesi
CG	: Can güvenliği
DYT	: Düşey yük taşıyan
GÖ	: Göçme öncesi
HK	: Hemen kullanım

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Chrysler Binası.	5
2.2: Empire State Binası.	6
2.3: Sears (Willis) Tower.	7
2.4: Petronas Kuleleri (Kuala Lumpur, 1998).	8
2.5: Lever House tip kat planı ve kesiti.	11
2.6: Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler.	12
2.7: Dış merkezi çaprazlı çelik çerçeveler.	13
2.8: Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve örneği.	13
2.9: Bağ kirişli betonarme perde kesiti.	14
2.10: Dış destek sistemin çalışma mekanizması.	15
2.11: Çerçeve Tüp Sistem.	16
2.12: John Hancock Center - Kafes Tüp Sistem Örneği.	17
2.13: Demet Tüp Sistem.	18
2.14: Tüp İçinde Tüp Sistem.	19
2.15: Farklı kat adetlerine göre kullanılan taşıyıcı sistemler.	20
3.1: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu.	27
3.2: Yatay elastik tasarım yer değiştirme spektrumu.	28
3.3: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu.	28
3.4: Davranışın eğri şeklinde tanımlanması.	29
3.5: Çevrimsel modeller.	30
3.6: Birinci Model.	31
3.7: İkinci Model.	31
3.8: Üçüncü Model.	32
3.9: Dördüncü Model.	33
3.10: Plastik mafsalsal.	34
3.11: Davranış eğrisi.	35
3.12: Orta dikme çubuk modeli.	36
3.13: Fiber (lif) model.	37
3.14: Kiriş elemanların moment-dönme davranış grafiği.	38
3.15: Kolonların P-M etkileşim diyagramı.	40

3.16:	Tipik kompozit elemanlar.	41
3.17:	Kompozit elemanlar için genel etkileşim diyagramı.	44
3.18:	Kompozit elemanlar için genişletilmiş karşılıklı etki diyagramı.	45
3.19:	Bağ kirişi tipik deformasyon şekli.	45
3.20:	Kesme kuvveti-moment etkileşim diyagramı.	46
3.21:	Bağ kirişi kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi.	46
3.22:	Enerji azalım ilişkisi parametreleri.	46
3.23:	BÖÇ'ü oluşturan elemanlar.	47
3.24:	BÖÇ'ü oluşturan elemanların kesiti.	47
3.25:	BRBF'lerde çapraz düzenlemeleri.	48
3.26:	BRBF ve geleneksel çapraz (CBF) elemanların davranış kıyası.	48
3.27:	Yapı zemin etkileşim modelleri.	49
4.1:	Tip kat taşıyıcı eleman kesitleri ve malzeme kaliteleri.	51
4.2:	Yapı modelinin 3 boyutlu görünümü (plana göre sol ve ön).	52
4.3:	Yapı modelinin 3 boyutlu görünümü (plana göre sağ ve arka).	53
4.4:	Seçilen noktaya ait en büyük yer ivmesi (PGA) değeri.	55
4.5:	Yatay elastik tasarım spektrumu.	56
4.6:	DD-1 ve DD-2 Deprem düzeyleri yatay elastik tasarım spektrumları.	56
4.7:	Düşey elastik tasarım ivme spektrumu.	57
4.8:	DD-1 ve DD-2 Deprem düzeyleri düşey elastik tasarım ivme spektrumları.	57
4.9:	Taslak Türkiye Deprem Tehlike Haritaları'na ait genel görünüm.	58
4.10:	Rayleigh sönüm fonksiyonu.	62
4.11:	Perform-3D'de Rayleigh sönümünün tanımlaması.	63
4.12:	DD-1 deprem düzeyi spektrumu ve ölçeklenen deprem kayıtları.	64
4.13:	DD-2 deprem düzeyi spektrumu ve ölçeklenen deprem kayıtları.	64
4.14:	Kocaeli deprem kaydı (DD-1).	65
4.15:	Düzce deprem kaydı (DD-1).	65
4.16:	Landers USA, deprem kaydı (DD-1).	65
4.17:	Kocaeli deprem kaydı (DD-2).	66
4.18:	Düzce deprem kaydı (DD-2).	66
4.19:	Landers USA, deprem kaydı (DD-2).	66
4.20:	BRB elemanların yapıdaki konumları.	67

4.21:	Farklı kat planları ve sonuçlar için seçilen nokta (kırmızı işaretli).	69
4.22:	DD-1, perdelerde oluşan en büyük birim uzamalar (BRB yok).	70
4.23:	DD-2, perdelerde oluşan en büyük birim uzamalar (BRB yok).	70
4.24:	DD-1, perdelerde oluşan en büyük birim kısaltmalar (BRB yok).	70
4.25:	DD-2, perdelerde oluşan en büyük birim kısaltmalar (BRB yok).	71
4.26:	DD-1, perdelerde oluşan en büyük birim uzamalar (BRB-1/3).	71
4.27:	DD-2, perdelerde oluşan en büyük birim uzamalar (BRB-1/3).	71
4.28:	DD-1, perdelerde oluşan en büyük birim kısaltmalar (BRB-1/3).	72
4.29:	DD-2, perdelerde oluşan en büyük birim kısaltmalar (BRB-1/3).	72
4.30:	DD-1, perdelerde oluşan en büyük birim uzamalar (farklı BRB konumları).	72
4.31:	DD-2, perdelerde oluşan en büyük birim uzamalar (farklı BRB konumları).	73
4.32:	DD-1, perdelerde oluşan en büyük birim kısaltmalar (farklı BRB konumları-ortalamlar).	73
4.33:	DD-2, perdelerde oluşan en büyük birim kısaltmalar (farklı BRB konumları-ortalamlar).	73
4.34:	DD-1, görel kat ötelemeleri (BRB yok).	74
4.35:	DD-2, görel kat ötelemeleri (BRB yok).	74
4.36:	DD-1, görel kat ötelemeleri (BRB-1/3).	75
4.37:	DD-2, görel kat ötelemeleri (BRB-1/3).	75
4.38:	DD-1, görel kat ötelemeleri (BRB-1/2).	76
4.39:	DD-2, görel kat ötelemeleri (BRB-1/2).	76
4.40:	DD-1, görel kat ötelemeleri (BRB-2/3).	77
4.41:	DD-2, görel kat ötelemeleri (BRB-2/3).	77
4.42:	DD-1, görel kat ötelemeleri (farklı BRB konumları-ortalamlar).	78
4.43:	DD-2, görel kat ötelemeleri (farklı BRB konumları-ortalamlar).	78
4.44:	Seçilen elemanların plan üzerinde gösterilmesi.	79
4.45:	HEA500 kirişinin davranış eğrisi, moment-dönme (Perform 3D).	79
4.46:	BRB elemanının davranış eğrisi, eksenel kuvvet-eksenel birim şekil değiştirme, Kocaeli Depremi (Perform 3D).	80
4.47:	BRB elemanının davranış eğrisi, eksenel kuvvet-eksenel birim şekil değiştirme, Düzce Depremi (Perform 3D).	80

4.48:	BRB elemanının davranış eğrisi, eksenel kuvvet-ksenel birim şekil değıştirme, Landers Depremi (Perform 3D).	80
4.49:	Betonarme perde elemanının davranış eğrisi, eksenel kuvvet – eksenel birim şekil değıştirme (Perform 3D).	81
4.50:	Çelik bağ kirişı davranış eğrisi, kesme kuvveti - kesme deplasmanı (Perform 3D).	81
4.51:	Betonarme bağ kirişı davranış eğrisi, moment–dönme (Perform3D).	81
4.52:	Yüksek binadaki enerji dağılımı, BRB yok, (Perform 3D).	82
4.53:	Yüksek binadaki enerji dağılımı, BRB-1/3, (Perform 3D).	82
4.54:	Yüksek binadaki enerji dağılımı, BRB-1/2, (Perform 3D).	82
4.55:	Yüksek binadaki enerji dağılımı, BRB-2/3, (Perform 3D).	83
4.56:	Bütün elemanlardan elde edilen plastik (histeretik) enerjide BRB elemanların payı (sarı renk), BRB-2/3, (Perform 3D).	83
4.57:	Bütün elemanlardan elde edilen plastik (histeretik) enerjide çelik bağ kirişlerinin payı (sarı renk), BRB-2/3, (Perform 3D).	83
4.58:	Doğrusal ötesi davranışa geçen bazı kirişler (Perform 3D).	84

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Bina yükseklik aralıkları.	21
3.2: Deprem tasarım sınıfları (DTS) (Taslak TBDY-2016).	22
3.3: Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (Taslak TBDY-2016).	22
3.4: Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS = 1) (Taslak TBDY-2016).	24
3.5: Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları (Taslak TBDY-2016).	24
3.6: Betonarme taşıyıcı sistem elemanları için II. Aşamada uygulanacak etkin kesit rijitliği çarpanları.	25
4.1: Seçilen noktalara ait spektral ivme değerleri.	56
4.2: Binanın hakim mod özellikleri.	59
4.3: Seçilen deprem kayıtları.	64
4.4: Farklı modellerin periyot kıyaslamaları.	68

1. GİRİŞ

Ülkemizde yüksek binalar giderek yaygın bir şekilde tasarlanmakta ve inşa edilmektedir. Yüksek yapıların sayılarının artmasıyla birlikte bu yapıların analizinde ve tasarımda birçok sorunla karşılaşilmektedir. Kimi zaman deprem, kimi zaman rüzgâr, kimi zaman yangın yapıların özellikle de yüksek yapıların önünde bir engel oluşturmaktadır. Bu konu ile ilgili literatürde özellikle son yıllarda yapılan birçok çalışma bulunmaktadır.

Geleneksel olarak ülkemizdeki tüm yüksek binaların taşıyıcı sistemi betonarme perde ve çerçevelerden oluşturulmaktadır. Deprem riski altındaki büyük şehirlerde son yıllarda artık yüksek binaların tasarımı için yeni ve özel yönetmelikler bulunmaktadır (İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY), 2008; Tall Buildings Initiative (TBI), 2010). Bu yönetmelikler yüksek binalar için performansa dayalı tasarım ilkelerinin uygulanmasını gerektirmekte ve taşıyıcı sistem tasarımının doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri ile yapılmasını gerektirmektedir.

Ülkemizdeki yapı stokuna ve yapılmakta olan yeni binalara baktığımızda yüksek binaların ana taşıyıcı sistemlerinin betonarme çekirdek perdeli ve çerçevelerden oluştuğu görülmektedir. Bunun sebebi her ne kadar maliyet olsa da sebeplerden biri de farklı bir taşıyıcı sistem ile tasarlanmış yüksek bir yapının analiz ve tasarım tecrübesinin çok fazla olmaması ayrıca literatürde böyle bir çalışmanın çok fazla olmamasıdır. Bu tez çalışmasında, betonarme çekirdek perdeli ve çelik taşıyıcı sisteme sahip yüksek bir binanın İYBDY (2008) ve TBI'da (2010) önerilen performansa dayalı tasarım ilkelerine göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi gerçekleştirilerek taşıyıcı sistem davranışı belirlenmiştir.

Bilindiği üzere ülkemizde şu anda taslak durumda olan yeni bir deprem yönetmeliği (TBDY) ve deprem tehlike haritaları bulunmaktadır. Ayrıca yeni bir çelik yapılar yönetmeliği yayınlanmıştır. Tez kapsamında bu yönetmeliklerde irdelenerek hesaplamalarda kullanılmıştır.

Tezde sayısal örnek olarak sunulan ve taşıyıcı sistem özellikleri diğer bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanan yüksek binada, outrigger (dış destek) olması ve olmaması durumu kıyaslanmıştır. Dış destek elemanı olarak burkulması önlenmiş çapraz elemanları (BRB) kullanılmıştır.

1.1. Tez Çalışmasında Yapılmak İstenenler

Beton ve çelik malzemenin bir arada kullanıldığı yüksek yapılar, kompozit (karma) yapılar; çeliğin hızlı yapım süreci ve mukavemeti, betonun ekonomik oluşu ve yangına karşı direnci sebebiyle kompozit yapılar son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Çok katlı bir bina ileri analiz yöntemler ile analiz edilmiştir ve yapıyı oluşturan taşıyıcı sistem; betonarme perde, kompozit kolon ve çelik kiriş elemanlarla tasarlanmıştır. Binanın hesap modeli oluşturulmadan önce, çok katlı bir yapıda betonarme bir perde ve çelik çerçevelerin eleman ve sistem bazında nasıl modelleneceği ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır. Oluşturulan taşıyıcı sistem modelinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi yapılmış ve bu konular ile ilgili detaylı araştırmalar yapılmıştır. Gerekli araştırmalar, literatür çalışmaları ve kabul görmüş ulusal ve uluslararası kaynaklardan yapılmıştır.

Yapı taşıyıcı sisteminde çekirdek kısmını oluşturan betonarme perdeler bulunmakta ve bu perdeler çelik/betonarme bağ kirişleri ile birbirine bağlanmaktadır. Çekirdek perdelerinin iç kısımlarında betonarme döşemeler bulunmaktadır. Çekirdek perdeler dışında kalan bölümlerde ise çerçeve sistem bulunmaktadır. Çerçeveler kompozit kolonlar (çelik-gömme) ve çelik kirişlerden oluşmaktadır. Çelik kirişler üzerinde kompozit döşemeler bulunmakta olup bu döşemeleri taşımak üzere çelik tali kirişler mevcuttur.

İncelenen bina 50 katlı olup toplam bina yüksekliği 204m'dir. Taşıyıcı sistemi özet olarak yukarıdaki paragrafta anlatılan bina zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile analiz edilmiş ve yapı davranışı özetlenmiştir. Bina bu hali ile incelenmiş olup ayrıca burkulması önlenmiş çapraz elemanlar (BRB) ile teşkil edilen dış destekler (outrigger) ile modellenmiştir. Dış destek elemanları farklı katlara yerleştirilip yapı davranışı üzerindeki etkisi irdelenmiştir.

Yapı ile ilgili doğrusal olmayan analiz yapılmadan önce yapının ön tasarımı doğrusal yöntemler ile yapılmıştır. Bu hesaplamalarda Taslak-TBDY takip edilmiş ve ETABS programı kullanılmıştır.

Daha sonra doğrusal olmayan analize geçilmiştir. Ön tasarımı yapılan bina modeli SAP2000 programına aktarılmıştır. Gerekli düzenlemeler yapılarak buradan da

PERFORM-3D programına aktarılmış ve doğrusal olmayan analizler bu programda yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucu ortaya çıkan sonuçlar hem eleman hem de sistem bazında değerlendirilmiştir. Ayrıca performans seviyesi sınırlarına değinilmiştir.

1.2. Tez Çalışmasında Uygulanacak Metot

Tez çalışması aşağıdaki adımların uygulanmasıyla gerçekleşecektir. Oluşturulacak olan yapı modeli için uygun olan taşıyıcı yerleşimi ve eleman ön boyutları belirlenecektir.

- Yapının 3 boyutlu sayısal modeli dünyaca kabul görmüş ETABS v2016, SAP2000 v19 ve PERFORM 3D v6 programları ile oluşturulmuştur.
- Yapının ön tasarımı doğrusal yöntemler ile Taslak-TBDY-2016 yönetmeliğinin esaslarına uyularak yapılmıştır.
- Doğrusal olmayan eleman özellikleri tanımlanmıştır.
- Yapının inşa edileceği bölgeye uygun deprem kayıtları hazırlanacak ve zaman tanım alanında analiz için gerekli düzenlemeler yapılmıştır.
- Yapısal analiz sonucu elde edilen şekil değiştirmeler, kesit tesirleri vb. parametreler ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre değerlendirilmiştir.
- Yapılan çalışmalar sonucunda yüksek binalar için önerilerde bulunulmuştur.

1.3. Tezin Bilime Katkısı

Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar ile ülkemizdeki betonarme çekirdek perdeli ve çelik taşıyıcı sisteme sahip yüksek binalar ile ilgili bilgi birikiminin artmasına katkıda bulunulmuştur. Mevcut analiz yöntemleri, taşıyıcı sistem modelleri, yapısal analiz programları irdelenerek çalışmanın yaygın etkisinin artırılması sağlanmıştır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçların ulusal ve/veya uluslararası konferanslarda/seminerlerde sunularak ülkemizde ve dünyada bu konudaki bilgi birikimine katkı sağlanacaktır.

2. YÜKSEK BİNALAR VE TAŞIYICI SİSTEMLERİ

2.1. Yüksek Binaların Tarihsel Gelişim Süreci

Yüksek yapıların inşasında geçmişte yaşanan güçlü olma isteği, prestij, gibi sebeplerin etkili olduğu görülmüştür. Tarihteki örneklerine ilk olarak Mısır pramitlerinde rastlanılır. Sümerlere ait pramitler, pek çok dinde bahsi geçen Babil Kulesi farklı yüksek yapılara örnek olarak verilebilir.

Yukarıda özetlendiği üzere yüksek yapılar ilk olarak bina türü olmayan yapılar ile başlamıştır. 19. yüzyılın sonlarına doğru bina türü yüksek yapıların inşasına başlanmıştır.

20. yüzyıla girerken teknoloji ilerlemiş, malzeme özellikleri artırılmış ve böylece bina tasarımı ve cephe sisteminde estetiklik ön plana çıkmıştır. Bu binalardan biri olan New York'daki Woolworth Binası 241 metre yüksekliğindedir. Binanın formu kuledir ve yapı taşıyıcı sistemi çelik kolon ve kirişlerden meydana gelmektedir.

Çelik yapı elemanlarının gelişimi devam etmiş çekirdekli, çerçeve tüp sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Cephelerde ise daha hafif malzemeler kullanılmıştır. New York'da 1930 yılında inşa edilen Chrysler Binası dönemin ilk yapılarından (Şekil 2.1) [Web 1, 2017]. William Van Allen tarafından yapılan çelik çerçeve sistemli ofis binasında 30 adet yolcu asansörü mevcuttur. O zamana kadar yapılanların en yükseği olan bina 77 katlı ve 319 metre yüksekliğindedir. Bina önce 308 metre olarak tasarlanmış ancak Allen eski yardımcısı H. Craig Severence'nin 309 metre yüksekliğinde başka bir proje tasarladığını öğrenince Chrysler Binasını bir kule ilavesiyle 319 metreye yükseltmiştir. Bu olay dönemin yükseklik yarışının boyutlarını gözler önüne sermektedir. Yapıldığında kırdığı yükseklik rekorundan çok, çağdaş biçim ve malzemelerle gerçekleştirilen "Art Deco" süslemeleriyle de dikkat çeken bir yapıdır. Bina en yüksek olma özelliğini ancak bir yıl koruyabilmiştir [Web 1, 2017].



Şekil 2.1: Chrysler Binası.

New York’da 1931 yılında yapımı tamamlanan 381 m yüksekliğine ulaşan 102 katlı Empire State Binası en yüksek olma rekorunun sahibi olmuştur (Şekil 2.2) [Web 2, 2017]. Bu yapının ekonomik ölçüler içindeki yükseklik sınırını belirlemiş olduğu söylenilebilir. Bina yükselirken taşıyıcı sistemin ağırlaşması ve asansör sayısının artması dolayısıyla yapım maliyetlerinin de arttığı, büyük asansörlerin kiralık alanlarda azalmaya sebep olması nedeniyle binaların yükselmesinin kar sağlamayı olumsuz yönde etkilediği düşünülmüştür. Empire State binası gövdesinde yapılan geri çekmeler yüksek binaların komşu yapılara gölge yapma problemine de bir ölçüde çözüm getirmiştir. Bina cephesinde pencerelerin üzerlerine yapılan alüminyum kaplamalar ve yapının üst kısmında yer alan bitiş kulesi Art Deco izleri taşımaktadır [Web 1, 2017].



Şekil 2.2: Empire State Binası.

Dünya Savaşlarından ülkeler kendilerini toparlamaya başlamış ve yeni gelişmeler ortaya çıkmıştır. İnşaat anlamında yaşanan gelişmelerin bazıları şu şekilde sıralanabilir: betonun ve çelik kalitesi daha iyi bir noktaya gelmiş, yapılarda ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemleri geliştirilmiş, kat alanları daha verimli olarak kullanılmaya başlanmıştır. Proje hazırlama konusunda yeni teknikler ve hesap yöntemlerinde önemli adımlar atılmıştır. Yapı tasarımında bilgisayar kullanımına geçilmeye başlanılmış ve yeni inşaat teknolojileri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu ilerlemeler sonucunda yüksek yapıların gelişimi hız kazanmıştır.

110 katlı Sears (Willis) Kulesi (Chicago, 1974) 443 m yüksekindedir (Şekil 2.3) [Web 3, 2017]. Uzun bir dönem dünyada en yüksek binaların başında gelirdi. Bu teze konu olan hesap modeli hazırlanırken Sears Kulesinden esinlenilmiştir.



Şekil 2.3: Sears (Willis) Tower.

Yüksek yapılar başlangıçta Amerika’da yükselmekteyken yirminci yüzyılın sonlarında Uzak Doğu ve Avrupa ülkelerinde de yüksek binalar yapılmaya başlanmıştır. Dünyanın en yüksek binası unvanı ilk kez 20. yüzyılın sonunda ABD’nin elinden alınmış ve 1998 yılında Kuala Lumpur’daki Petronas Towers 452 metreye ulaşan yüksekliğiyle bu unvanın sahibi olmuştur (Şekil 2.4) [Web 1, 2017]. Daha sonra en tepe noktasının yüksekliği 509 metre olan Taipei 101 binası yarışta öne geçmiştir.

Burj Dubai binası 2009 yılında tamamlanmış olup dünyanın en yüksek binası olmuştur. Binanın en üst katları çelik olarak yapılmıştır ve dünyada betonarme kütle üzerine çelik konstrüksiyonla devam edilen ilk bina özelliğine sahiptir. Binanın cephelerine gelen rüzgâr yüklerini en aza indirmek için binanın hiçbir cephesi düz olarak tasarlanmamış, köşeleri de dairesel birleşimlerle yapılmıştır.

Kraliyet Kulesi olarak da adlandırılan “Burj al Mamlakah” Suudi Arabistan’da Cidde’de inşa ediliyor. Başlangıçtaki hedefi 1 mil yüksekliğe ulaşmak olan bina sonradan 1 km olarak tasarlandı. 2014 yılında temeli atılan binanın 2019 yılında

tamamlanması planlanıyor. Rakip gökdelenlerden tatsız bir sürpriz yaşanmasından korkulduğu için planlanan yükseklik tam olarak açıklanmıyor [Web 1, 2017].



Şekil 2.4: Petronas Kuleleri (Kuala Lumpur, 1998).

2.2. Yüksek Binaların Taşıyıcı Sistemleri

Geçmiş yüzyıllarda yapıların taşıyıcı elemanlarının ilk amacı düşey yükleri taşımak olmuştur. Gün geçtikçe deprem gerçeği daha çok anlaşılmıştır. Deprem sonrası yıkılan yapılar incelenmiş ve sebepleri ortaya koyulmuştur. Bu gelişmelere paralel olarak taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında deprem etkisi daha çok dikkate alınmıştır. Teknolojik gelişmeler ve çelik malzemelerin yapılarda daha sık kullanılmaya başlanması ile binalar daha hafif olmaya başlamıştır. Özellikle yüksek yapılarda rüzgâr etkisinin daha hâkim olduğu anlaşılmış ve taşıyıcı sistem belirlenmesinde önemli olmuştur.

Bu sebeplerden dolayı yapı mühendisleri için yüksek binaların, deprem ve rüzgârdan meydana gelen yatay yüklere karşı dayanımı, yeni taşıyıcı sistemlerin tasarımında önemli bir yer sahibi olmuştur.

İnşaat teknolojilerinin gelişmesi, bilgisayarların ve yazılımların yaygınlaşması, yeni malzemeler ve yenilikçi yaklaşımlar ile bina yükseklikleri her geçen gün artmıştır. Bina yükseklikleri 500 metrelere ulaşmış hatta günümüzde 1000m mertebelerini bulmaktadır.

Yapıların yüksekliği arttıkça taşıyıcı sistem seçenekleri azalır. Az katlı binalarda taşıyıcı sistem seçmek için daha çok alternatif bulunmaktadır. Bina yüksekliği arttıkça bu seçenekler daha az olmaktadır.

Temel olarak, üç bina tipi vardır: çelik, betonarme ve kompozit binalar. Yüksek dayanım-ağırlık oranındaki üstünlüğü, montaj ve uygulama kolaylığı, şantiyeye taşınma ekonomikliği, farklı dayanım seçenekleri ve kesit seçimlerinde sunduğu geniş yelpazesi sayesinde, 90'lı yılların sonuna kadar “en yüksek” ünvanını almış binaların hepsinin taşıyıcı sistemi çelik olarak tasarlanmıştır. Yenilikçi taşıyıcı sistemler ve modern tasarım yöntemleri, yangından ve paslanmadan korunma sistemlerindeki gelişmeler, fabrikasyon ve montaj tekniklerindeki yenilikler sonucunda çelik, her çeşit yüksek bina taşıyıcı sistemi için kullanılabilir hale gelmiştir [Günel ve Ilgın, 2007].

Bina yapımlarında beton malzemenin kullanımı yaygınlaştıktan sonra yapılan bina sayısı artmıştır. Daha sonraları yüksek dayanımlı betonların ortaya çıkması ile yüksek binalarda beton kullanımı artmıştır. Betonun çeliğe göre ucuz olması ve yangın dayanımının yüksek olması tercih sebeplerinden biridir. Beton ile çelik birlikte kullanılarak betonarme elemanları oluşturmaktadır.

Ayrıca yapısal çelik endüstrisinin ilerlemesi ile yapılan çelik bina sayılarında artış olmuştur. Çelik yapı elemanlarının imalat ve montajlarının hızlı olması ayrıca betonarme elemanlara nazaran daha narin kesitler olması tercih sebeplerinden bazılarıdır.

Daha sonraları betonarme elemanlar ile yapısal çelik elemanları birlikte kullanılarak kompozit taşıyıcı elemanlar ve kompozit taşıyıcı sistemler ortaya çıkmıştır. Bu tip elemanların kullanılması ile daha narin kesitler ile yapısal taşıyıcılar oluşturulmuştur. Daha küçük boyutlarda kullanılan taşıyıcı elemanlar mimari tasarımın önünü açmaktadır.

Yapısal tasarımda deprem ve rüzgâr etkileri önemli ölçüde belirleyicidir. Bu tür yanal kuvvetlere karşı tasarım yaparken yenilikçi yaklaşımlar gelişmiştir. Yüksek

binalarda dış destek elemanları kullanılmaya başlanmış ve yapıların yanal stabilitesi arttırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca burkulması önlenmiş çaprazlar, damperler, izolatörler vb. sistemler yapı tasarımında kullanılmaya başlamıştır.

Kompozit kelimesini farklı malzemelerin bir arada kullanılması olarak tanımlayacak olursak aslında betonarme bir eleman da kompozit eleman olarak tanımlanabilir. Ancak yapısal eleman olarak tasarımlar düşünüldüğünde aslında kompozit olarak tanımlanan elemanlar beton ve yapısal çelik profiller ile birlikte teşkil edilen elemanlardır. Bu elemanlar çelik gömme veya çelik elemanlar içerisine doldurulmuş beton olarak sınıflandırılabilir. Döşeme sistemleri incelendiğinde betonarme döşemeler ve çelik kirişler üzerinde trapez saç ve beton ile teşkil edilen kompozit döşemeleri ayrı düşünebiliriz. Eleman bazında kompozitlik durumu bu şekilde izah edilebilir. Yapısal çelik profiller ile betonarme elemanlar (perde, kolon,) birlikte kullanılarak sistem olarak kompozit bir sistem elde edilebilir.

Yüksek binaların taşıyıcı sistemleri genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Rijit çerçeve sistemler
- Perdeli çerçeve sistemler
 - Çelik çaprazlı çerçeve sistemler
 - Boşluklu/boşluksuz betonarme perdeli çerçeve sistemler
- Dış destekli (outrigger) çerçeve sistemler
- Tübüler sistemler
 - Çerçeve-tüp sistemler
 - Kafes-tüp sistemler
 - Demet-tüp sistemler
 - Tüp içinde tüp sistemler

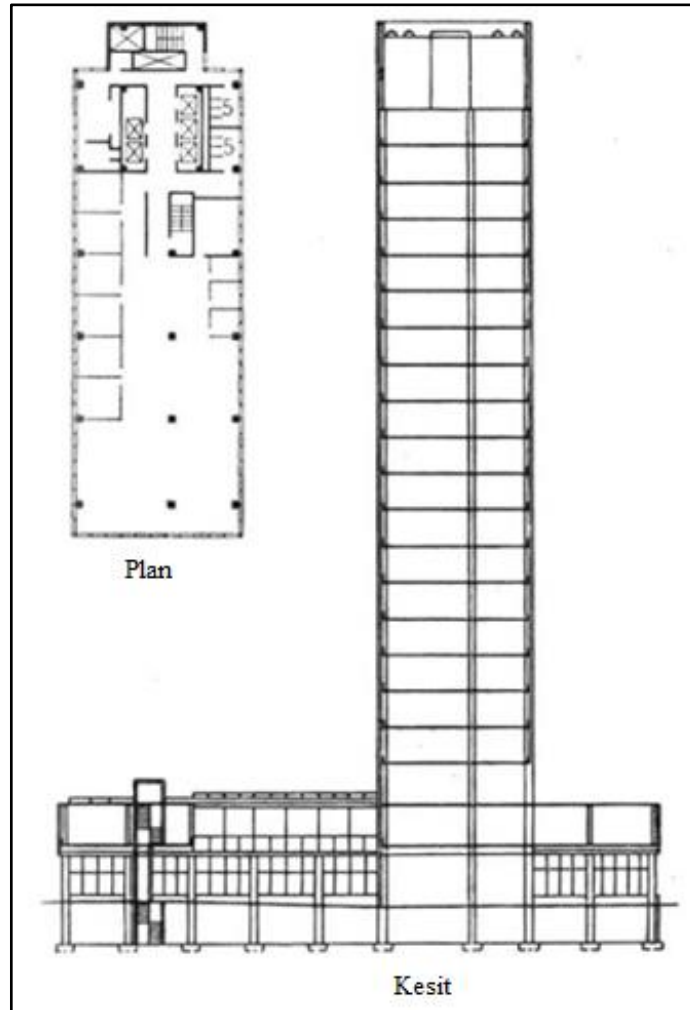
2.2.1. Rijit Çerçeve Sistemler

Rijit çerçeve sistemler, kolon ve kirişlerden oluşan taşıyıcı sistem sınıflarındandır. Bu taşıyıcı sistem az katlı binalarda kullanıldığı gibi yüksek binalarda da hem düşey hem de yatay yüklerin taşınmasında tercih edilebilir. Bu sistem

betonarme ve yapısal çelik elemanlar ile oluşturulabildiği gibi her iki eleman tipinin birlikte kullanılması ile de tasarlanabilir.

Binanın toplam rijitliğini bu çerçeveler oluşturur. Kolon ve kiriş elemanlar birbirine moment aktaracak şekilde (rijit) bağlanır. Rijit çerçeve sistemler perdeli sistemlere göre daha sünek davranış gösterir. Rijit çerçevelerdeki elemanlar ve bu elemanların birleşim bölgelerindeki detaylar değiştirilerek daha çok veya daha az sünek sistemler oluşturulabilir.

Rijit çerçeveler de deplasmanlar perdeli sistemlere göre daha fazla çıkar yani daha narin yapılar diyebiliriz. Çerçevelerin açıklık ve sıklığına göre farklı kat sayısı binalar tasarlanabilir. Bu tip sistemlerle 30 kattan daha fazla katı bulunan binaların tasarlanması bir hayli zordur. New York'ta bulunan 21 katlı ve çelik taşıyıcı sisteme sahip Lever House (New York, 1952) binası rijit çerçeve sistemi ile tasarlanmıştır (Şekil 2.5) [Web 4, 2017].



Şekil 2.5: Lever House tip kat planı ve kesiti.

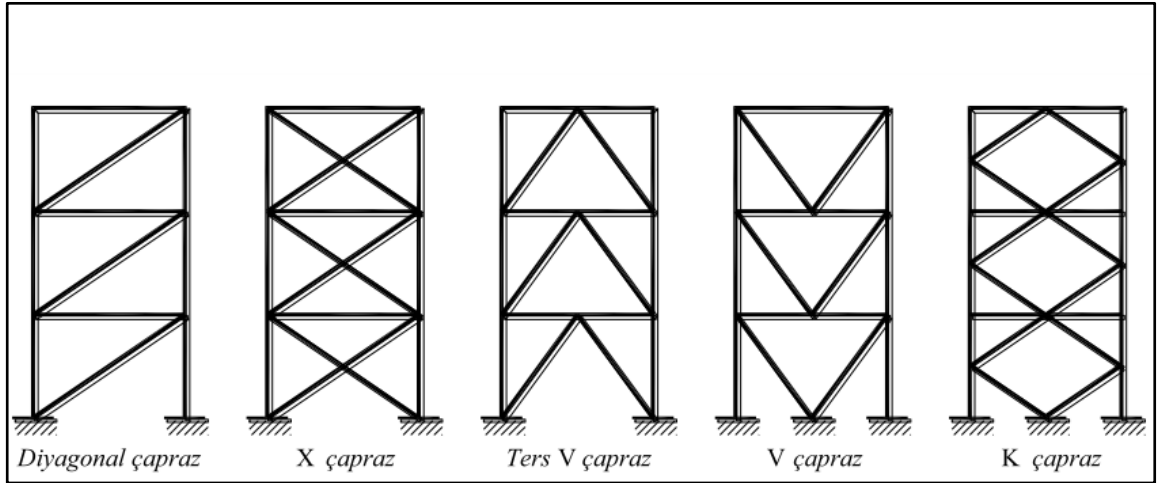
2.2.2. Perdeli Çerçeve Sistemler

Kat sayısı arttıkça yanal yüklere karşı koyabilmek için sadece rijit çerçeve sistemler yeterli gelmeyebilir. Yatay yüklerin perdeler ile taşınması gerekebilir. Perdeli sistemler rijit çerçeve sistemler ile birlikte kullanılarak deprem ve rüzgâr yüklerini taşıyabilir. Bunun dışında çerçeve sistemler sadece düşey yük taşıyacak şekilde tasarlanıp, yatay yükleri sadece perdeli sistemler taşıyacak şekilde tasarımlar yapılabilir. Perdeli sistemler çelik çapraz elemanlar ile oluşturulabildiği gibi boşluklu/boşluksuz betonarme perde elemanlarla da oluşturulabilir.

2.2.2.1. Çaprazlı Çerçeve Sistemler

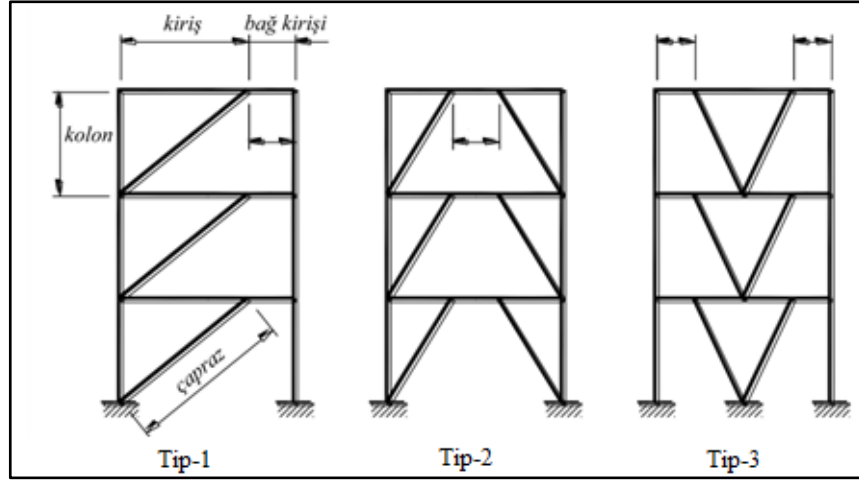
Çaprazlı çerçeve sistemler yatay yükleri karşılama konusunda oldukça etkilidir. Bu sistem ile ekonomik çözümler ortaya çıkartılabilir. Çelik çaprazlı çerçeve sistemler merkezi ve dış merkezi olarak iki ana başlık altında incelenebilir.

Merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerin tipleri şu şekilde sıralanabilir; diyagonal çapraz, X çapraz, ters V çapraz, V çapraz, K çapraz. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerin şekil 2.6.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler.

Dış merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerin şekil 2.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Dış merkezi çaprazlı çelik çerçeveler.

Ayrıca çaprazlı çerçeveler burkulması önlenmiş elemanlar ile de teşkil edilebilir (Şekil 2.8) [Web 5, 2017].



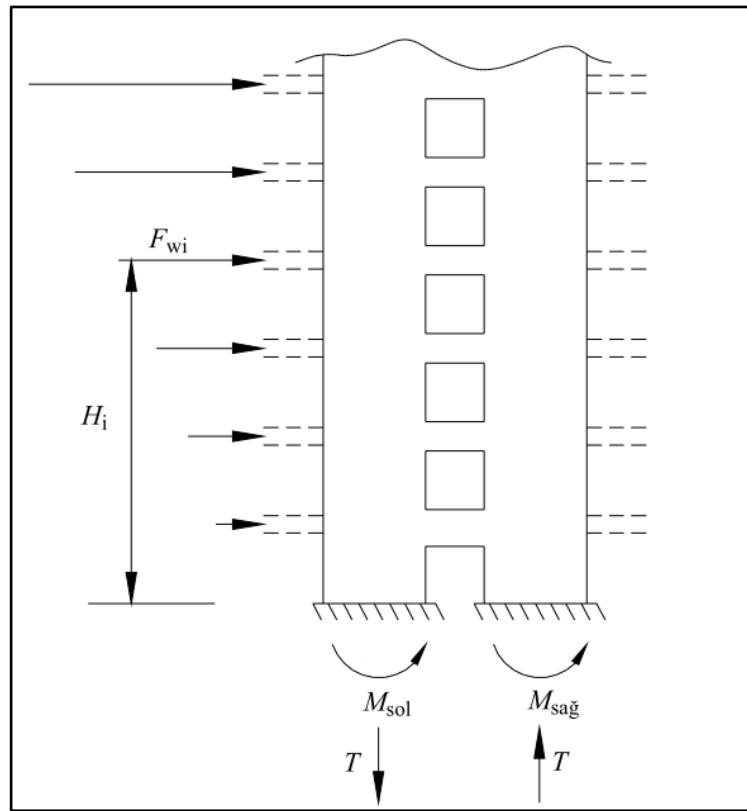
Şekil 2.8: Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve örneği.

2.2.2.2. Boşluklu / Boşluksuz Betonarme Perdeli Çerçeve Sistemler

Boşluklu/boşluksuz betonarme perdeli çerçeve sistemler, yatay yüklerin taşınmasında oldukça etkilidir ve yaygın olarak kullanılır. Boşluklu betonarme perdeler bağ kirişleri ile birbirlerine bağlanarak sistem oluşturulur. Enerji yutma

yeteneği boşluksuz perdelerle oranla daha yüksektir. Genel olarak yönetmeliklerde kesitinin plandaki boyutunun kesit kalınlığına oranı 7 olan betonarme düşey/yatay taşıyıcı elmanlar perde olarak tanımlanır. Betonarme boşluksuz perdeler, genellikle konsol olarak çalışan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır.

Betonarme bağ kirişli (boşluklu) perdeler (Şekil 2.9) [DBYBHY, 2007], iki boşluksuz perde parçasının kısa ve çok yüksek kesme dayanımları olan bağ kirişleri ile bağlanarak birlikte tek bir perde olarak çalıştığı düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Bu tür perdeler, güçlü bağ kirişleri sayesinde konsol olarak çalışan boşluksuz perdeler ile çerçeveler arasında bir davranış gösterirler.



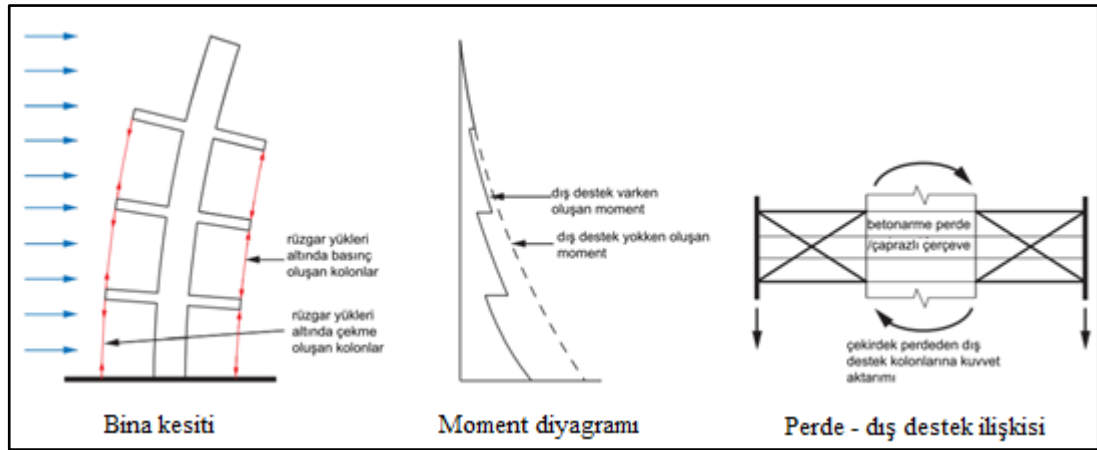
Şekil 2.9: Bağ kirişli betonarme perde kesiti.

2.2.3. Dış Destekli (Outrigger) Çerçeve Sistemler

Dış destekli çerçeve sistemler, dış kolonlarla çekirdeği birbirine bağlayan en az bir kat derinliğinde yatay çapraz veya perde duvarların eklenmesiyle geliştirilmiştir. Yanal yükler altında, çekirdekle dış kolonların kafes kirişler, burkulması önlenmiş çaprazlar vb. sistemlerle çekirdeğin takviye edilmesi, yanal ötelenmeyi ve devrilme momentini önemli ölçüde azaltır.

Dış destekler ve kuşaklar, yanal yüklere karşı yeterli etkinliği sağlamak amacıyla en az 1, genellikle 2 kat derinliğinde ve bina yüksekliği boyunca en az bir seviyede tasarlanır (Şekil 2.10) [CTBUH, 2017]. Dış destekler normal katlarda kullanıma engel teşkil etmemesi amacıyla genellikle tesisat katlarına yerleştirilir. Dış destekli sistemler ile 100 kat üzeri yüksekliklere ulaşılabilir.

Dış destek (outrigger) dizaynı ile ilgili “CTBUH Outrigger Design Guide (2012)” bir yayın yapılmıştır. Bu yayının 2. baskısı 2017 yılında yayınlanmıştır.



Şekil 2.10: Dış destek sistemin çalışma mekanizması.

2.2.4. Tübüler Sistemler

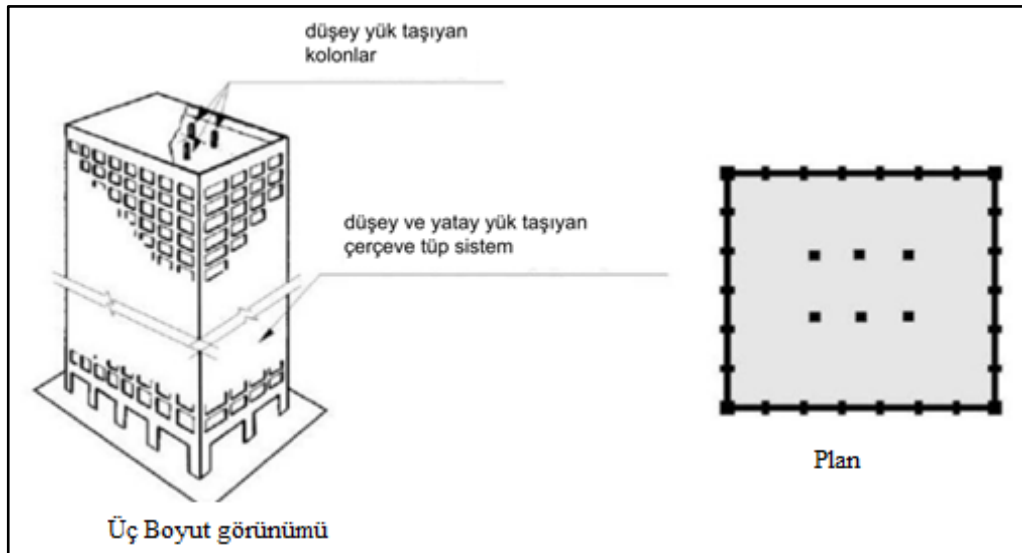
Tübüler sistem, Fazlur Khan tarafından 1960’lı yılların başında geliştirilmiştir ve konsol kolon gibi çalışıyor denilebilir. Bu sistem ile yüz kat ve üzeri binalar yapılabilir. Bu sistemde dışta oluşturulan tüp, yatay yüklerin tamamını karşılayacak şekilde tasarlanır. İçte çekirdeğin sadece düşey yükleri taşıdığı varsayılır. Klasik sistemlerde iç kısımlarda kullanılan çekirdek bölgesine bir tüp sistem yerleştirilebilir. İçteki tüp hem düşey hem yatay yüklerin taşır ve sistemin rijitliğini artırır.

2.2.4.1. Çerçeve-Tüp Sistemler

Çerçeve-tüp sistemler, “geleneksel çerçeve sistemlerin evrimi” olarak tanımlanabilir. Bu sistemler, perdeli çerçeve sistemin çok yüksek binalar için yetersiz kalması sebebiyle bir alternatif haline gelmiştir. Çerçeve-tüp sistemlerde, cephe aksında

birbirlerine derin çevre kirişlerle bağlanan sık aralıklı kolonlar bulunmaktadır. Bu sistemde dışta oluşturulan tüp, delikli bir perde görünümündedir.

Çerçeve-tüp davranışı, normal kolon aralığının (5-6 m) altındaki değerler kullanılarak elde edilir. Örneğin, World Trade Center Twin Towers'da (1972) kolon aksları arasındaki açıklık 1.02 m'ye ve kolonlar arasındaki net açıklık ise 0.70 m'ye kadar düşer. Sık aralıklı yerleştirilmiş cephe kolonları, bina içerisinden görülen dış manzarayı panoramik olmaktan uzaklaştırır. Bina girişinde yer alan kamusal lobi mekanına geçerken, kolon sıklığı yüzünden yaşanabilecek erişim zorluklarına karşı, derin aktarma kirişleri ya da New York'taki World Trade Center Twin Towers'da (1972) olduğu gibi branşlaşan kolonlar kullanmak çözüm olabilir [Günel ve Ilgın, 2007].



Şekil 2.11: Çerçeve tüp sistem.

2.2.4.2. Kafes-Tüp Sistemler

Çerçeve tüp sistemin dış yüzeyine birden fazla kat yüksekliği boyunca çapraz elemanlar eklenerek kafes-tüp sistemler elde edilir. Böylece strüktürel rijitlik ve etkinlik arttırılarak çerçeve tüp sistem ile kıyaslandığında kolon aralıkları daha geniştir.

Çelik binalarda, bina yüzeyinde birden fazla kat yüksekliğinde çelik diyagonaller veya çaprazlar kullanılırken betonarme binalarda, pencere açıklıkları bina yüzeyinde birkaç kat yüksekliğinde diyagonal oluşturacak şekilde çaprazlama olarak betonarme perdeler ile teşkil edilir.

Kafes-tüp sisteminin ilk uygulaması elik bir binada yapılmıştır. Ünlü yapı mühendisi Fazlur Khan, kafes-tüp fikrinin geliştiricisi olup bunu ilk kez 100 katlı John Hancock Center’da (1969) uygulamıştır (şekil 2.12) [Web 6, 2017]. New York’taki 50 katlı 780 Third Avenue Building (1985), kafes-tüp sistemin kullanıldığı ilk betonarme binadır [Günel ve Ilgın, 2007].



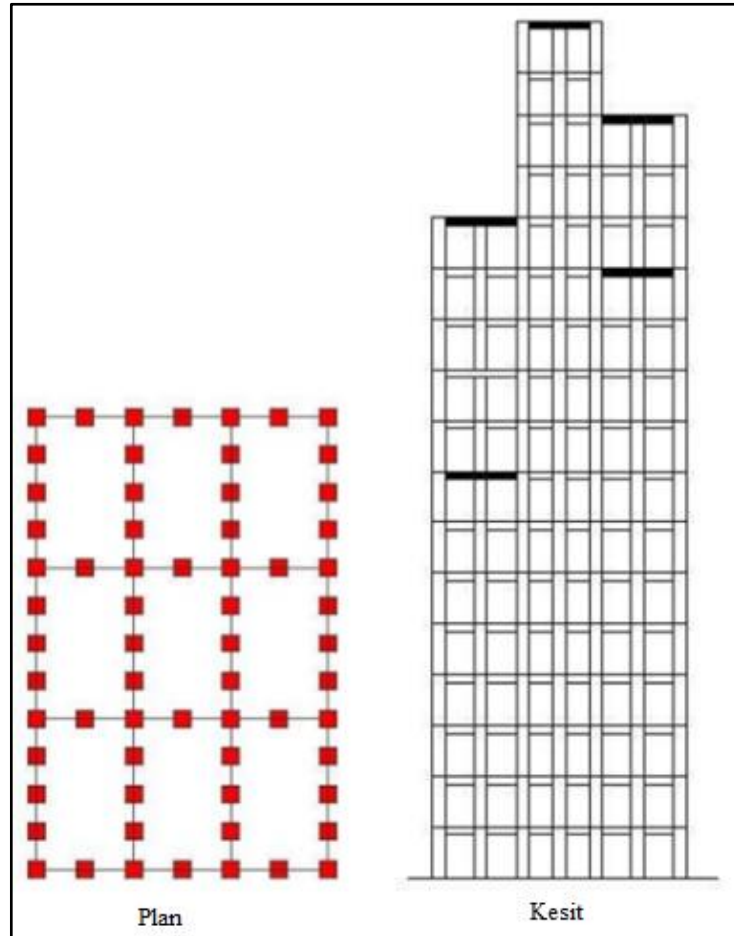
şekil 2.12: John Hancock Center - Kafes tüp sistem örneği.

2.2.4.3. Demet-Tüp Sistemler

Artan kat alanları ve bina yükseklikleri sonucu yapı taşıyıcı sisteminde kolon aralıklarının arttırılmasına imkân veren demet-tüp sistemi geliştirilmiştir. Örneğin, kolon aksları arasındaki açıklık, Sears Tower’da (1974) 4.60 m mertebelerindedir.

Demet-tüp sistemi, tekli tüplerin birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan tüpler kümesi olup strüktürel etkinlikten ödün verilmeksizin tüplerin istenen yüksekliklerde farklı ölçülerde plan konfigürasyonlarının yapılmasını sağlar. Bu özellik, kat planlarında değişik şekillerde ve boyutlarda geri çekmelere de olanak sağlar.

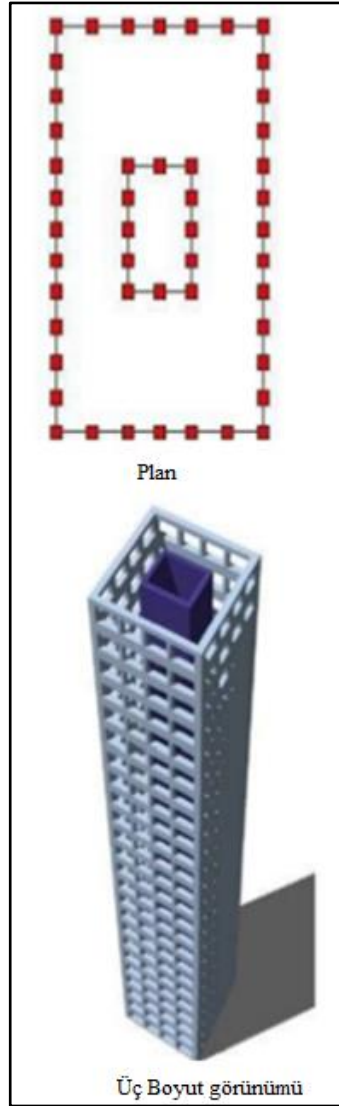
Demet-tüp sistemde, çerçeve-tüp, kafes-tüp ya da her ikisi birlikte kullanılabilir. Modüler karakteristiği sebebiyle geniş bir uygulama alanına sahiptir. Tüpler birçok şekilde düzenlenerek farklı formlar oluşturulabilir. Chicago’da bulunan çelik taşıyıcı sistemi olan 108 katlı Sears Tower (1974) demet-tüp sisteminin kullanıldığı ünlü binalardandır.



Şekil 2.13: Demet Tüp Sistem.

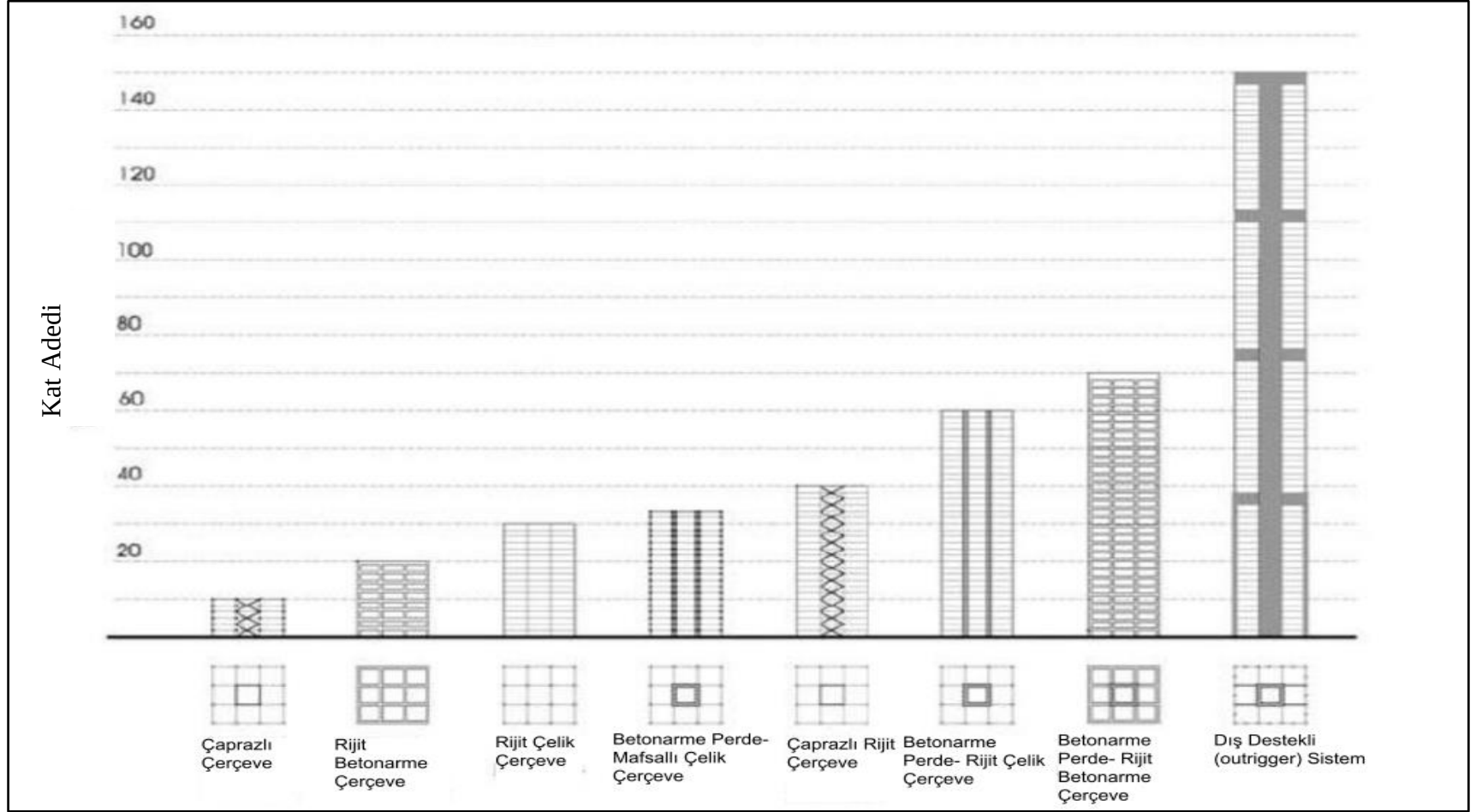
2.2.4.4. Tüp İçinde Tüp Sistemler

Yatay yükleri hem içteki çekirdek taşır hem de dıştaki çerçeve tüp sistem taşır. İçteki sistem ile dıştaki sistem birbirine kat döşemesinin oluşturduğu diyafram ile bağlıdır. İçeride bulunan çekirdek sistem perde, çaprazlı (kafes) tüp veya çerçeve tüp sistem olabilir. Bu şekilde içte ve dışta iki farklı tüp sistem oluşur yani iç içe tüp sistem oluşur. Millennium Tower, Tokyo yapısının taşıyıcı sistemi bu sisteme örnek verilebilir.



Şekil 2.14: Tüp içinde tüp sistem.

Farklı kat adetlerine göre kullanılan taşıyıcı sistemler Şekil 2.15’de (CTBUH) gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Farklı kat adetlerine göre kullanılan taşıyıcı sistemler.

3. YÜKSEK BİNALARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

3.1. Genel Tanımlar

Deprem riski altındaki büyük şehirlerde son yıllarda artık yüksek binaların tasarımı için yeni ve özel yönetmelikler bulunmaktadır. (İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY), 2008; Tall Buildings Initiative (TBI), 2010). Bu yönetmelikler yüksek binalar için performansa dayalı tasarım ilkelerinin uygulanmasını gerektirmekte ve taşıyıcı sistem tasarımının doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri ile yapılmasını gerektirmektedir.

Ülkemizde bu konu ile ilgili en güncel yönetmeliğin, taslak olarak yayınlanmış olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2016) olduğunu söyleyebiliriz. Taslak yönetmeliğin 13. bölümü deprem etkisi altında yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için özel kuralları içermektedir. Ayrıca doğrusal olmayan davranışlar ve deprem hesapları ile ilgili bilgileri diğer bölümlerde tanımlanmıştır.

Yüksek binaların doğrusal olmayan analizi ile ilgili yapılacak olan tanımlamalar taslak yönetmelikte belirtilen şekli ile ele alınacaktır.

3.2. Yüksek Bina Tanımı

Bina yüksekliği ve bina yükseklik sınıfları taslak yönetmeliğin 3. bölümünde tanımlanmıştır. Değerler Tablo 3.1’de verilmiştir [TBDY, 2016].

Tablo 3.1: Bina yükseklik aralıkları.

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

Yukarıdaki tabloda $BYS=1$ olarak belirtilen binalar yüksek binalar olarak sınıflandırılacaktır.

Tablo 3.2: Deprem tasarım sınıfları (DTS) (Taslak TBDY-2016).

(DD-2) Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyod Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.333$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.333 \leq S_{DS} < 0.667$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.667 \leq S_{DS} < 1.00$	DTS = 2a	DTS = 2
$1.00 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Tablo 3.3: Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (Taslak TBDY-2016).

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

3.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

3.3.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

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 adlandırılmaktadır.

3.3.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

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.

3.3.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

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

3.3.4. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

3.4. Performans Hedefleri ve Tasarım Aşamaları

Taslak yönetmeliğe göre Yüksek binaların tasarımı, Tablo 3.4’de tanımlanan üç performans hedefini de sağlamak üzere aşağıda belirtilen üç aşamada yapılacaktır. II. Aşama ile III. Aşama’nın sıraları değiştirilebilir.

Tablo 3.4: Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS = 1) (Taslak TBDY).

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS=1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT-ŞGDT	—	—
DD-3	—	—	HK	ŞGDT
DD-2	CG	DGT ⁽³⁾	CG	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	CG	ŞGDT

3.4.1. Tasarım Aşaması I

Can güvenliği performans seviyesini sağlamak üzer DD2 depreminde dayanım esaslı tasarım ile bina tasarımı yapılmalıdır. Yapısal analizde mod birleştirme yöntemi kullanılabilir. Sönüm oranı %5 alınacaktır. Yapı sistemindeki elemanların modellenmesinde tablo 3.5’de bulunan etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılacaktır.

Tablo 3.5: Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği Çarpanları (Taslak TBDY-2016).

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

3.4.2. Tasarım Aşaması II

Ön tasarımı yapılan yüksek binada bu aşamada, kesintisiz kullanım performans seviyesini sağlamak üzere DD4 deprem düzeyinde hesap yapılacaktır. Yapılan hesaplar dayanıma veya şekil değiştirmeye göre değerlendirilebilir.

Daha sonra hemen kullanım performans seviyesini sağlamak üzere DD3 deprem düzeyinde hesap yapılacaktır. Yapılan hesaplar dayanıma veya şekil değiştirmeye göre değerlendirilebilir. Hesaplar modal hesap yöntemleri ile yapılabilir.

Yapı sistemindeki elemanların modellenmesinde aşağıdaki tablo 3.6’da bulunan etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılacaktır. Sönüm oranı % 2.5 alınacaktır.

Tablo 3.6: Betonarme taşıyıcı sistem elemanları için II. Aşamada uygulanacak etkin kesit rijitliği çarpanları.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.75	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	0.80
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	1.00	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
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

3.4.3. Tasarım Aşaması III

Birinci ve ikinci tasarım aşamaları tamamlandıktan sonra, normal performans seviyesi için Göçmenin Önlenmesi, ileri performans için Can Güvenliği performans seviyeleri hedef alınarak şekil değiştirmeye göre DD1 depreminde hesap yapılacaktır.

Hesaplarda zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılacaktır.

Yapı sistemindeki elemanların modellenmesinde Tablo 3.5.'de verilen etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılacaktır. Sönüm oranı % 2.5 alınacaktır.

3.5. Deprem Yer Hareketi Spektrumları

3.5.1. Tanım

Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulları esas alınarak %5 sönüm oranı için, harita spektral ivme katsayılarına, faya yakınlık katsayısına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak standart biçimde veya göre sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile özel olarak tanımlanırlar.

3.5.2. Harita Spektral İvme Katsayıları ve Tasarım Spektral İvme Katsayıları

Dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için Deprem Tehlike Haritaları, iki spektral ivme değerini tanımlayan Spektral İvme Haritaları olarak düzenlenmiştir. Boyutsuz olarak tanımlanan harita spektral ivme katsayıları aşağıda belirtilmiştir:

- Kısa periyod bölgesi için harita spektral ivme katsayısı S_S
- 1.0 saniye periyod için harita spektral ivme katsayısı S_1

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme katsayıları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu $[(V_S)_{30} = 760 \text{ m/s}]$ esas alınarak %5 sönüm oranı için Deprem Tehlike Haritaları'nda [Web 7, 2017] verilen harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz katsayılar olarak tanımlanmıştır.

Tanımlanan harita spektral ivme katsayıları S_S ve S_1 , aşağıdaki şekilde tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} ' e dönüştürülür

$$S_{DS} = S_S * F_S \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = S_1 * \gamma_F * F_1 \quad (3.2)$$

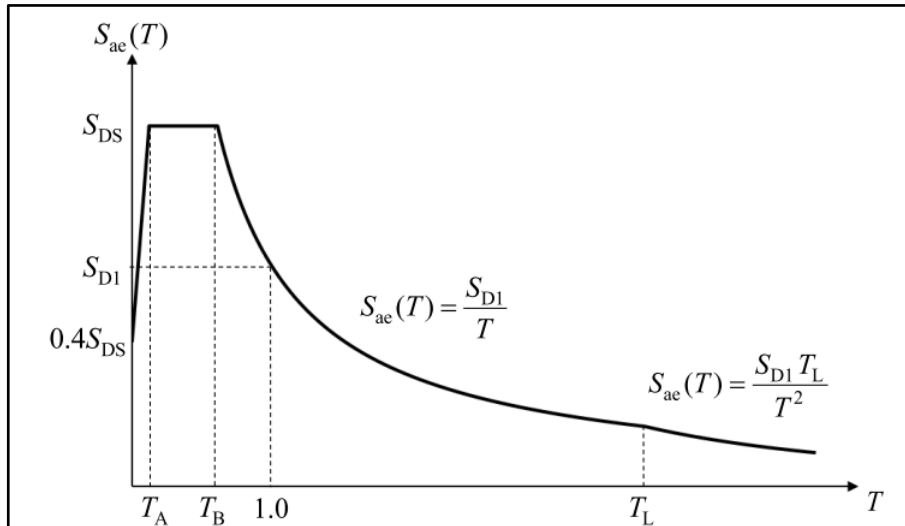
Burada γ_F faya yakınlık katsayısını, F_S ve F_1 yerel zemin etki katsayılarını göstermektedir.

Sadece DD1 ve DD2 deprem yer hareketi düzeylerinde S_{D1} 'e uygulanmak üzere, aktif fay düzlemlerine 25 km ve daha az mesafedeki konumlar için faya yakınlık katsayısı γ_F aşağıda tanımlanmıştır.

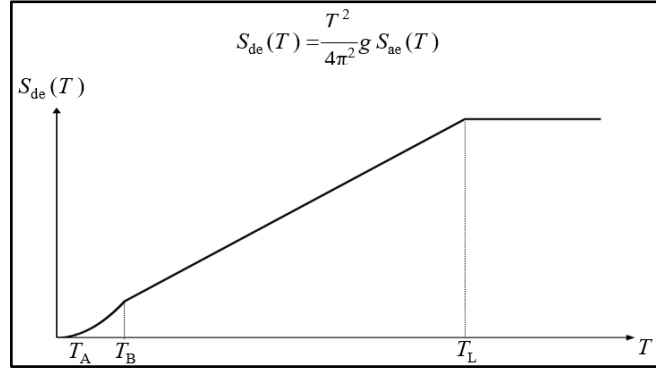
$$\gamma_F = 1.2 \quad L_F \leq 15 \text{ km} \quad (3.3)$$

$$\gamma_F = 1.2 - 0.02(L_F - 15) \quad 15 \text{ km} < L_F \leq 25 \text{ km} \quad (3.4)$$

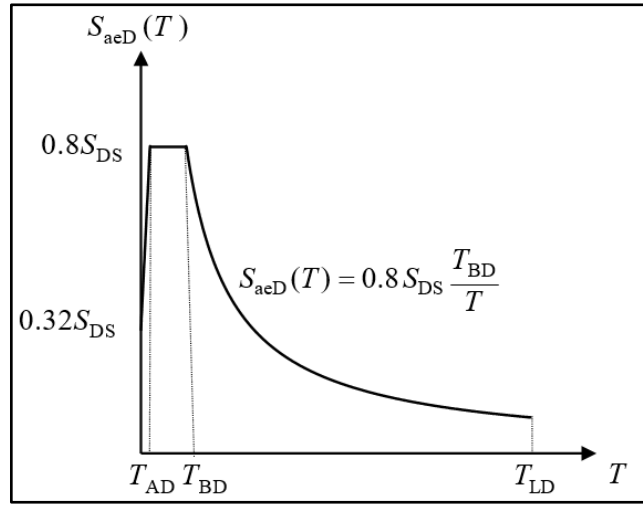
DD3 ve DD4 deprem yer hareketi düzeyleri için $\gamma_F = 1.0$ alınacaktır. L_F fay düzlemine olan mesafeyi [km] göstermektedir ve ilgili her konum için www.deprem.gov.tr/ adlı internet sitesinde verilmiştir. Yerel zemin sınıfları ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, ZF olarak sınıflandırılmıştır. Elastik tasarım spektrumları Şekil 3.1 , Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de verilmiştir [TBDY, 2016].



Şekil 3.1: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu.



Şekil 3.2: Yatay elastik tasarım yer değiştirme spektrumu.



Şekil 3.3: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu.

3.6. Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumu

Yönetmelikte tariflenen tasarım spektrumu yukarıda özetlenmiştir. Yapının yapılacağı sahaya özgü analizler yapılarak o alana özel spektrumlar hazırlanabilir. Hazırlanan spektrum, yukarıda tanımlanan spektrumun ordinat değerlerinin %90'ından daha az olmamalıdır. ZF zemin sınıfındaki bölgelerde sahaya özgü spektrumların hazırlanması zorunludur.

3.7. Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketi

Zaman tanım alanında analizlerin yapılabilmesi için uygun deprem kayıtlarının seçilmesi gerekmektedir. Bu kayıtlar seçilirken yapının yapılacağı bölgenin

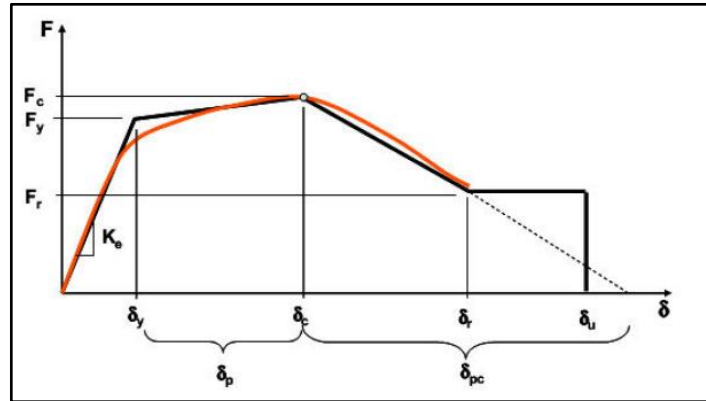
depremsellik özellikleri iyi belirlenmelidir. Faya yakınlık, fay mekanizması, zemin özellikleri gibi parametrelere uygun kayıtlar seçilmelidir. Seçilen bu kayıtlar tasarımda ve/veya değerlendirmede kullanılacak spektrumlara ölçeklendirilmelidir.

Seçilmiş olan kayıtların bileşke spektrumlarının ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumundaki aynı periyod aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile yapılacaktır.

3.8. Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

3.8.1. Davranışın Eğri Şeklinde Tanımlanması

Davranışın eğri şeklinde tanımlanması, kuvvet ve şekilde değiştirmenin birlikte bir grafikte gösterildiği ve davranışın çevrimsel etkilerinin sınırlarını gösterir. TBI-2010'da bu eğri için ATC-72 'deki (Şekil 3.4) davranış eğrisini tavsiye etmektedir.



Şekil 3.4: Davranışın eğri şeklinde tanımlanması.

Şekilde;

- F_c : Pekleşme kuvvet değeri
- F_y : Efektif akma kuvveti
- F_r : Artık kuvvet
- K_e : Efektif elastik rijitlik

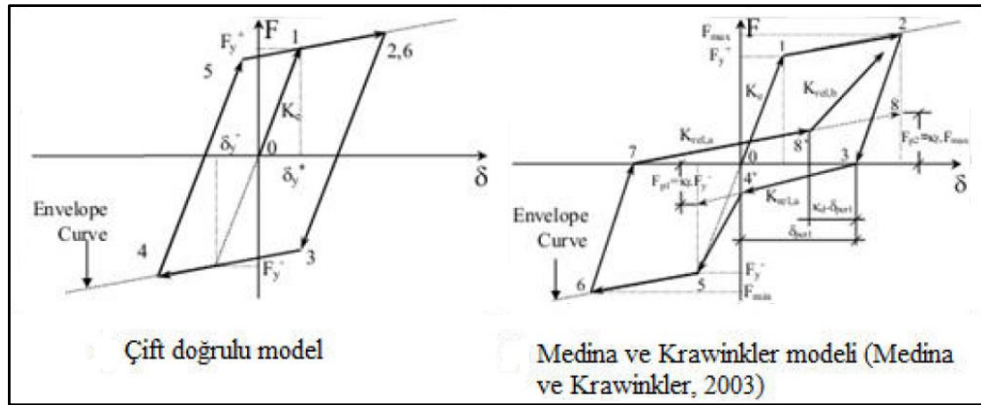
- δ_p : Plastik deformasyon
- δ_{pc} : Pekleşme sonrası deformasyon
- δ_c : Pekleşme deformasyon değeri
- δ_r : Artık kuvvet için deformasyon değeri
- δ_u : Maksimum deformasyon değeri

Şekilde bulunan değerler, eğilme etkisindeki bir plastik mafsal için $F=M$ (moment), $\delta=\theta$ (dönme)'yi ifade eder.

3.8.2. Çevrim Modelleri

Bilindiği üzere deprem etkileri tersinir olarak yapılara ve yapı elemanlarına etmektedir. Malzeme ve eleman modellerinde bu sebeplerden dolayı çevrimsel bir tanımlamaya ihtiyaç duyulmuştur. Deneysel ve teorik bazı araştırmalar sonucu çevrimsel modeller ortaya çıkmıştır.

Genel olarak çift doğru şeklinde (bilineer) tanımlanan modeller yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Şekil 3.5.).

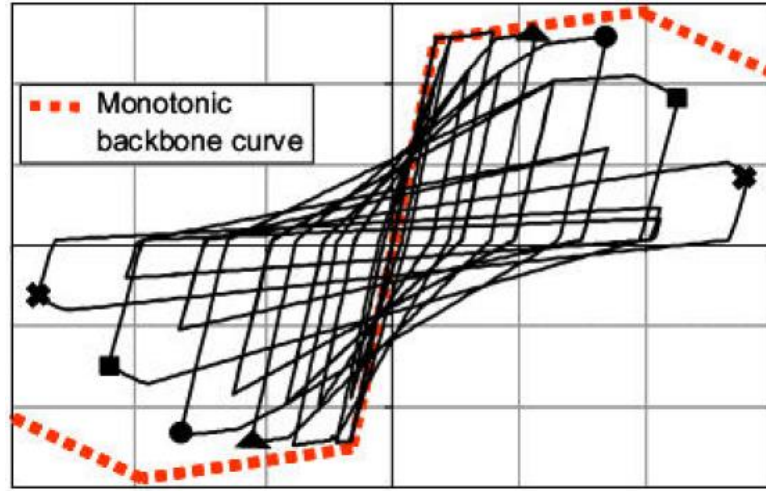


Şekil 3.5: Çevrimsel modeller.

İki doğrusal model seçeneklerinin yanı sıra, pekleşme sonrası rijitliğin değişmesini dikkate alan modeller de bulunmaktadır. Bilinen üç doğrusal modellerden biri Takeda ve diğerleri tarafından hazırlanan modeldir. Bu model betonarme elemanlar için daha uygundur.

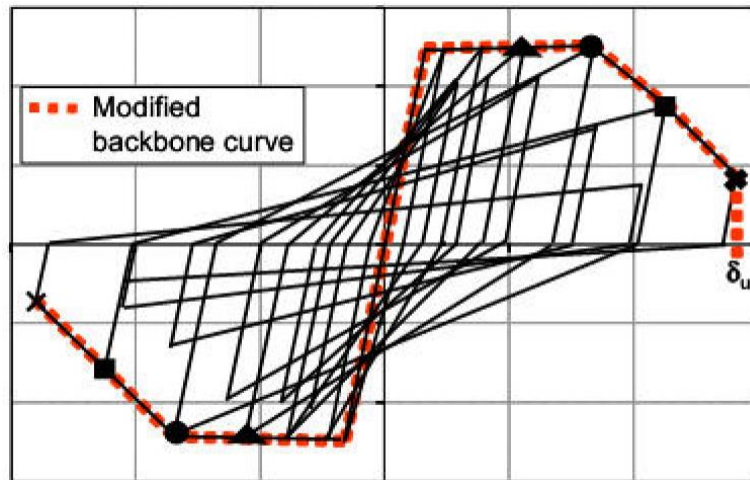
3.8.3. Analitik Modeller

Yapısal elemanların doğrusal olamayan çevrimsel davranışları TBI-2010 ve ATC-72 dört farklı şekilde analitik model önerisi sunmuştur. İlk modelde, davranış eğrisi baz alındığında, rijitliğin azalması çevrim modelinde kullanılmıştır. Çevrimler, davranış eğrisinden rijitliğin azalması ile başlangıç noktasına doğru ilerlemektedir.



Şekil 3.6: Birinci Model.

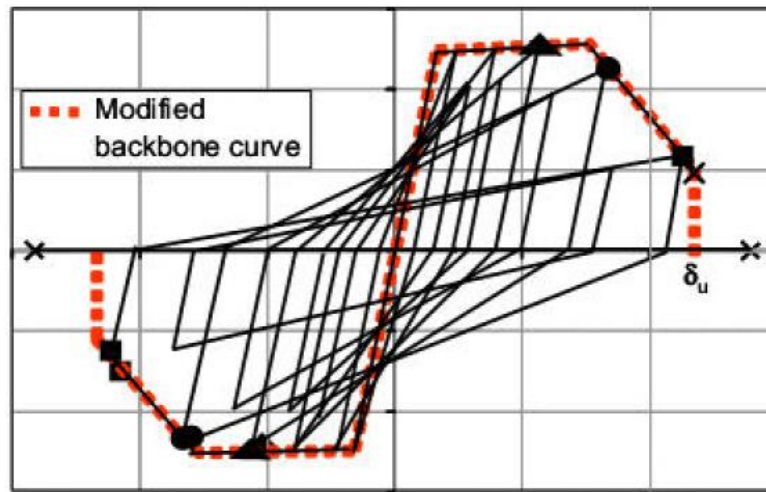
Modelin ikincisinde eğer ana eğriyi biliyorsak, bu eğriyi düzeltilen davranış eğrisi olacak şekilde kullanabiliriz ve çevrimden kaynaklı rijitliğin azalımı ihmal edilebilir.



Şekil 3.7: İkinci Model.

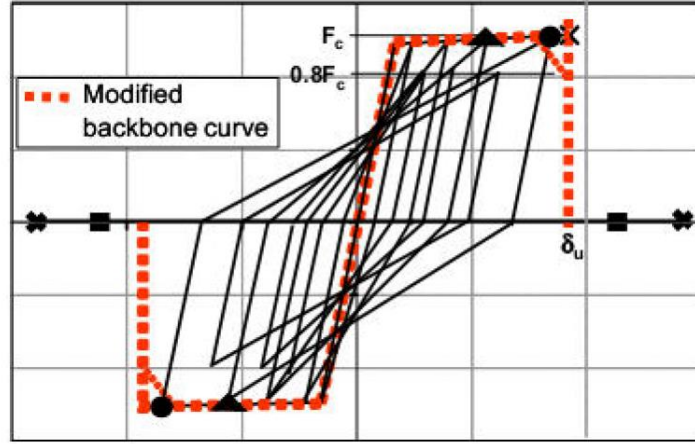
Modelin üçüncüsünde, yalnız monotonik davranış eğrisi hesaplanmışsa ve çevrimden dolayı rijitliğin azalması ihmal ediliyorsa, davranış bir takım katsayılar kullanılarak düzeltilir. Bu katsayılar malzemenin ve elemanın karakteristiğine göre değişir. ATC-72 bazı yaklaşık değerler tavsiye etmektedir. Bu değerler aşağıda bulunmaktadır.

- F_c' : Pekleşme kuvveti, ilk davranış eğrisindeki değerinin 0.9 katı alınabilir, ama F_y değerinden az alınamaz.
- δ_p' : Pekleşme öncesi plastik deformasyon, ilk davranış eğrisindeki δ_p değerinin 0.7 katı olarak alınabilir.
- δ_{pc}' : Pekleşme sonrası plastik deformasyon, ilk davranış eğrisindeki δ_{pc} değerinin 0.5 katı olarak alınabilir.
- δ_u' : Maksimum deformasyon, ilk davranış eğrisindeki δ_c değerinin 1.5 katı olarak alınabilir.
- F_r' : Artık kuvvet, ilk davranış eğrisindeki F_r değerinin 0.7 katı alınabilir.



Şekil 3.8 : Üçüncü Model.

Modellerin ikincisi ve üçüncüsü benzer gözükmemektedir ancak ikinci modelde ana eğri deney sonuçlarından, üçüncü modelde ilk davranış eğrisindeki değerlerin belli katsayılarla çarpılması ile bulunmaktadır. Dördüncü modelde, pekleşmenin akabinde azalan rijitlik, düzeltilmiş davranış eğrisinde ihmal edilir. En büyük şekil değiştirme, pekleşmedeki kuvvetin 0.8 katına denk gelen azalan çevrimsel davranıştaki şekil değiştirmeye göre sınırlandırılır.



Şekil 3.9 : Dördüncü Model.

Yukarıda 4 adet seçenek özetlenmiştir. Birinci seçenek davranış olarak gerçeğe en yakındır. İkinci ve üçüncü seçeneklerde birinci davranış eğrisi, çevrim etkisinden dolayı rijitliğin azalmasını dikkate alacak şekilde düzeltilmektedir. Son seçenekte ise çevrimsel hareketteki rijitliğin azalması dikkate alınmamıştır.

3.8.4. Betonarme Kolon ve Kirişlerin Modellenmesi

Deprem yükleri altında betonarme kiriş ve kolonlar ile bunların birleşimleri doğrusal olmayan modelleme teknikleri ile modellenebilir.

3.8.4.1. Çatlamış Kesit Rijitliği

Betonarme elemanlar eğilme kuvveti altında, doğrusal olmayan davranışa geçtiklerinde kesitlerinde çatlamlar meydana gelir. Çatlayan kesitler de rijitlik azalması gerçekleşir.

Tablo 3.5’de eğilme etkisinde betonarme elemanlar için çatlamış kesit rijitlikleri verilmiştir [TBDY, 2016].

ATC-72, çatlamış kesit rijitlik değerlerinin denklem 3.5’e (Haselton ve diğ. 2008) göre hesaplanmasını önermektedir .

$$K_y: \frac{EI_y}{EI_g} = -0.07 + 0.59 \left[\frac{P}{A_g f'_c} \right] + 0.07 \left[\frac{L_s}{H} \right] \text{ ve } 0.2 \leq \frac{EI_y}{EI_g} \leq 0.6 \quad (3.5)$$

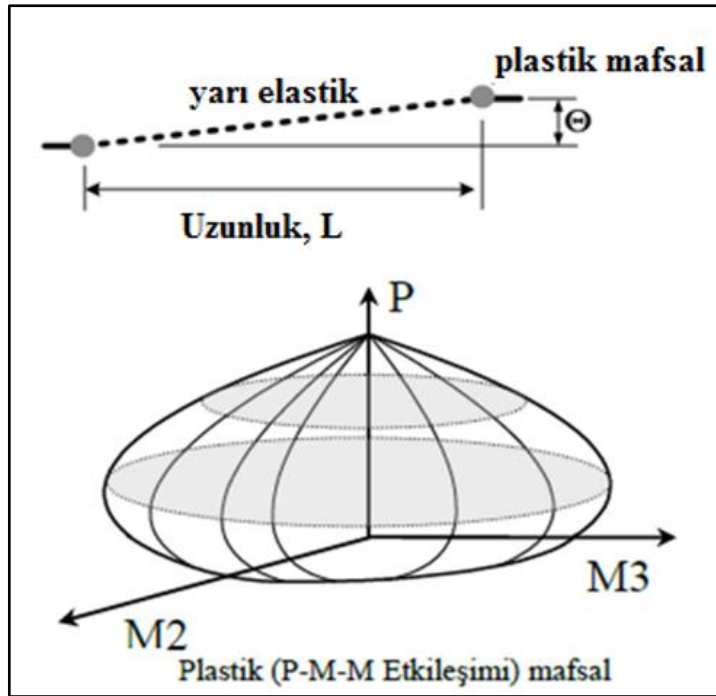
Denklemdede;

- EI_g : Eğilme rijitliği
- P : Eksenel kuvvet (basınç)
- A_g : Kesit alanı
- f'_c : Beton karakteristik basınç dayanımı
- L_s : Maksimum moment noktasından, eleman ucuna olana mesafe (Genellikle eleman boyunun yarısı)
- H : Kesit yüksekliğidir.

3.8.4.2. Plastik Mafsal

Betonarme yapı elemanlarının eğilme kuvveti altında, Şekil 3.10'da gösterildiği gibi uç kısımlarındaki plastik mafsal ile doğrusal olamayan davranışlarını tarifleyebiliriz (ATC-72). Kolon veya kiriş elemanlarında bu uygulanabilir.

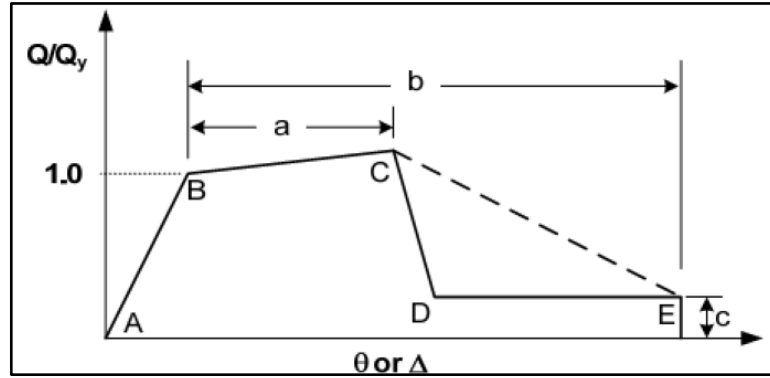
Tanımlanan plastik mafsalarda kesitin davranış eğrisi dikkate alınmalıdır. Tez çalışmasında plastik mafsal boyu kesit yüksekliğinin yarısı olarak alınmıştır.



Şekil 3.10: Plastik mafsal.

3.8.4.3. Davranış Eğrileri ve Moment Değerleri

Eleman uçlarında oluşacak plastik mafsalların modellenmesine kullanılacak davranış eğrisi için ASCE 41-06 veya ATC 72'den faydalanılabilir. Fakat bu iki yönetmeliğin önerdiği davranış eğrileri arasında farklar vardır. ATC 72, deneysel verilerin ASCE 41-06'nın davranış eğrisinde C noktasından D noktasına ani düşüşün gerçekçi olmadığını belirtmektedir (ATC72, 2010, Bölüm 3.4.2.7). Ayrıca bu ani düşüş doğrusal olmayan analizlerde çözüm için sorun yaratmaktadır. Bu sebeple Şekil 3.11'de kesik çizgili ile gösterilen eğri yüksek yapılar için daha uygundur.



Şekil 3.11: Davranış eğrisi.

Şekilde;

- Q : Kesitte oluşan kuvvet
- Q_y : Akma kuvveti
- θ : Kesitte oluşan dönme

3.8.5. Betonarme Perdelerin Modellenmesi

Betonarme perdelerde doğrusal modelleme yapılırken iki farklı modelleme tekniği kullanılabilir. Bunlardan birincisi; orta-dikme çubuk modeli diğeri ise sonlu elemanlar kabuk modelidir.

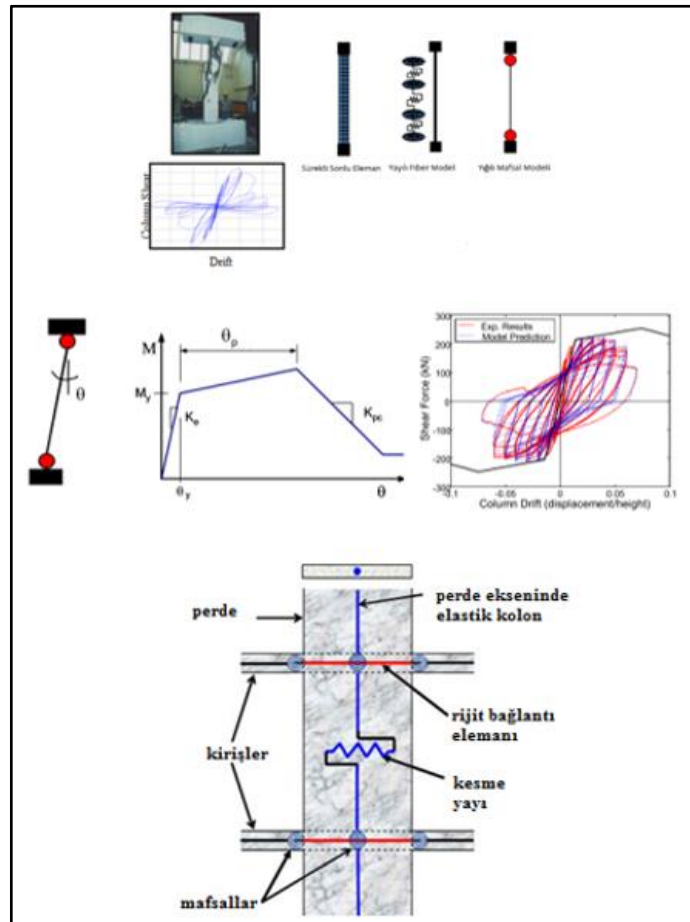
Betonarme perdelerde doğrusal olmayan modelleme yapılırken dört farklı modelleme tekniği kullanılabilir. Bunlardan birincisi; plastik mafsallı (P-M-M

etkileşimli) orta-dikme çubuk modeli ikincisi; çok katmanlı kabuk elemanı, üçüncüsü; sürekli sonlu eleman kabuk elemanı modeli, dördüncüsü; fiber eleman modelidir. Bu modelleme tekniklerinde en çok kullanılanı orta dikme çubuk modeli ve fiber modelidir.

3.8.5.1. Orta Dikme Çubuk Modeli

Orta dikme çubuk modeli (Şekil 3.12) [ATC-72-1, 2010] eşdeğer kolon kiriş modeli olarak da bilinmektedir. Bu modelde perde ekseninde bir kolon tanımlanır ve kolon üst noktasında rijit bir kiriş tanımlanır. Tanımlanan kolonun plastik davranış göstermesi beklenen bölgelerine (iki uç nokta) plastik mafsalları tanımlanır. Arada kalan kolon parçası elastik olarak modellenir.

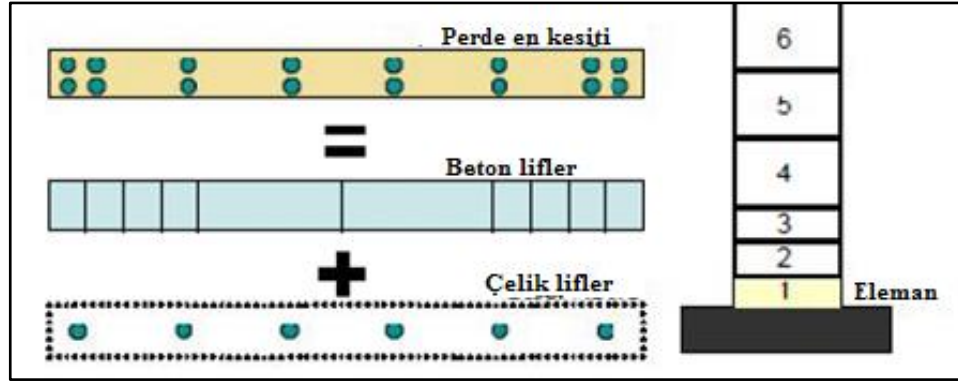
Poligon geometrisine sahip perdelerde bu model ile perdeyi doğrusal olmayan şekilde tanımlamak zordur.



Şekil 3.12: Orta dikme çubuk modeli.

3.8.5.2 Fiber Eleman Modeli

Fiber eleman modeli, Şekil 3.13’de [ATC-72-1, 2010] gösterildiği gibi perdeyi beton ve çelik liflere oluşturulur. Analiz programlarının gelişmesinde sonra perdelerin fiber model ile modellenmesi yaygınlaşmıştır. Orta dikme çubuk modeli yöntemindeki eksiklikler fiber modelde yoktur. Orta dikme çubuk modelde çatlamış kesit için rijitliğin değiştirilmesi gerekirken, lifli modelde eğilme rijitliği malzeme karakteristiğine göre ve eksenel yüke göre değişir.



Şekil 3.13: Fiber (lif) model.

3.8.6. Çelik Kiriş Elemanların Modellenmesi

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerde kiriş elemanları deprem ve düşey yük etkileri altında öncelikli olarak eğilme momentine ve kesme kuvvetine maruz kalmaktadır. Bu etkiler kiriş elemanında yanal veya lokal burkulmalar oluşturmakta ve burkulmaya maruz kalan kirişlerde dayanım kayıpları yaşatmaktadır. Tasarım ilkesinde esas olan kirişlerin burkulma olmadan tam taşıma kapasitesine ulaştırmaktır.

Tersinir yükler altında süneklik düzeyi yüksek çelik kirişlerin alt ve üst başlıkları Denklem (3.6) ile verilen koşulları sağlayacak şekilde yanal burkulmaya karşı desteklenecektir. Ayrıca kiriş elemanları başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranları Taslak TBDY - Tablo 9.3’te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmayacak şekilde seçilmelidir.

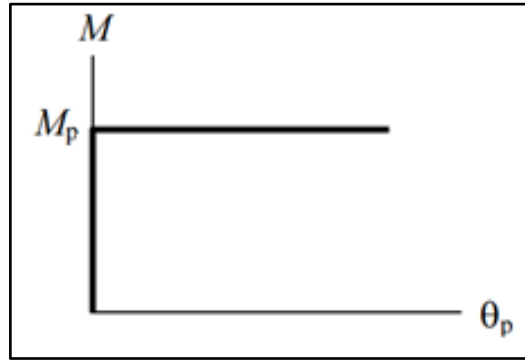
$$L_b = 0.086 * i_y * \frac{E}{F_y} \quad (3.6)$$

Doğrusal olmayan analizlerde, kiriş-kolon birleşim bölgesinden plastik mafsala noktasına kadar olan bölgede rijit davranış yapacağı düşünülerek analiz yapılmaktadır. Plastik mafsala noktalarının akma sınır durumu için eğilme moment dayanımı ve akma dönmesinin hesabı Denklem (3.7) ve Denklem (3.8) ile hesaplanacaktır.

$$M_{zn} = F_{ye} * Z_{zx} \quad (3.7)$$

$$\theta_y = \frac{F_{ye} * Z_{zx} * L_h}{6 * E * I_b} \quad (3.8)$$

Çelik kirişlerin moment-dönme bağlantılarındaki pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik moment artışı) terk edilebilir (Şekil 3.14). Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kiriş elemanların çevrimsel davranışı elasto-plastik standart çevrim modeli ile ifade edilebilir.



Şekil 3.14: Kiriş elemanların moment-dönme davranış grafiği.

3.8.7. Çelik Kolon Elemanlarının Modellenmesi

Eksenel yük etkisi altındaki bir elemanda ana göçme modu burkulmadır. Kolonun basınç dayanımı hesabının başlangıç adımı; burkulma katsayısının ve narinlik oranlarının kolonun her iki yönü için aşağıda verilen Denklem (3.9) ile hesaplanmasıdır.

$$\lambda_x = \frac{K_x * L}{r_x} ; \lambda_y = \frac{K_y * L}{r_y} \quad (3.9)$$

Bulunan narinlik oranlarının maksimumu seçilir ve Denklem (3.10) ve Denklem (3.11) ile burkulma bölgesi tespit edilir.

$$\lambda \leq 4,71 * \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \rightarrow \text{Elastik Olmayan Burkulma} \quad (3.10)$$

$$\lambda > 4,71 * \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \rightarrow \text{Elastik Burkulma} \quad (3.11)$$

Elastik Olmayan Burkulma bölgesinde çıkan kolonların sırasıyla F_e , F_{cr} ve P_n değerleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanır.

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2} \quad F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_{ye}}{F_e}\right) * F_{ye} \quad P_n = F_{cr} * A_g \quad (3.12)$$

Elastik Burkulma bölgesinde çıkan kolonların sırasıyla F_e , F_{cr} ve P_n değerleri ise aşağıdaki denklemler ile hesaplanır.

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2} \quad F_{cr} = 0,877 * F_{ye} \quad P_n = F_{cr} * A_g \quad (3.13)$$

Kolonun eksenel çekme ve eğilme momenti dayanımı sırasıyla Denklem (3.14) ve Denklem (3.15) ile bulunur.

$$P_n = F_{ye} * A_g \quad (3.14)$$

$$M_n = F_{ye} * Z_x \quad (3.15)$$

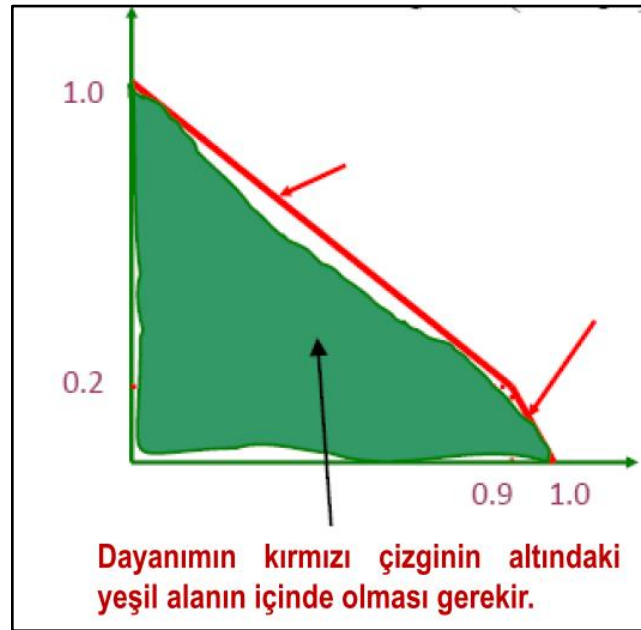
Kolon elemanları yapısal sistem içerisinde tek eksenli veya çift eksenli eğilme etkisi altındadırlar. I kesitli kolon elemanların eğilme altında bir yönlü güçlü diğer yönü ise zayıf davranışlıdır. Bu yüzden moment aktaran çerçeve sistemlerinde I kesitli kolonların zayıf yönü kiriş bağlantısı çoğunlukla mafsallı teşkil edilmekte sadece

kuvvetli eksen tarafında moment almakta ve tek yönlü eğilme davranışı göstermektedir. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerinde ise kolonun her iki yönü kirişler ile mafsallı teşkil edilmesine rağmen deprem yükleri altında kolonların güçlü yönlerinde eğilme momentleri oluşacaktır. Bu tasarım yaklaşımı iki boyutlu sistemlerin çözümünde sağlıklı sonuçların vermesi beklenir. Ayrıca iki boyutta çözülen bu sistemlerde diğer boyuttan gelecek olan deprem etkileri dikkate alınmaz. Diğer boyuttan gelecek deprem etkileri yine o boyuttaki çerçeveler tarafından karşılayacağı düşünülür.

Eksenel yük ve eğilme momenti altında kolon elemanlar için birçok deneyler yapılmış, eksenel yük-eğilme momenti etkileşim diyagramları (P-M) çıkartılmış (Şekil 3.15) [Akbaş, 2015] ve ampirik olarak aşağıdaki denklemler oluşturulmuştur.

$$\frac{P_r}{P_n} \geq 0.2 \text{ için } \frac{P_r}{P_n} + \frac{8}{9} * \left(\frac{M_{rx}}{M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{M_{ny}} \right) \leq 1.0 \quad (3.16)$$

$$\frac{P_r}{P_n} < 0.2 \text{ için } \frac{P_r}{2 * P_n} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{M_{ny}} \right) \leq 1.0 \quad (3.17)$$



Şekil 3.15: Kolonların P-M etkileşim diyagramı.

Kolonda oluşacak her iç kuvvet-moment etkileşimi bu zarf içerisinde herhangi bir yerde veya zarf çizgisinin üzerinde olması beklenir.

Etkileşim zarfı içerisinde olmayan her durum kolon elemanında doğrusal olmayan davranışı ifade etmektedir.

3.8.7.1. Kolonun Akma Dönmesinin Hesabı ve Plastik Mafsal Tanımı

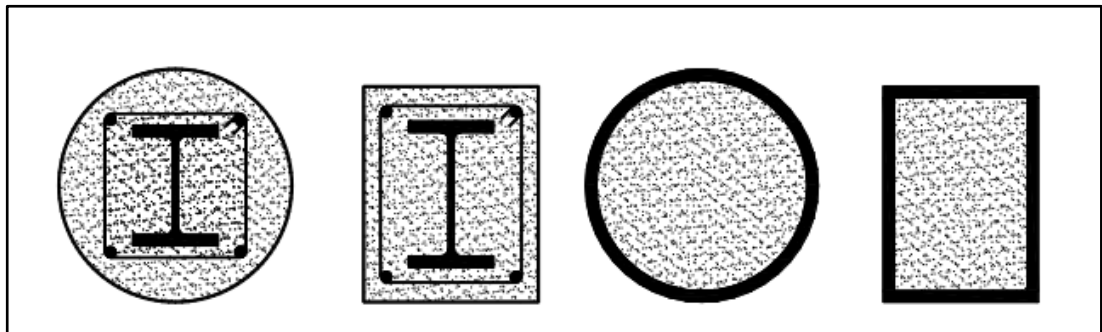
Çelik kolonlarda akma sınırı Denklem (3.18) ile hesaplanır. Denklem içerisinde yer alan “P” değeri, sistemin düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analiz sonucuna kolon elemanında oluşan eksenel kuvvet değeri alınabilir. Düşey yükler ise ölü ve hareketli yüklerin bir kombinasyonu olup (G+n.Q) ile hesaplanır. Tanımlanan düşey yük kombinasyonu, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin başlangıç koşuludur.

$$\theta_y = \frac{F_{ye} * Z_x * L_c}{6 * E * I_c} * \left[1 - \frac{P}{P_{ye}} \right] \quad (3.18)$$

Kolonların olası plastik mafsal bölgeleri kolon kiriş birleşim yüzeyinin hemen altında (kolon net açıklığının alt ve üst ucu) oluşacağı düşünülür. Plastik mafsal özellikleri ise yukarıda hesaplanan değerlerden oluşacaktır.

3.8.8. Kompozit Kolon Elemanlarının Modellenmesi

Genel olarak kompozit kolon tipleri, 3.16(a) ve 3.16(b) de gösterilen çelik gömme kompozit elemanlar, Şekil 3.17(c) ve 3.18(d) de gösterilen beton dolgulu kompozit elemanlar şeklindedir.



Şekil 3.16: Tipik kompozit elemanlar.

Bu bölümde, tez için hazırlanan taşıyıcı sistem modeli içerisinde de bulunan çelik gömme kompozit elemanların modellenmesi tanımlanmıştır. Yapılan tanımlamalarda, 2016 yılında yayımlanan “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları” yönetmeliğinden yararlanılmıştır.

Kompozit kesitlerin karakteristik dayanımları; plastik gerilme dağılımı yöntemi, şekil değiştirme uygunluk yöntemi, elastik gerilme dağılımı yöntemi veya etkin gerilme – şekil değiştirme yöntemi ne uygun olarak belirlenir.

Kompozit elemanların karakteristik dayanımının belirlenmesinde betonun çekme dayanımı hesaba katılmaz. Çelik gömme kompozit elemanlarda yerel burkulma söz konusu değildir.

Plastik gerilme dağılımı yöntemi, eksenel kuvvet, eğilme momenti veya eksenel kuvvet ve eğilme momentinin bileşik etkileri altındaki kompozit en kesitlerin karakteristik dayanımının belirlenmesi için uygulanan bu yöntemde, dikdörtgen gerilme yayılımı esas alınarak, basınç veya çekme etkisindeki çelik elemanlarda gerilmelerin F_y karakteristik akma dayanımına, basınç etkisindeki beton gerilmelerinin ise karakteristik basınç dayanımının 0.85 katına ($0.85f_{ck}$) ulaştığı varsayılır. Beton dolgulu kompozit elemanlarda, betondaki sargılama etkisi göz önünde tutularak, en büyük beton basınç gerilmesi için $0.95f_{ck}$ değerinin kullanılmasına izin verilebilir.

Şekil değiştirme uygunluk yönteminde betondaki maksimum birim kısalma 0.003mm/mm olacak şekilde, enkesit yüksekliği boyunca doğrusal şekil değiştirme yayılımı varsayılır. Çelik ve betonun gerilme – şekil değiştirme bağıntıları deneylerden veya ilgili kaynaklardan alınabilir.

Elastik gerilme dağılımı yöntemi ile kompozit enkesitin karakteristik dayanımı, çeliğin akma veya betonun ezilme sınır durumuna ulaşmasına karşı gelen elastik gerilmelerin süperpozisyonu ile belirlenir.

Etkin gerilme – şekil değiştirme yöntemi ile kompozit bir enkesitin karakteristik dayanımı, şekil değiştirme uyumu ve enkesitin çelik ve beton bileşenlerinin yerel burkulma, akma ve betonun sargılanması etkilerini de içerecek şekilde belirlenen etkin gerilme – şekil değiştirme bağıntıları esas alınarak hesaplanır.

3.8.8.1 Basınç ve Çekme Dayanımı

Çelik kompozit gömme elemanların karakteristik basınç dayanımları, eğilmeli burkulma sınır durumuna göre hesaplanacaktır.

$$\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25 \quad \text{için} \quad P_n = P_{no} \left[0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right] \quad (3.19)$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} > 2.25 \quad \text{için} \quad P_n = 0.877 P_e \quad (3.20)$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0.85 f_{ck} A_c \quad (3.21)$$

- P_e : Elastik burkulma yükü. $= \pi^2 (EI)_{ef} / (L_c)^2$
- A_c : Beton enkesit alanı
- A_s : Yapısal çelik çekirdek enkesit alanı.
- E_c : Beton Elastisite modülü.

Eksenel çekme kuvveti etkisindeki, çelik gömme kompozit elemanların karakteristik çekme kuvveti dayanımı, P_n , akma sınır durumu esas alınarak denklem 3.20 ile hesaplanacaktır.

$$P_n = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} \quad (3.22)$$

3.8.8.2 Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Etkisi

Karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , akma sınır durumunda aşağıdaki yöntemlerden biriyle hesaplanacaktır.

- Sadece çelik enkesitte plastik gerilme yayılımı göz önüne alınarak, çelik enkesitin plastik eğilme momenti ile.

- Akma sınır durumunda, kompozit enkesitte plastik gerilme yayılımı veya şekil değiştirme uygunluk yöntemi esas alınarak kompozit enkesitin plastik eğilme momenti ile.
- Yapım aşamasında geçici desteklerin etkisi aşağıda belirtildiği gibi göz önüne alınarak, elastik gerilme dağılımı yöntemiyle, kompozit enkesitin (çelik elemanın en dış lifinde akma gerilmesine ulaşıldığı) akma momenti, M_y , ile.

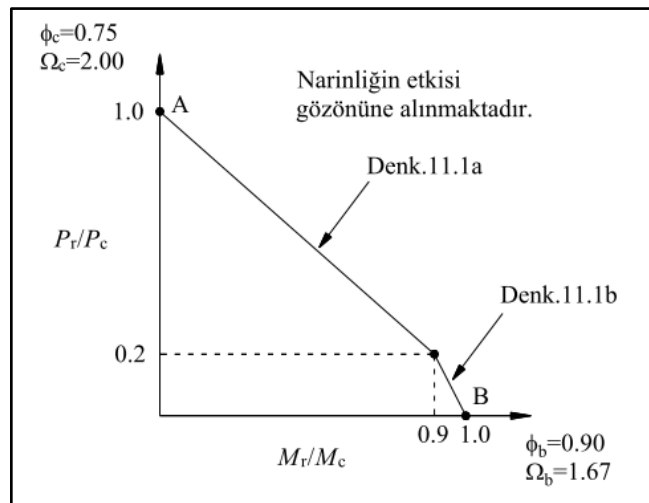
Eğilme momenti dayanımının hesabı için elastisite modülleri oranı, $n=E_s/E_c$, ile hesaplanan dönüştürülmüş enkesit özellikleri kullanılacaktır.

Kompozit elemanlarda kesme kuvveti dayanımı, sadece çelik kesitin kesme kuvveti dayanımına göre veya betonarme kısmın kesme kuvveti dayanımına göre hesaplamalıdır.

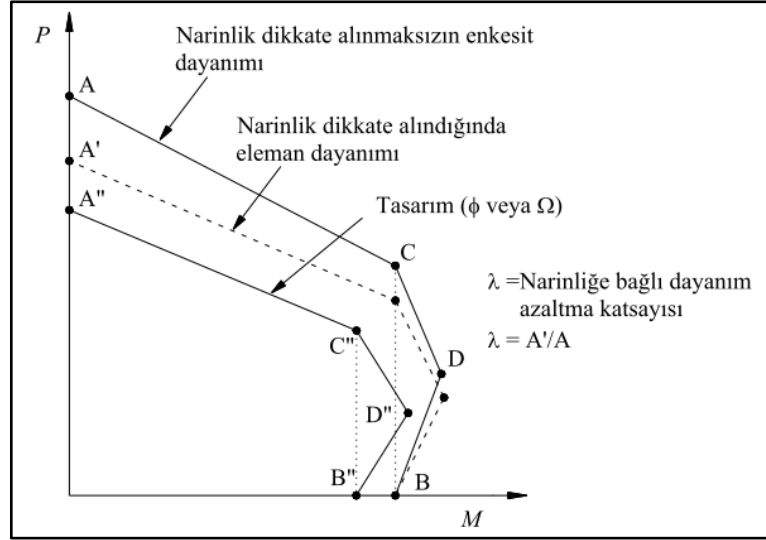
3.8.8.3 Eksenel Kuvvet ve Eğilme Momentinin Bileşik Etkisi

Eksenel kuvvet ve eğilme momentinin bileşik etkisindeki kompozit elemanların tasarımı için plastik gerilme dağılımı yöntemine dayanan iki farklı yaklaşım aşağıda açıklanmaktadır.

Eksenel kuvvet ve eğilme momentinin bileşik etkisindeki çift simetri eksenli kompozit elemanların tasarımında, Şekil 3.17’de gösterilen genel etkileşim diyagramı ve Şekil 3.18’de [ÇSB, 2016] gösterilen geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramları kullanılacaktır.



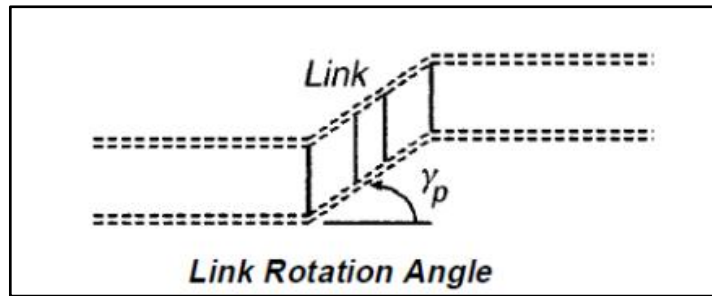
Şekil 3.17: Kompozit elemanlar için genel etkileşim diyagramı.



Şekil 3.18: Kompozit elemanlar için genişletilmiş karşılıklı etki diyagramı.

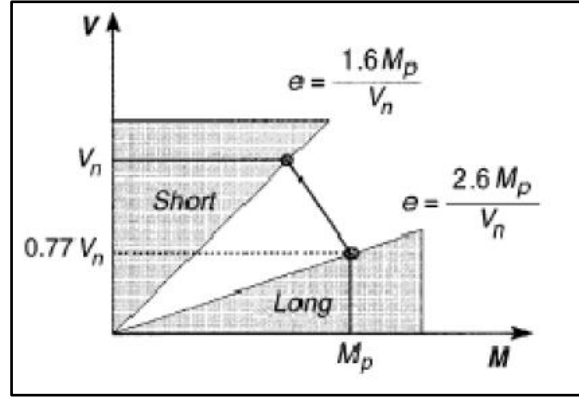
3.8.9. Bağ Kirişlerinin Modellenmesi

Bağ kirişleri perdeleri aynı düzlem içerisinde bağlayan kirişler olarak ifade edebilir. Bağ kirişlerinin davranışını etkileyen ana aktör kesme kuvvetidir. Perdeler arasındaki bağ kirişinin davranışı dış merkezi çelik çaprazlardaki bağ kirişinin davranışı ile aynıdır.

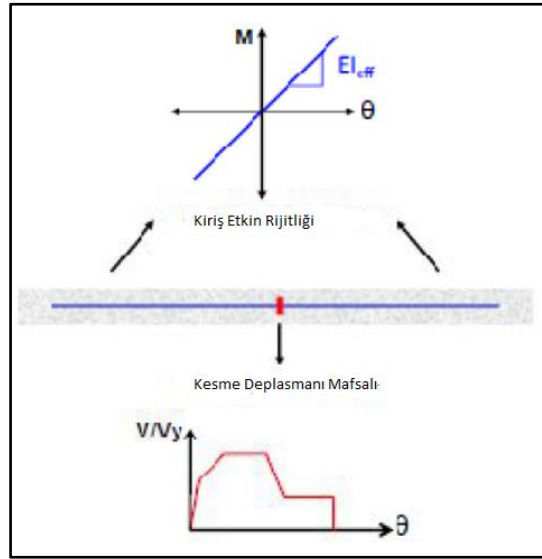


Şekil 3.19: Bağ kirişi tipik deformasyon şekli.

Bağ kirişinin doğrusal olmayan davranış modeli kiriş açıklığının ortasına yerleştirilen kesme mafsalı ile modellenebilir. Kesme mafsalının kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'den görülebilir. Bu çalışmada kullanılacak kesme mafsalı kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi FEMA274'de belirtilen tavsiyelere göre oluşturulmuştur. FEMA274 bağ kirişleri, kesme ve moment kapasitelerine bağlı olarak kısa ve uzun olarak iki sınıfa ayırmaktadır. Bağ kirişi sınıfı, kirişin enerji sönümleme mekanizmasını değiştirmektedir [FEMA 274, 1997].

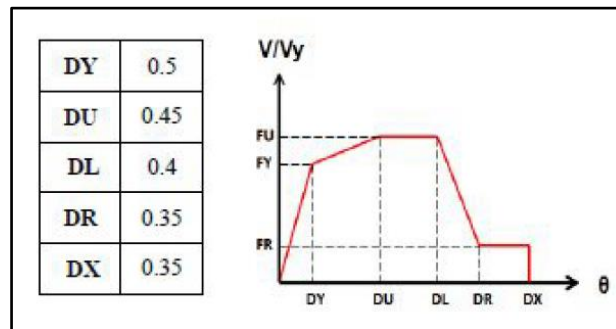


Şekil 3.20: Kesme kuvveti-moment etkileşim diyagramı.



Şekil 3.21: Bağ kirişi kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi.

Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’de gösterilen çevrimsel enerji azalım ilişkisini belirleyen parametreler tanımlanmıştır [Tuna, 2012]. Performans kabul kriterleri FEMA274’e göre belirlenmiştir.



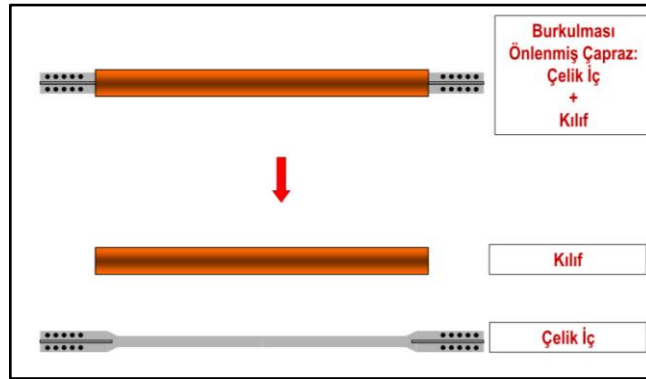
Şekil 3.22: Enerji azalım ilişkisi parametreleri.

3.8.10. Burkulması Önlenmiş Çaprazların (BÖÇ) Modellenmesi

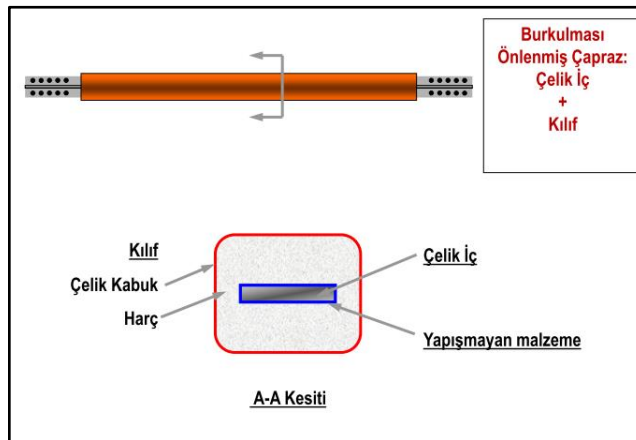
Burkulması önlenmiş çaprazlar, çevrimsel enerji yatay yüklere karşı koyan, enerji sönümleme kapasiteleri yüksek yapısal elemanlardır. İnşaat endüstrisinde çeşitli özelliklerde BÖÇ'ler mevcuttur. Tipik bir BÖÇ, akma yapacak çelik çekirdeğe ve çekirdeğin etrafını saran beton dolu çelik dış gövdeden oluşmaktadır.

BÖÇ'ün avantajı yüksek süneklik, basınç ve çekme altında simetriğe yaklaşık çevrimsel davranış olarak sayılabilir. BÖÇ'e etki eden eksenel yükler burkulmaya - karşı tutulu çelik çekirdek tarafından karşılanır. Bu mekanizma çekirdek çeliğin akmasına sebep olur ve dinamik yük durumunda yüksek miktarda enerji sönümler.

BÖÇ'ler açıklık kısmında çelik çekirdeği olan çubuk elemanlar olarak modellenebilir. Doğrusal olmayan kuvvet-şekil değiştirme ilişkileri Rutherford ve Chekene (2011) tarafından tavsiye edildiği şekilde tanımlanmıştır.



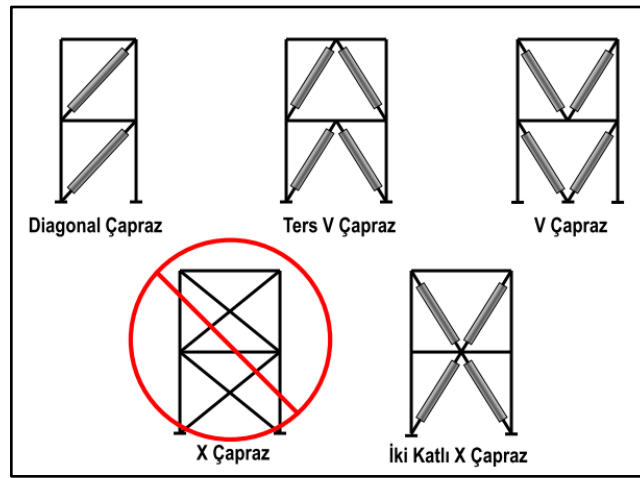
Şekil 3.23: BÖÇ'ü oluşturan elemanlar.



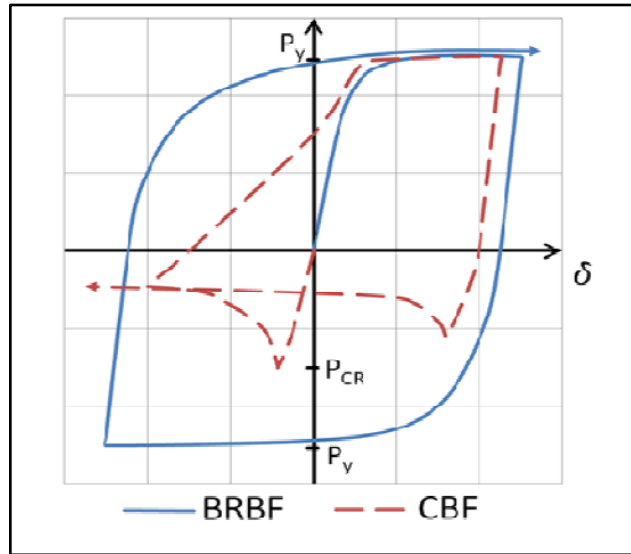
Şekil 3.24: BÖÇ'ü oluşturan elemanların kesiti.

Çelik iç, tüm eksenel kuvveti taşır. Kılıf, çelik iç'e yapıştırılmaz. Kılıfın eğilme rijitliği çelik için burkulmasını önler. Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'de BÖÇ'ü oluşturan elemanlar ve BÖÇ elemanlar ile tasarlanan çapraz düzenlemeleri gösterilmiştir (Akbaş B., (2015)).

BRB elemanları ile merkezi çaprazlı çerçeveler (BRBF) oluşturulabilir. Yüksek binalarda dış destek (outrigger) olarak kullanılabilir. Ayrıca enerji sönümleyici olarak da yapı sistemlerinde kullanılabilir. Tipik bir BÖÇ eleman ile geleneksel bir çapraz elemanın çevrimsel davranış kıyası Şekil 3.26'da gösterilmiştir (Seismic Design of Steel Buckling-Restrained Braced Frames, NEHRP).



Şekil 3.25: BRBF'lerde çapraz düzenlemeleri.



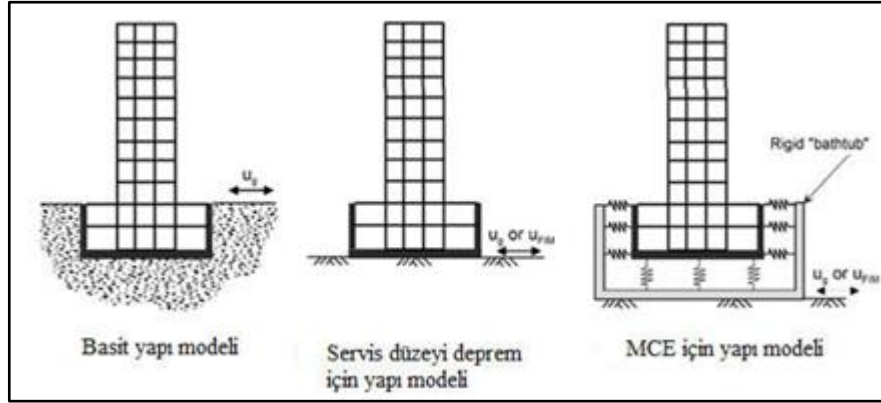
Şekil 3.26: BRBF ve geleneksel çapraz (CBF) elemanların davranış kıyası.

3.9. Yapı - Zemin Etkileşimi

PEER Report 2010/05 ve birçok kaynakta yapı analizleri yapılırken, yapı ile zeminin etkileşiminin dikkate alınması önerilmektedir. Analiz modelleri oluşturulurken deprem seviyelerine göre nasıl modelleme yapılacağı Şekil 3.27’de özetlemiştir [PEER, 2010].

Şekilde;

- u_g : Serbest yüzeydeki sismik hareket
- u_{FIM} : Yapı temeline etki eden sismik hareket



Şekil 3.27: Yapı zemin etkileşim modelleri.

Tez kapsamında yapılan analizlerde yapı ile zeminin etkileşimi dikkate alınmamıştır.

4. SAYISAL UYGULAMA

4.1. Yapısal Model, Malzeme Özellikleri ve Yük Kabulleri

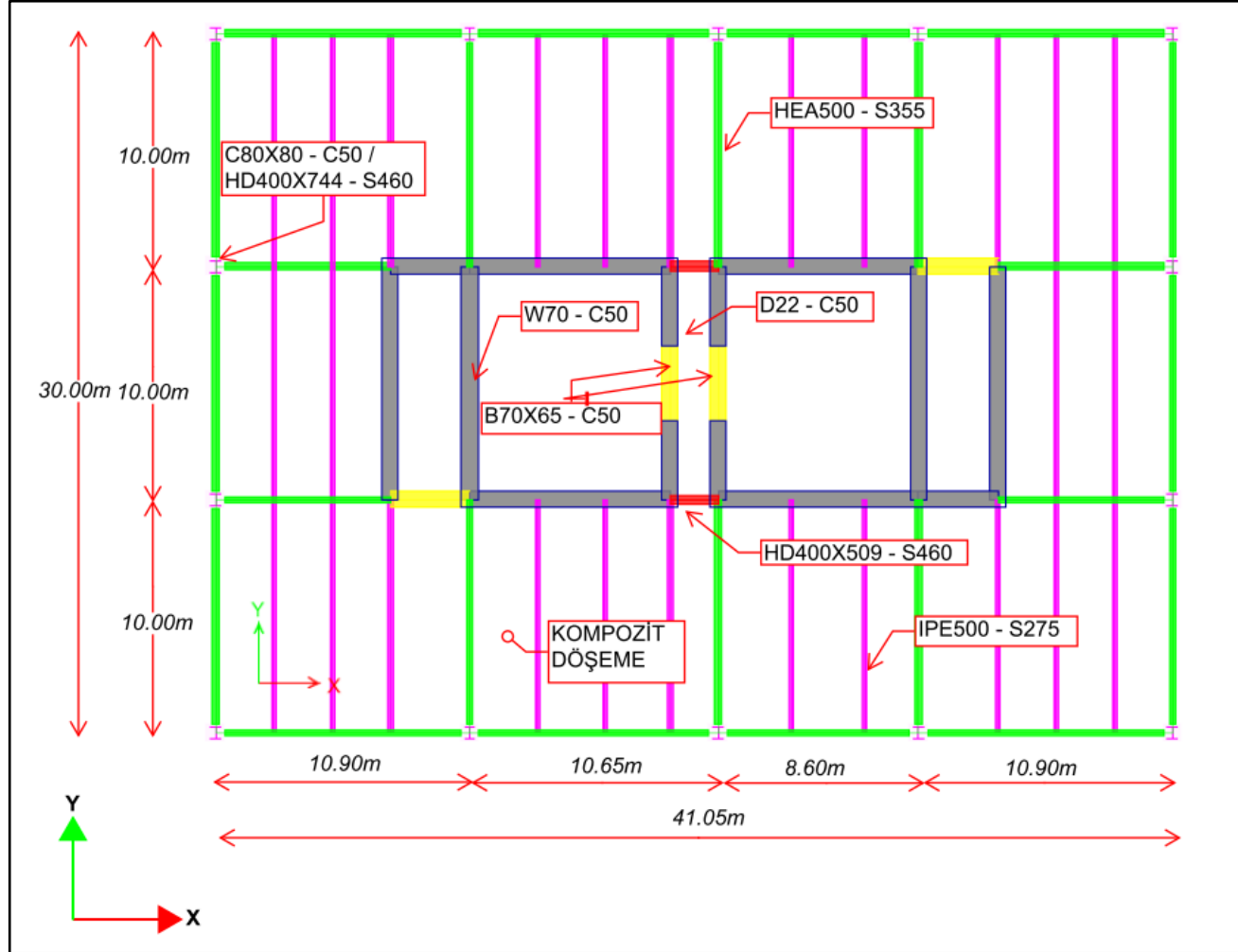
Kullanım amacı ofis olarak tasarlanan bina 50 katlıdır. Binanın ilk 3 katında y yönünde bodrum perdeleri bulunmaktadır. X yönünde ise bodrum perdeleri bulunmamaktadır. Giriş katı olarak tanımlayabileceğimiz (temel üstünden itibaren 6. kat) katın yüksekliği 8m diğer tüm katlar 4m'dir. Temel üstünden itibaren toplam yapı yüksekliği 204m'dir. Yapının baza (podyum) kısmı 5 kat olup diğer katlar kule bölümünden oluşmaktadır.

Bu yüksek binanın orta kısmında betonarme çekirdek perdeler bulunmaktadır. Bu perdeler betonarme ve çelik bağ kirişleri ile birbirine bağlanmaktadır. Çekirdek perdeler dışında düşey/yatay taşıyıcı olarak çelik gömme kompozit kolonlar bulunmaktadır. Ana kirişler moment aktaran çelik kirişlerden oluşmaktadır. Tali kirişler mafsallı çelik kirişlerdir. Döşeme sistemi, beton, hasır donatı, trapez sac ve çelik ankrajlar (stud çivileri) ile teşkil edilmiş kompozit döşemedir.

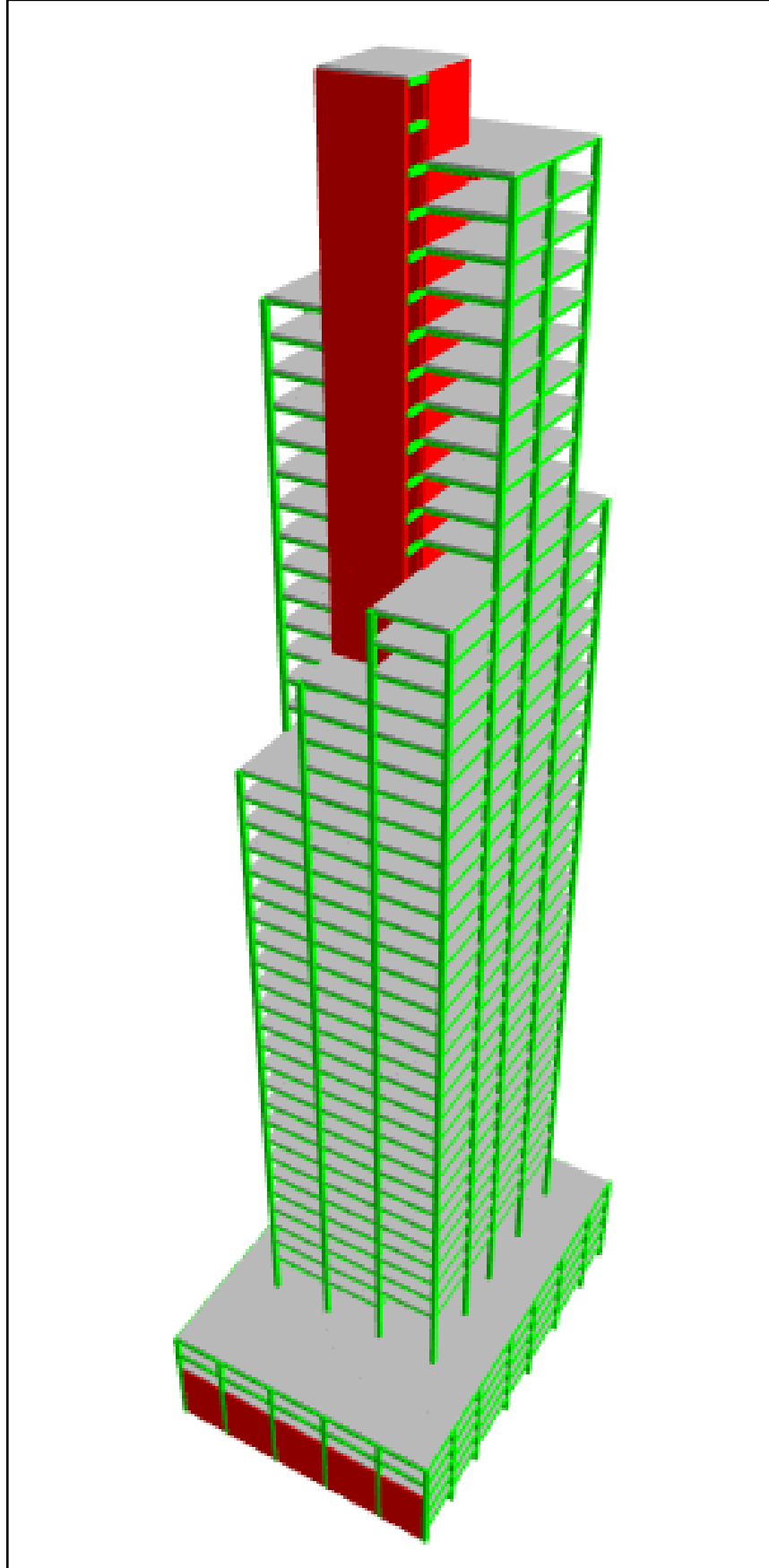
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile yapısal elemanların ve yapı sisteminin sismik davranışı incelenecektir. Bu analiz öncesi ön tasarım yapmak amacı ile Etabs 2016 programı kullanılmıştır. Daha sonra yapının doğrusal ötesi davranışı Perform-3D programı ile incelenmiştir. Perform 3D programına veri aktarmak amacı ile Etabs 2016 programında hazırlanan model Sap2000 (v19) 'e aktarılmıştır. Sap2000 programında gerekli düzenlemeler yapılarak model Perform3D programına aktarılmıştır.

Bu bölümde ön tasarım hakkında kısa bilgiler verilecek olup doğrusal olmayan davranış hakkında ayrıntılı bilgiler verilecektir.

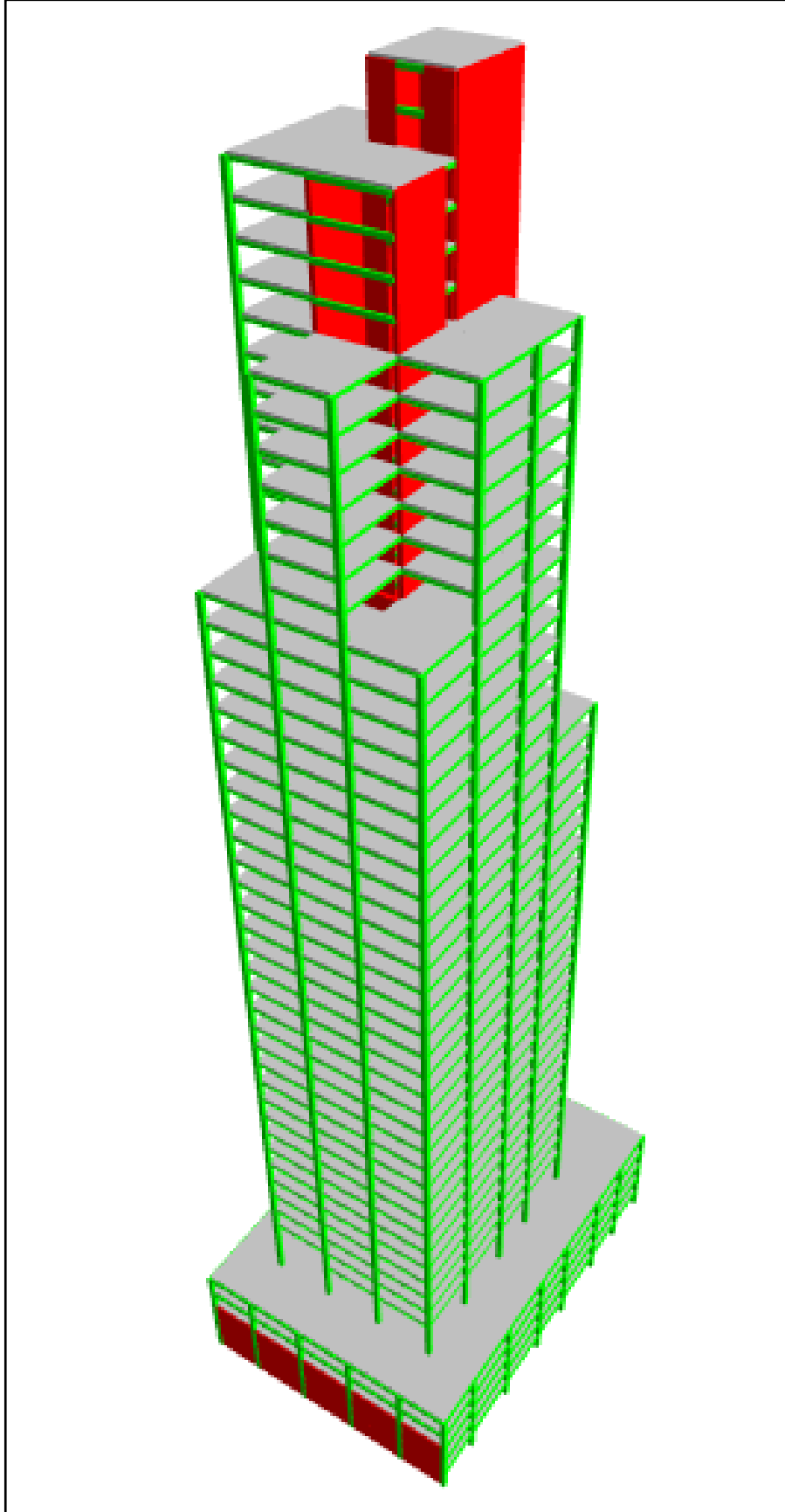
Deprem tehlikesi ilgili parametrelerin seçilmesi amacı ile yapının İstanbul, Ataşehir'de inşa edileceği düşünülmüştür. Bina geometrisi tasarlanırken Sears Tower (Willis Tower) binası geometrisinden esinlenilmiştir.



Şekil 4.1: Tip kat taşıyıcı eleman kesitleri ve malzeme kaliteleri.



Şekil 4.3: Yapı modelinin 3 boyutlu görünümü (plana göre sağ ve arka).



Şekil 4.2: Yapı modelinin 3 boyutlu görünümü (plana göre sol ve ön).

Yapı elemalarının kesit özellikleri şu şekildedir:

- Çekirdek perdelerin kalınlıkları 70cm'dir.
- Bodrum ve baza katlarında kule kısmının dışında kalan kolonlar 80x80cm betonarme kare kolonlardır.
- Bodrum ve baza katlarında kule kısmının dışında kalan kirişler 65x65cm boyutlarında betonarme kirişlerindedir. Bu bölgelerdeki döşemeler kalınlığı 22cm olan betonarme döşemelerdir.
- Bodrum perdelerinin kalınlığı 50cm'dir.
- Kule sınırları içerisinde kalan kolonlar çelik gömme kompozit kolondur. Bu kolonların brüt kesiti 80x80cm'dir. Betonarme kısmın içerisine gömülü olan çelik profil kesiti HD400x744 boyutundadır.
- Kompozit kolonları birbine ve çekirdek perdelere moment aktaracak şekilde bağlayan kirişler HEA500 kesitindedir.
- İki ana çekirdeği birbine bağlayan bağ kirişleri çelik olup kesiti HD400x509 boyutundadır.
- Çekirdekleri kendi içlerinde bağlayan kirişler 70x65cm, 50x65cm boyutlarında betonarme kirişlerdir. Bu bölgelerde 22cm kalınlığında betonarme döşemeler bulunmaktadır.
- Kule sınırları içerisinde kalan kompozit döşemelerin tali kirişlerinin boyutları IPE500'dür.

Yapı elemalarının malzeme özellikleri şu şekildedir:

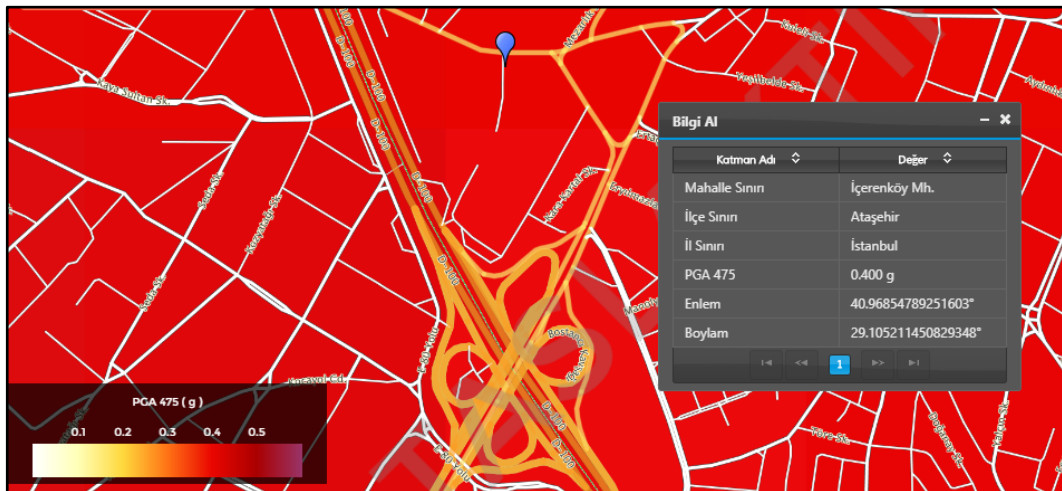
- Tüm betonarme elemanların ve kompozit kolonlardaki betonun sınıfı C50'dir.
- Tüm betonarme elemanların donat sınıfları S420'dir.
- Çelik gömme profillerin ve çelik bağ kirişi profillerinin malzeme kalitesi S460'dır.
- Çelik çerçeve kirişlerinin malzeme kalitesi S355'dir.
- Çelik tali kirişlerin malzeme kaliteleri S275'dir.

Yük kabulleri şu şekildedir:

- Otopark döşemelerinde hareketli yükler 5.0kN/m^2 , kaplama yükleri 2.30kN/m^2 ,
- Peyzaj kotundaki (zemin kat girişi) döşemelerde hareketli yükler 5.0kN/m^2 , kaplama yükleri 10.0kN/m^2 ,
- Normal kat döşemelerinde hareketli yükler 2.0kN/m^2 , kaplama yükleri 2.3kN/m^2 ,
- Cephe yüklerini taşıyan kirişler üzerindeki çizgisel yük 4.0kN/m ,
- İç duvarları taşıyan kirişler üzerindeki çizgisel yük 7.0kN/m ,
olarak kabul edilmiştir.
- Tez kapsamında rüzgâr yüklerine göre tasarım ve değerlendirme yapılmamıştır.
- Ön tasarım yapılırken faktörlü yüklerden oluşan ($1.4G+1.6Q$ gibi) yükleme kombinasyonları kullanılmıştır.
- Doğrusal olmayan analizler, $G+nQ$ yükleme kombinasyonuna yatay (iki yön) ve düşey deprem etkileri eklenerek yapılmıştır.

4.2. Deprem Parametreleri

Tepki spektrumu Taslak TBDY-2016' ya göre hazırlanacaktır. S_s ve S_1 değerleri <https://testtdth.afad.gov.tr/> adresinden İstanbul, Ataşehir ilçesinde için ana marmara fayına yaklaşık 20km uzaklıkta olan bir nokta için alınacaktır. Seçilen nokta Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

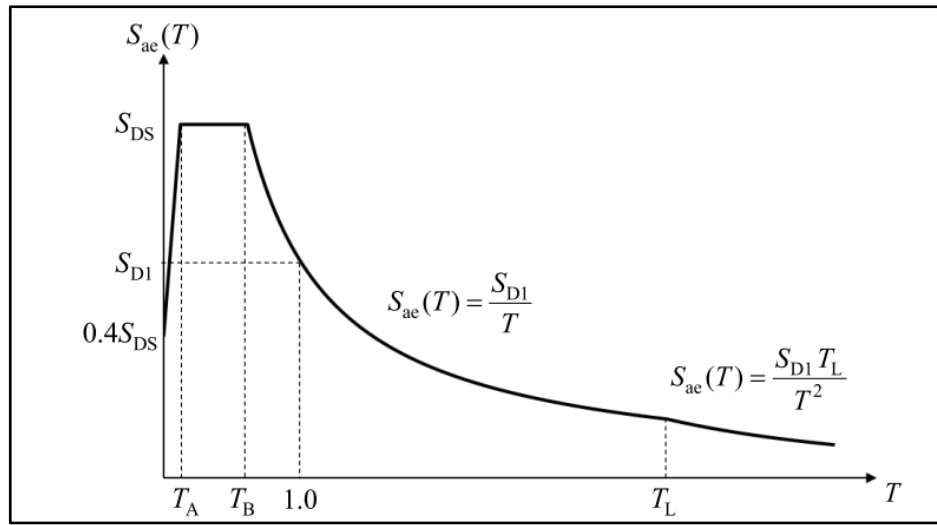


Şekil 4.4: Seçilen noktaya ait en büyük yer ivmesi (PGA) değeri.

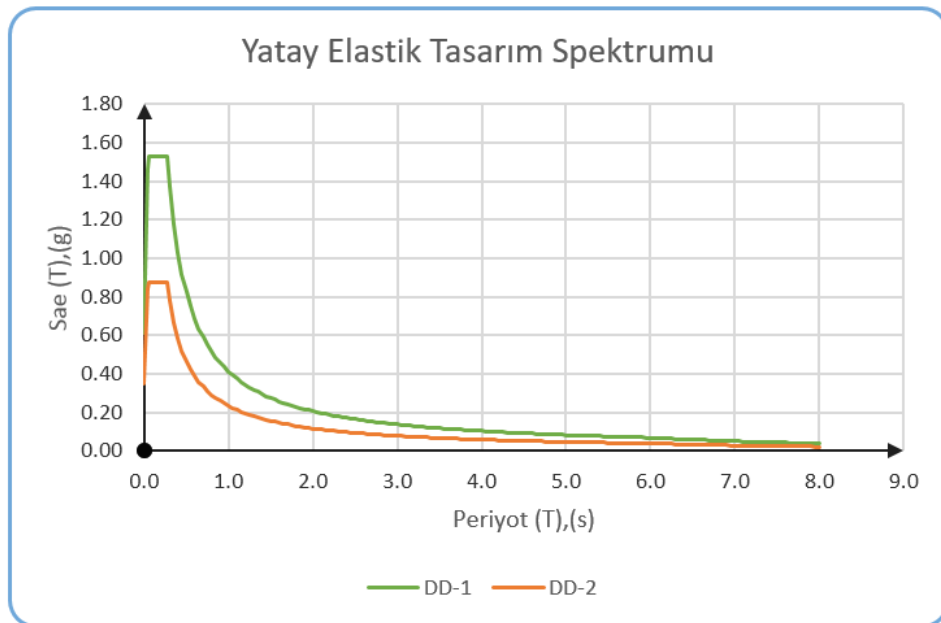
Seçilen nokta için spektral değerler Tablo.4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Seçilen noktalara ait spektral ivme değerleri.

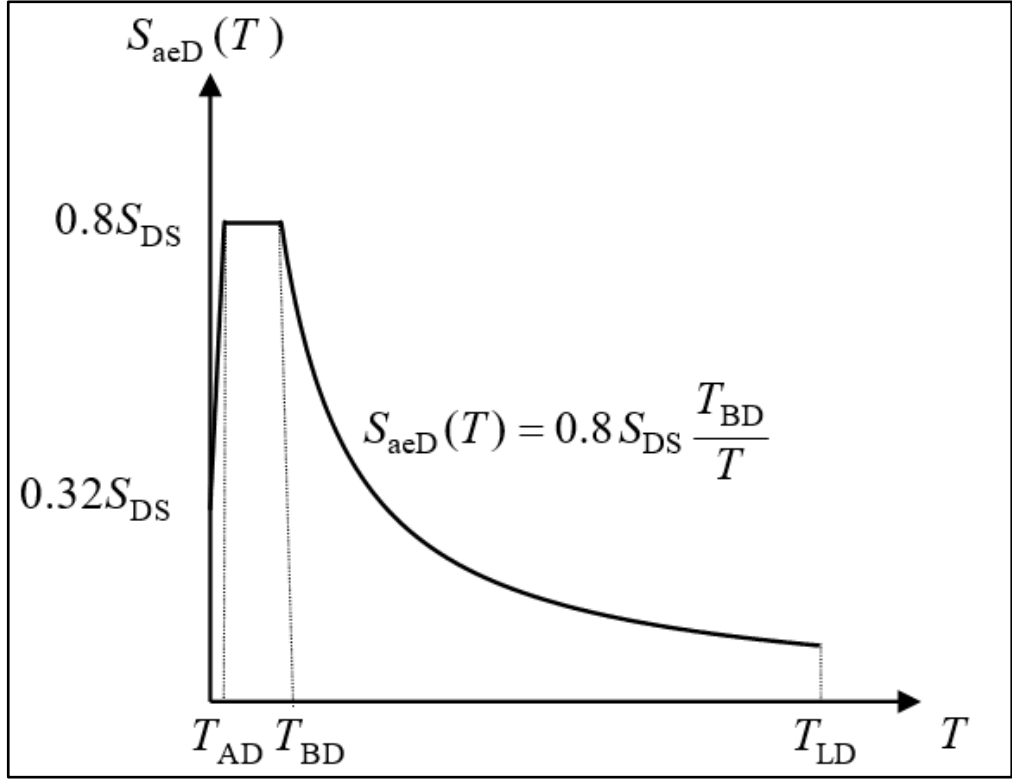
Spektral İvme Katsayıları	DD-1 (%2/50yıl)	DD-2 (%10/50yıl)	DD-3 (%50/50yıl)	DD-4 (%68/50yıl)
PGA (g)	0.689	0.400	0.168	0.113
S_s	1.701	0.969	0.395	0.264
S_1	0.469	0.265	0.106	0.070
PGV (cm/sn)	43.040	24.547	10.323	6.903



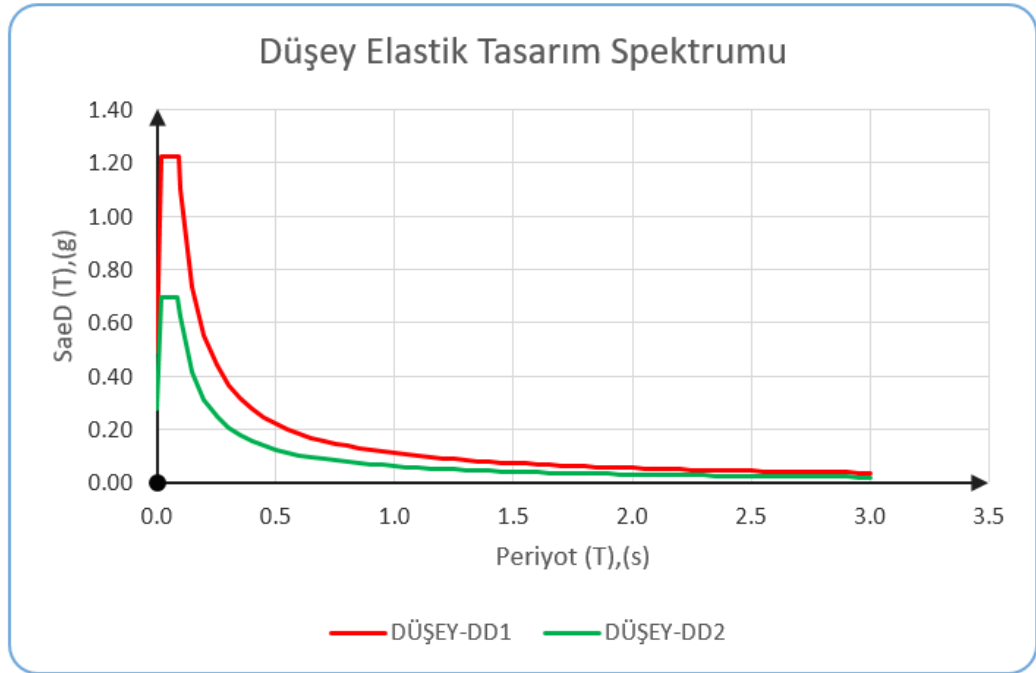
şekil 4.5: Yatay elastik tasarım spektrumu.



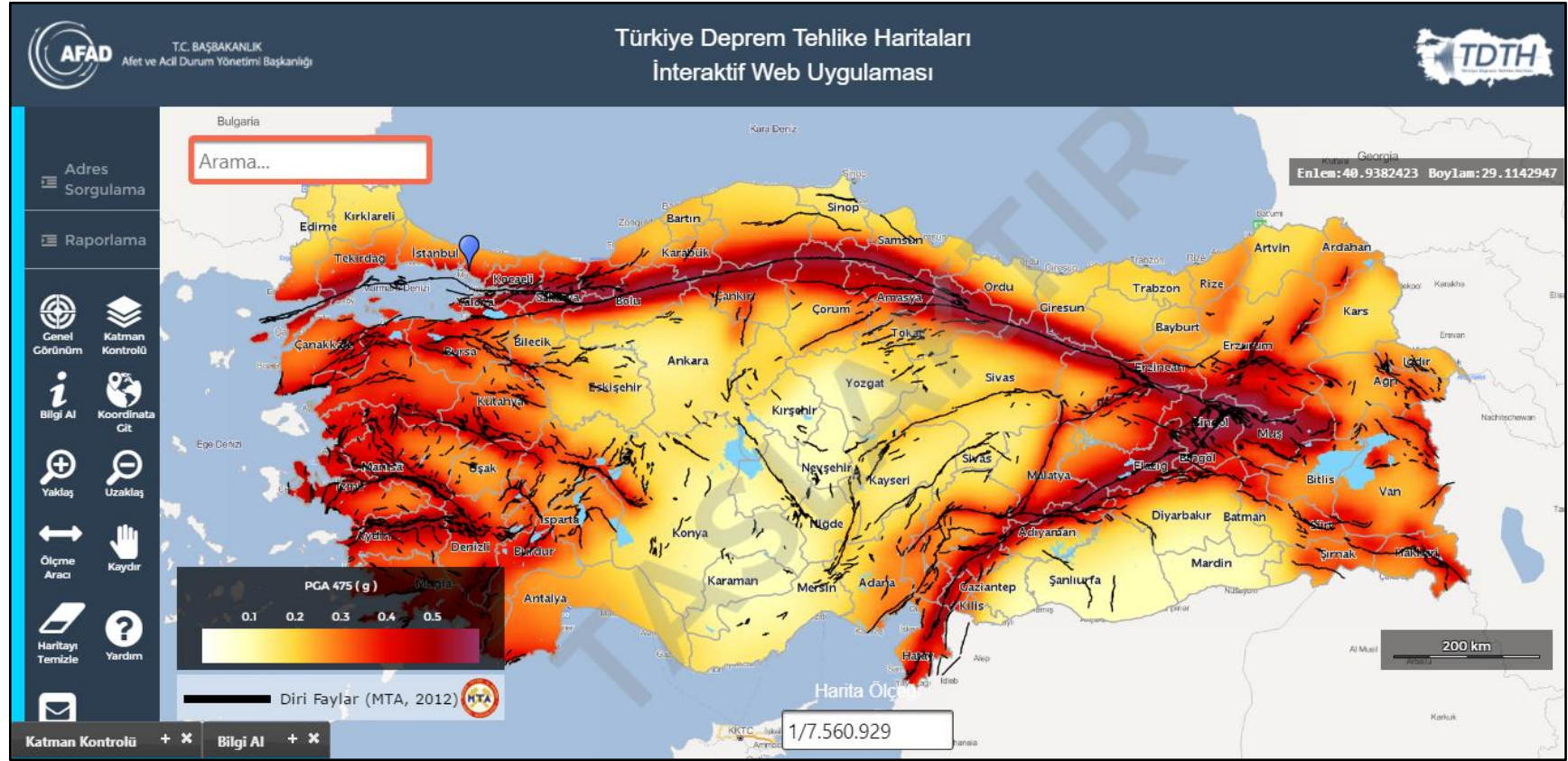
şekil 4.6: DD-1 ve DD-2 Deprem düzeyleri yatay elastik tasarım ivme spektrumları.



Şekil 4.7: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu.



Şekil 4.8: DD-1 ve DD-2 Deprem düzeyleri düşey elastik tasarım ivme spektrumları.



Şekil 4.9: Taslak Türkiye Deprem Tehlike Haritaları'na ait genel görünüm.

4.3. Yapı Sisteminin Ön Tasarımı

Ön tasarım, Taslak-TBDY'deki 13.bölümdeki kurallara göre yapılmıştır. Bu bölümde ön tasarıma 1.aşama denilmektedir. Bu tasarım DD-2 deprem düzeyini can güvenliği (CG) performans seviyesinde sağlayacak şekilde dayanıma göre tasarım (DGT) yakalışımı ile yapılmıştır. Yönetmelikte bulunan 4.bölüm kurallarının yanı sıra 13.bölümde belirtilen kurallara göre tasarım yapılmaktadır. Tez çalışmasının asıl amacı doğrusal olmayan davranış olup bu bölümümde ön tasarım ile ilgili kısa bilgiler verilecektir.

Taşıyıcı sistem elemanları modellenirken Taslak-TBDY bölüm-4 de belirtilen etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılmıştır. İlgili değerler tablo 3.5'de sunulmuştur.

Deprem hesabı mod birleştirme yöntemi ile yapılmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R yönetmelikte bulunan tablo 4.1'den alınıp bu katsayının 4/5'i tasarımda kullanılmıştır. İlgili tabloda BYS=1 olan yani yüksek bina sınıfına giren binalara ait bir R ve D (dayanım fazlalığı katsayısı) değeri yoktur. Yapı taşıyıcı sistemine uygun olarak BYS $\geq$ 2 olan sistemin R ve D değeri tablodan seçilmiştir. Seçilen R değeri 6, D değeri ise 2.5'tir. Yüksek binanın ön tasarımında, $R = \frac{6 \cdot 4}{5} = 4.8$, D=2.5 katsayısı kullanılmıştır.

Mod birleştirme ile hesaplanan deprem kuvvetleri her iki yönde (x,y), yönetmelik bölüm-13'de verilen minimum taban kesme kuvveti (denklem 4.1) ile karşılaştırılmıştır.

$$V_{t,min} = 0.04 \alpha_H m_t S_{DS} g \quad (4.1)$$

Yapılan analizlerin sonucu tablo olarak aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.2: Binanın hakim mod özellikleri.

Özellikler	1.Mod	2.Mod	3.Mod
Periyot (s)	6.72	3.85	2.24
Kütle Katım Oranı	0.50 (uy)	0.52(ux)	0.38(rz)

Yapının sismik ağırlığı $G+nQ = 870,039$ kN 'dur.

Mevcut deprem yönetmeliğinde otopark (garaj) için 0.60 katsayısı verilmişken taslak deprem yönetmeliğinde otopark için $n=0.30$ katsayısı verilmiştir. Bu çalışmada otopark katlarında $n=0.60$, diğer (ofis, işyeri) katlarda $n=0.30$ alınmıştır.

Yüksek binaların ön tasarımında kullanılacak taban kesme kuvveti hesabında α_h , bina yüksekliğine bağlı bir katsayı olup örnek binada $H_N > 155\text{m}$ için $\alpha_h = 0.50$ 'dir.

$$m_t \cdot g = W \text{ (yapı ağırlığı)} = 870039 \text{ kN 'dur.} \quad (4.2)$$

$$\text{DD-2 deprem düzeyi için; } S_{DS} = F_S \cdot S_S = 0.9 \cdot 0.969 = 0.872 \quad (4.3)$$

$$V_{t,\min} = 0.04 \cdot 0.5 \cdot 0.872 \cdot 870039 = 15174 \text{ kN 'dur.} \quad (4.4)$$

Yukarıdaki eşitlikten taban kesme kuvveti katsayısı çıkarımda bulunacak olursak, bu katsayı $= 0.04 \cdot 0.5 \cdot 0.872 = 0.0175$ olarak hesaplanır. Yani binanın sismik ağırlığının %1.75'i kadar yatay kuvvet yapıya uygulanmalıdır.

Mod birleştirme yöntemine göre $R=4.8$ alınarak hesaplanmış azaltılmış taban kesme kuvveti değerleri:

- X yönü için; $18966 \text{ kN} > 15174 \text{ kN} \checkmark$
- Y yönü için; $11564 \text{ kN} < 15174 \text{ kN} \times$

Y yönü için hesaplanan deprem kuvveti $15174/11564=1.32$ katsayısı ile büyütülmüştür. Hesaplanan deprem kuvvetleri, düşey yükler ile birleştirilerek yükleme kombinasyonları oluşturulmuştur. Bu kombinasyonlara göre elemanların ön boyutlandırılması yapılmıştır.

4.4. Yapı Sisteminin Doğrusal Olmayan Analizi

Ön tasarımı yapılan binanın doğrusal olmayan davranışı incelenmek için Perform3D programı kullanılmıştır. Perform3D programına veri aktarımı sağlamak amacıyla Etabs modeli Sap2000 programına aktarılmıştır. Aktarım aşamalarında veri kaybı olmaması adına bina bu üç program ile de lineer olarak analiz edilmiş ve ana

parametreler kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar (periyot, bina ağırlığı, deplasman vs.) birbirine oldukça yakındır.

4.4.1 Rayleigh Sönümü ve Deprem Kayıtları

4.4.1.1 Rayleigh Sönümü

Rayleigh Sönümü; çok serbestlik dereceli sistemlerin titreşimlerinde gözlenen enerji kaybını hesaba katmakta kullanılan, viskoz sönüm matrisinin kütle ve rijitlik matrislerinin doğrusal birleşimleri ile oluşturduğu modeldir. Rayleigh Sönümü, hesaplama kolaylığı ile karmaşık bir konu olan sönümün anlaşılabilir hale getirmesi nedeniyle dinamik analizlerde sıklıkla kullanılır.

Doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerde bina sönümü önemli bir parametre olup analiz sonuçlarını büyük mertebede etkilemektedir. Doğru bir sönüm tanımı daha gerçekçi sonuçlara götürecektir.

Rayleigh sönüm fonksiyonunda bahsedildiği gibi iki parametreden oluşur. Binanın kütlesi ve rijitlik matrisi. Kütle matrisi α katsayısı ile, rijitlik matrisi β katsayısı ile çarpılarak toplanır (Denklem (4.2)).

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (4.5)$$

α ve β katsayıları ise aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanır.

$$\alpha = 2 * \zeta_1 * \omega_1 - \beta * \omega_1^2 \quad (4.6)$$

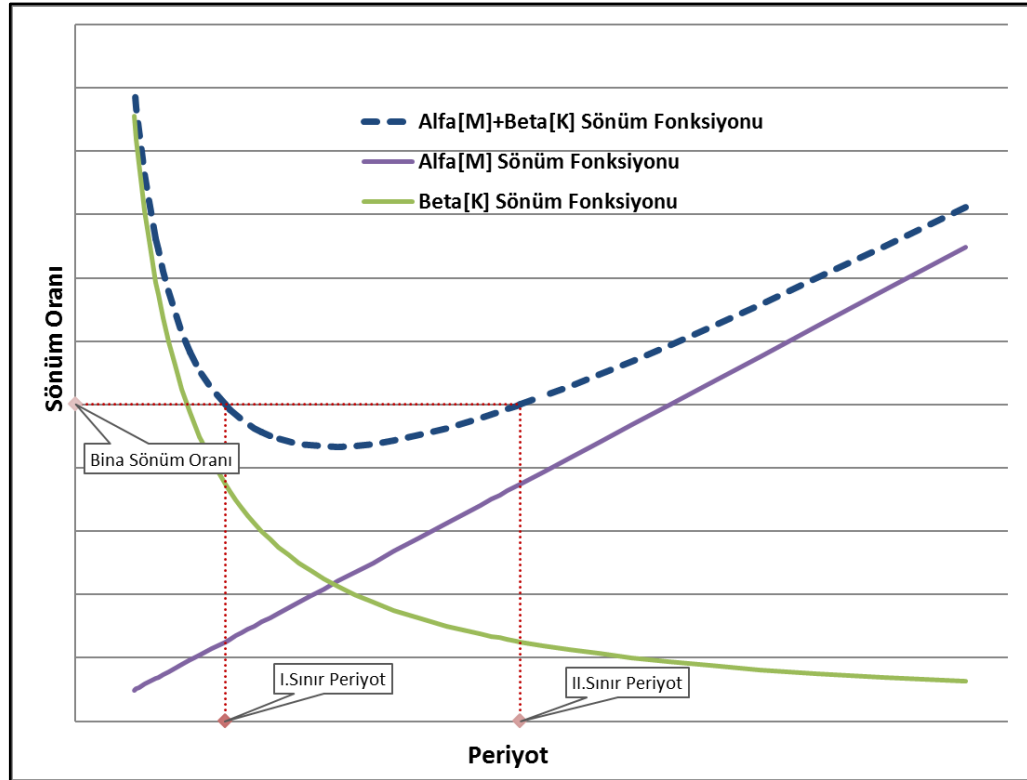
$$\beta = \frac{2 * \zeta_1 * \omega_1 - 2 * \zeta_2 * \omega_2}{\omega_1^2 - \omega_2^2} \quad (4.7)$$

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde her bir yapısal elemanın göstereceği doğrusal olmayan davranış sistemin rijitlik matrisini ve doğal titreşim periyodunu etkileyecektir. Değişen doğal titreşim periyoduna karşı sönüm fonksiyonu değişeceğinden sönüm tekrardan tanımlanması gerekmektedir. Bu yüzden Rayleigh sönüm modeli tanımlanırken sınır iki adet doğal titreşim periyodu dikkate alınır. Sınır

periyotlarının seçilmesi analiz sonuçlarının doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Esas olan binanın doğal titreşim periyotlarına karşılık gelen kütle katılım oranlarının yüzdeleridir. Titreşim periyotları açısal frekanslara çevrilir (ω_1 ve ω_2). Sınır periyotlarına karşılık gelen sönüm katsayıları belirlenir (ζ_1 ve ζ_2). Denklem (4.6) ve Denklem (4.7) yardımıyla α ve β katsayıları hesaplanır. Hesaplanan katsayılar ile binanın i modunun sönümü Denklem (4.8) ile oluşturulur.

$$\zeta_i = \frac{\alpha}{2 * \omega_i} + \frac{\beta * \omega_i}{2} \quad (4.8)$$

Titreşim periyotlarına karşılık gelen sönüm fonksiyonun (ζ_i) grafik olarak gösterimi Şekil 4.8’de görüldüğü gibidir.



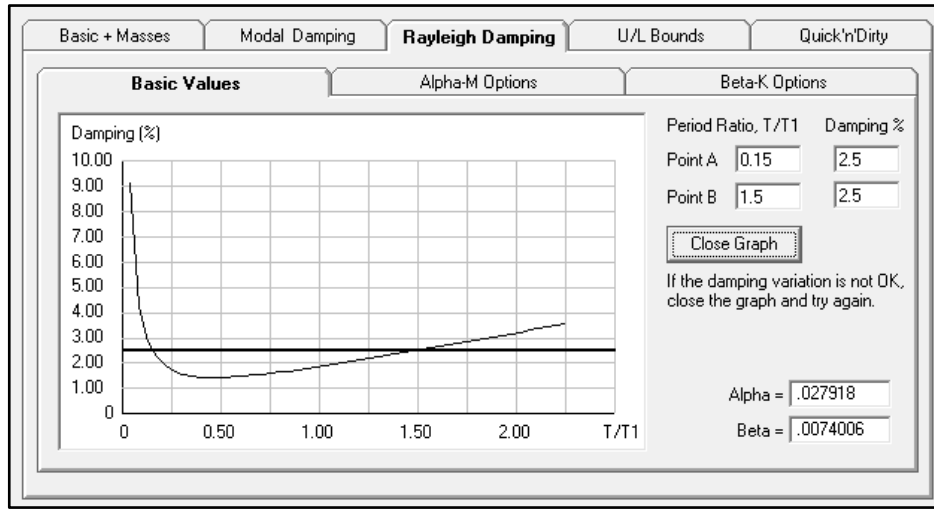
Şekil 4.10: Rayleigh sönüm fonksiyonu.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz esnasında binanın periyodu seçilen iki sınır periyotu arasında değişeceği düşünülür. Sınır periyotlara karşılık gelen bina sönüm oranı tespit edilir ve sönüm fonksiyonu tanımlanan denklemler ile tanımlanır (Şekil 4.8). Şekilden görüldüğü gibi sınır periyotlar arasında bina sönüm

oranı değeri parabolik olarak sönüm oranına yakın bir şekilde azalmaktadır. Bu azalım oranı binada beklenen sönüm oranı ile alakalıdır.

Belirlenen sönüm fonksiyonu farklı analiz programlarına (SAP2000, PERFROM-3D vb.) sınır periyotlar girilerek tanımlanabilmektedir.

Yüksek yapılarda sönüm oranının normal yapılara göre düşük olduğu bilinmektedir. Bu durum dikkate alınarak sistem kritik sönüm oranı $0.15T_1-1.5T_1$ periyotlarında (T_1 : Yapının 1. Hakim Titreşim Periyodu) %2.5 olarak alınmıştır.



Şekil 4.11: Perform-3D’de Rayleigh sönümünün tanımlaması.

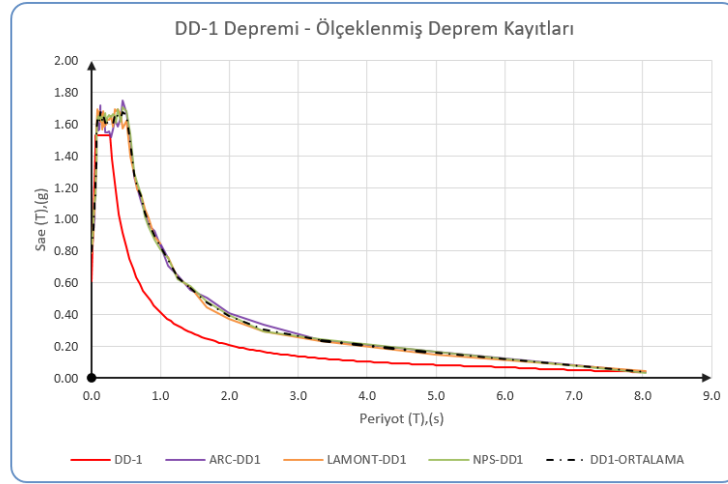
4.4.1.2 Deprem Kayıtları

Binanın ve binayı oluşturan yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışı incelenmek üzere zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Yapılan bu analizlerde DD-1 ve DD-2 deprem seviyelerindeki tepki spektrumlarına eşlenmek üzere 3’er adet deprem yer hareketi seçilmiştir. Seçilen yer hareketlerinin özellikler tablo 4.3’de özetlenmiştir.

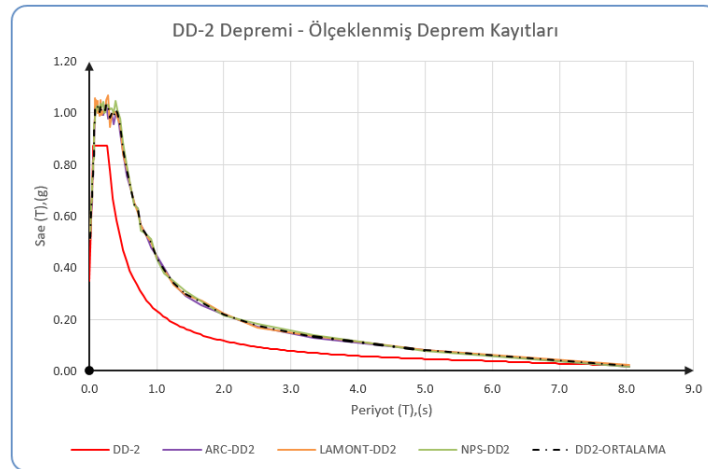
Deprem kayıtlarının iki yatay bileşeninin spektral değerlerinin karelerinin toplamının karekökleri alınarak bileşke spektrumlar oluşturulmuştur. Oluşturulan bileşke spektrumların ortalamaları alınarak hedef spektrumlara Bölüm 3.7.’ye göre ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirilen DD-1 deprem kayıtları şekil 4.10’da, DD-2 deprem kayıtları şekil 4.11’de gösterilmiştir. Ölçeklenmiş kayıtlar Perform-3D programına girilmiştir. Analizler yapılmıştır.

Tablo 4.3: Seçilen deprem kayıtları.

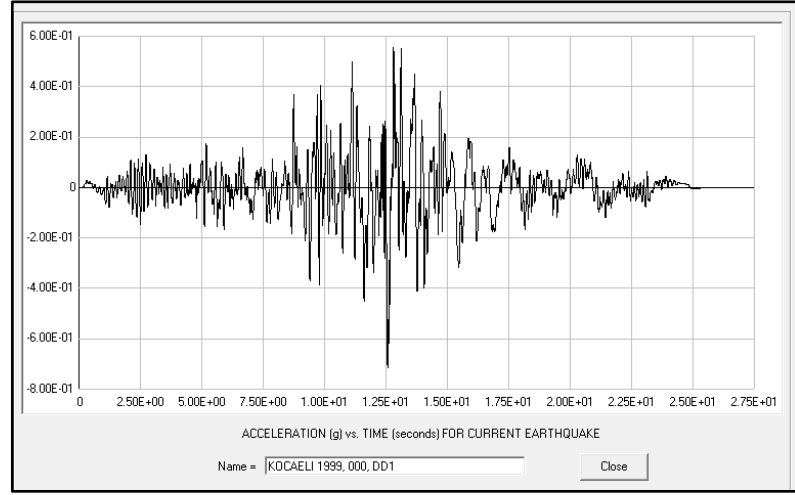
Deprem	Büyüklik (M)	Fay Mekanizması	Kayıt İstasyonu	Yön-Bileşen	Fay'a Uzaklık (km)	Süre (s)
Kocaeli, 1999	7.4	Doğrultu Atımlı	ERD 99999 Arçelik	ARC000 ARC090	13.49	25.3
Düzce, 1999	7.14	Doğrultu Atımlı	Lamont 362 Lamont	362E 362N	23.42	33.0
Landers USA, 1999	7.14	Doğrultu Atımlı	USGS 5070 North Palm Spring	NPS000 NPS090	26.84	50.0



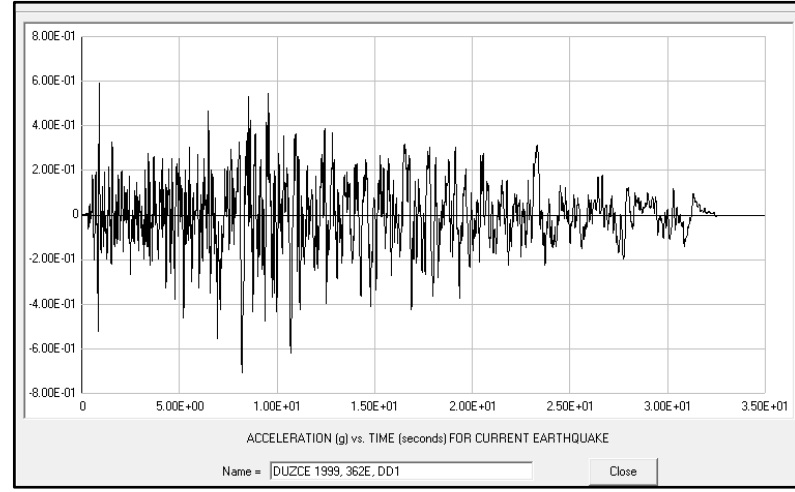
Şekil 4.12: DD-1 deprem düzeyi spektrumu ve ölçeklenen deprem kayıtları.



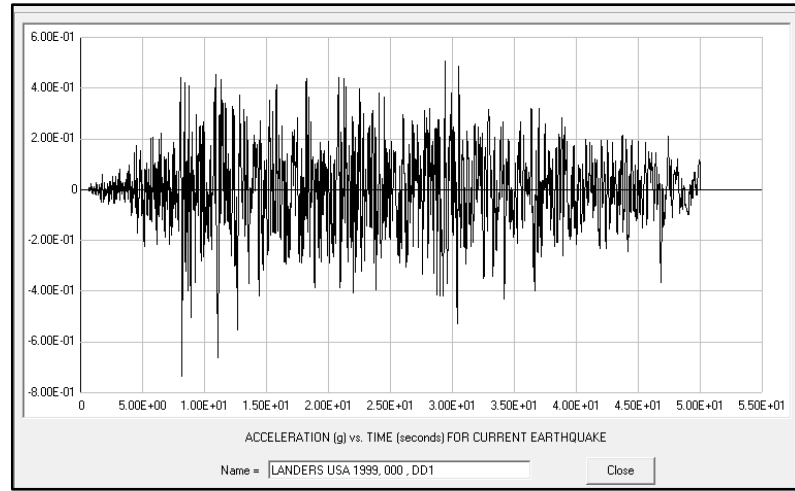
Şekil 4.13: DD-2 deprem düzeyi spektrumu ve ölçeklenen deprem kayıtları.



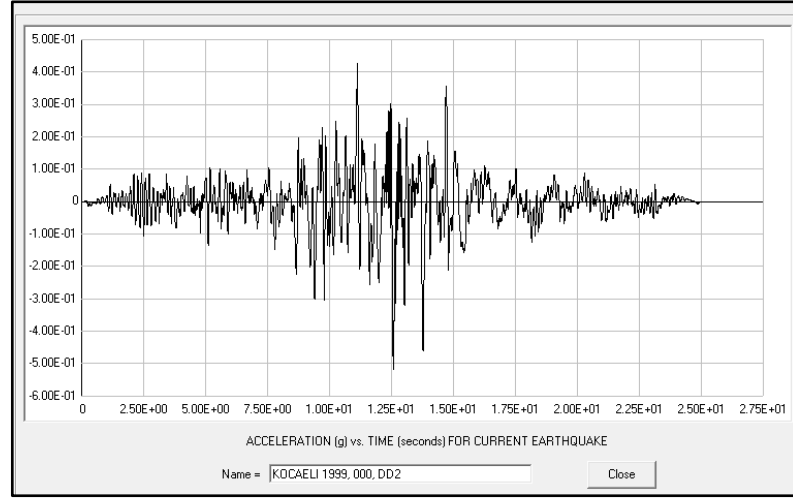
Şekil 4.14: Kocaeli deprem kaydı (DD-1).



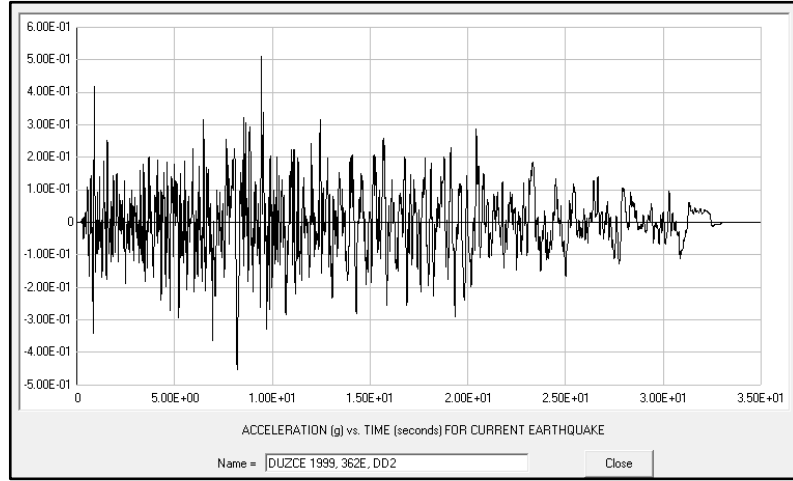
Şekil 4.15: Düzce deprem kaydı (DD-1).



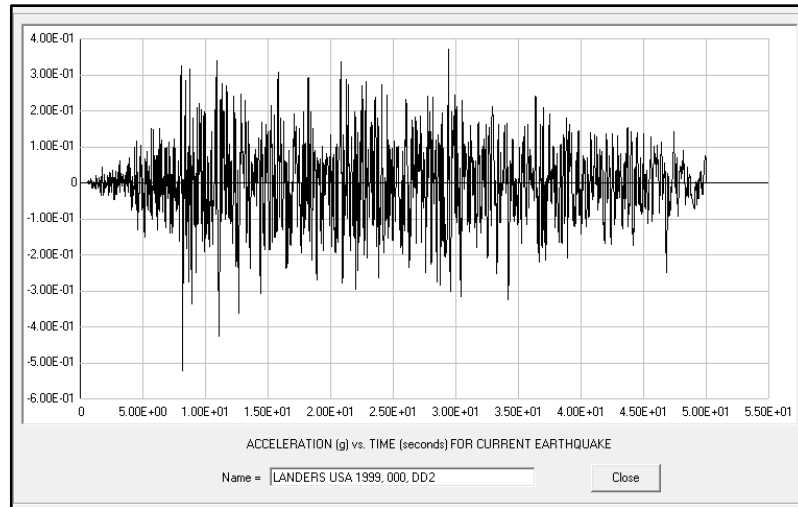
Şekil 4.16: Landers USA, deprem kaydı (DD-1).



Şekil 4.17: Kocaeli deprem kaydı (DD-2).



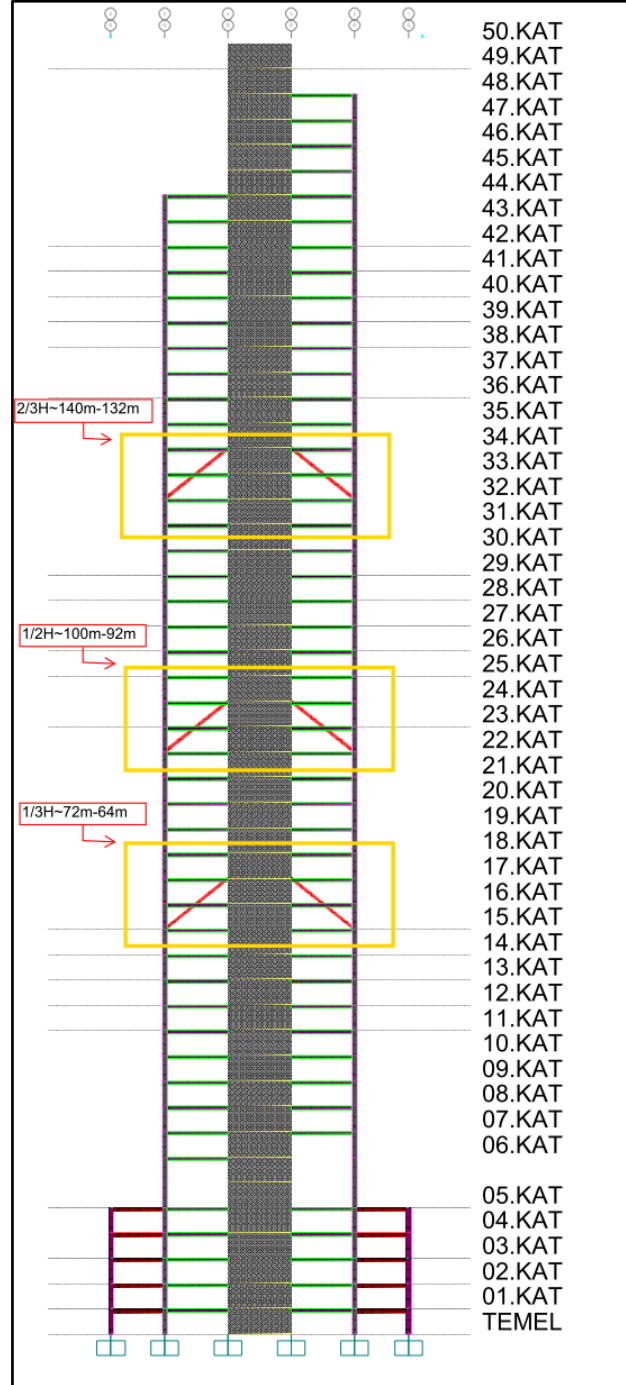
Şekil 4.18: Düzce deprem kaydı (DD-2).



Şekil 4.19: Landers USA, deprem kaydı (DD-2).

4.4.2 Analiz Sonuçları

Yapıda ilk olarak dış destek (outrigger) kullanılmamıştır. Yapıya daha sonra toplam bina yüksekliğinin 1/3'ü, 1/2'si ve 2/3'ü mesafelerinde ayrı ayrı dış destek elemanı olarak burkulması önlenmiş çapraz (BRB) ilave edilmiştir. Yanı yapı toplamda 4 farklı şekilde analiz edilmiş ve yapısal davranış incelenmiştir.



Şekil 4.20: BRB elemanların yapıdaki konumları.

BRB elemanları iki kat yüksekliğinde yerleştirilmiştir. BRB'ler y doğrultusundaki perdeleri dış akstaki kolonlara bağlamaktadır. Farklı kat seviyelerine yerleştirilen BRB'ler her bir deneme modelinde 4'er adet kullanılmıştır. Şekil 4.18'deki aksta 2 tane ve bu aksın simetri aksında 2 tanedir. Plan uzunluğu 10m, düşey uzunluk (2 kat yüksekliği) 8m'dir. Bir adet BRB uzunluğu 12.81m'dir. Farklı modellerin periyot kıyaslamaları tablo 4.4'de verilmiştir.

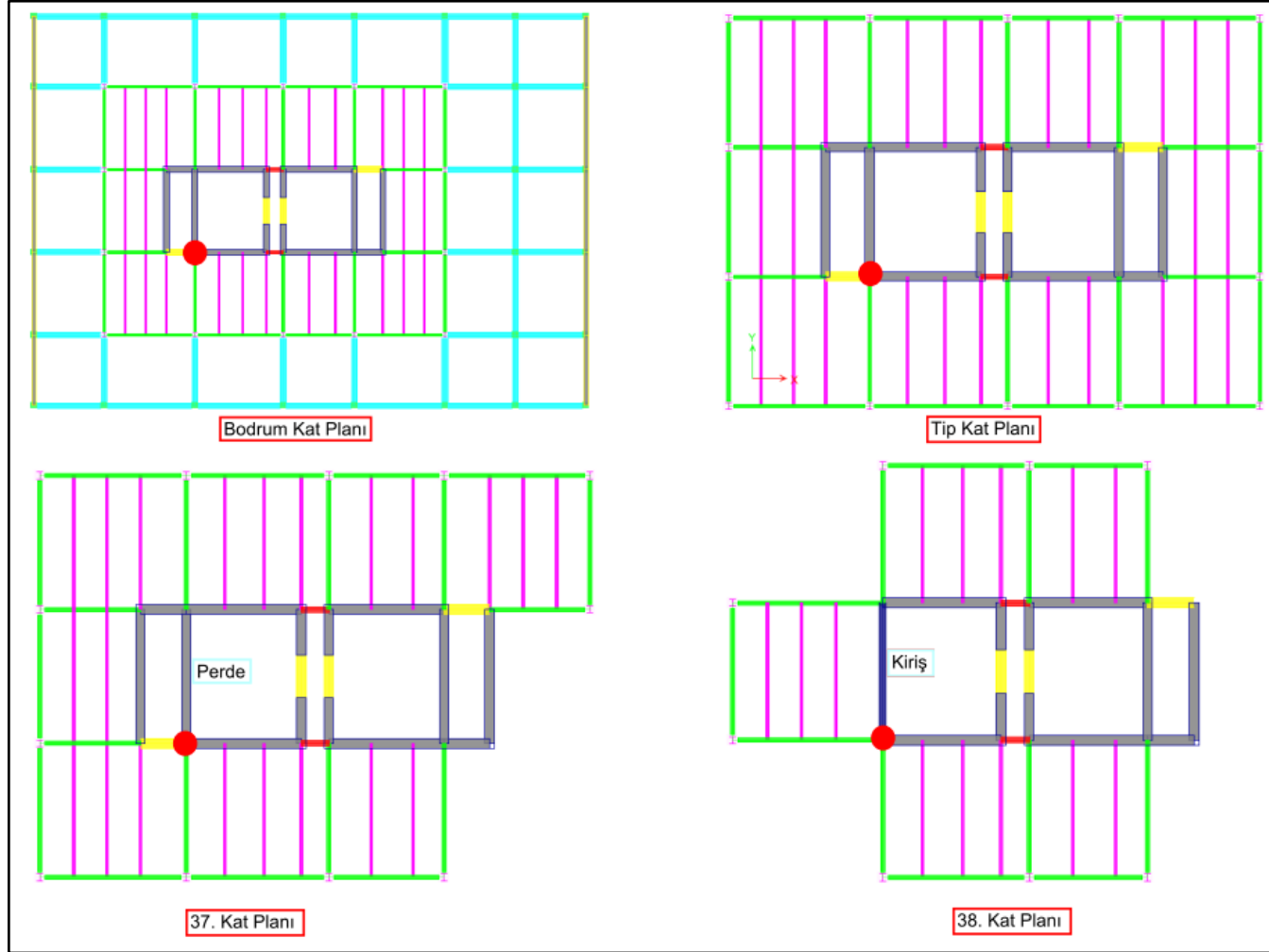
Tablo 4.4: Farklı modellerin periyot kıyaslamaları.

Periyotlar (s)	BRB Yok	BRB $(1/3)*H$ 'da	BRB $(1/2)*H$ 'da	BRB $(2/3)*H$ 'da
1.Periyot	6.82	6.27	6.13	6.13
2.Periyot	3.84	3.81	3.80	3.80
3.Periyot	1.96	1.95	1.95	1.95

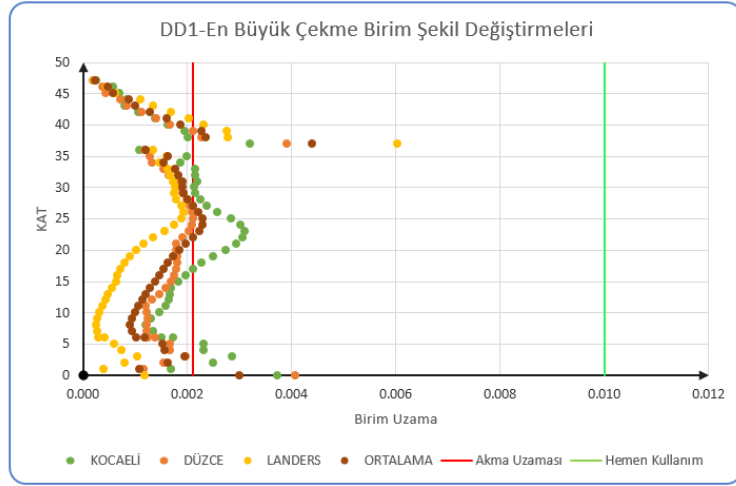
4.4.2.1. Perde Birim Şekil Değişimleri

Bir önceki bölümde detaylı bir şekilde açıklanan farklı analiz modellerinden elde edilen sonuçlar açıklanacaktır. Perform 3D modelinde betonarme perdeler fiber olarak modellenmiştir. Perdelerdeki bulunan donatıların en büyük uzamaları ile betonların en büyük kısıalma miktarları bu bölümde sunulmuştur. Farklı deprem kayıtlarına göre ve bu kayıtların ortalamalarına göre sonuçlar grafik şeklinde özetlenmiştir. Şekil 4.22, 4.23, 4.24, 4.25'de *BRB olamayan* durumun sonuçları verilmiştir.

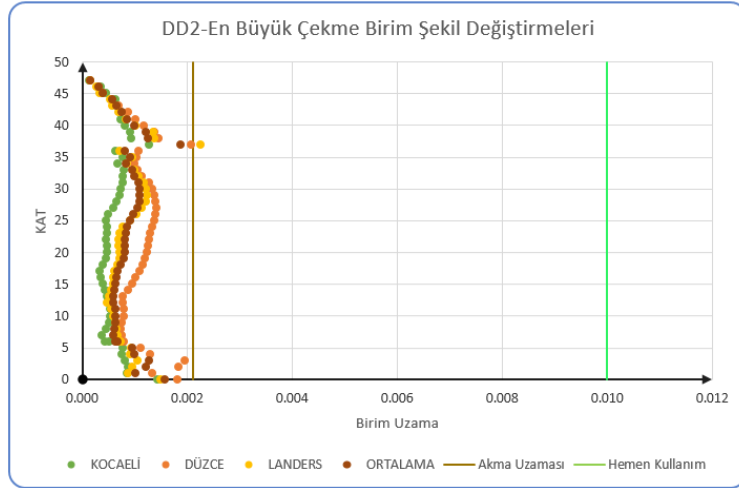
Şekil 4.19.'da binanın değişen kat planları gösterilmiştir. Bu kat planı üzerinde kırmızı renk ile işaretlenen nokta perde uç bölgesini göstermektedir. Y yönü depreminin hakim olduğu analiz sonuçlarına göre bu noktada bulunan beton ve çelik liflerin uzama ve kısıalma değerleri sonuçları grafikler ile gösterilmiştir. Kat planları incelendiğinde 37.kattan 38.kata geçişte perde ve çerçeve sayısı azalmakta kat planı küçülmektedir. Bu ani değişim sebebi ile perdenin bu bölgedeki birim şekil değiştirme değerlerinde ani bir değişim (artış) gözlemlenmiştir.



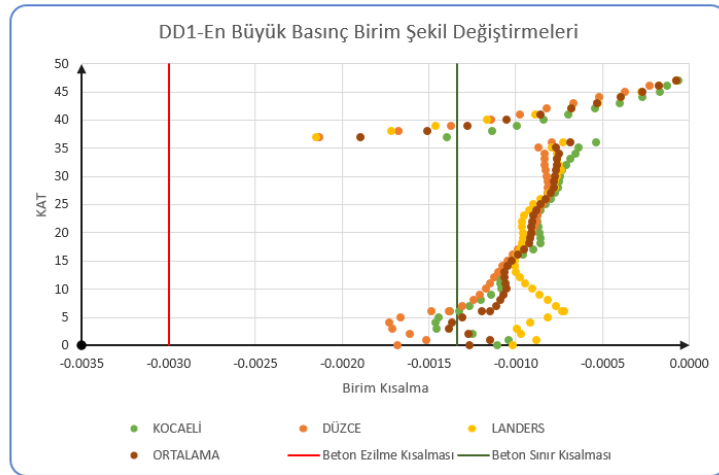
Şekil 4.21: Farklı kat planları ve sonuçlar için seçilen nokta (kırmızı işaretli).



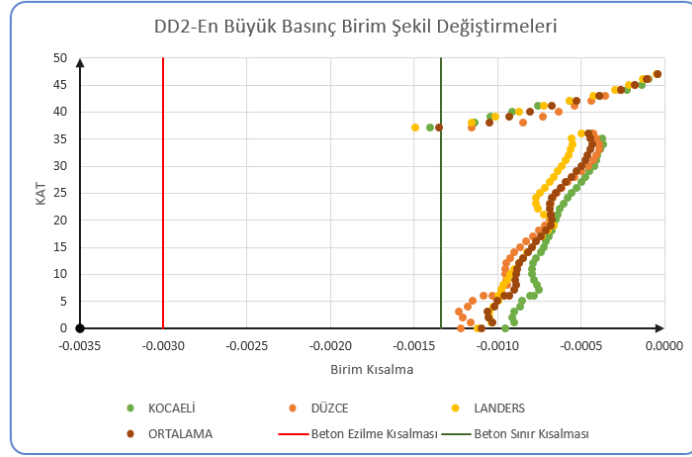
Şekil 4.22: DD-1, perdelerde oluşan en büyük birim uzamalar (BRB yok).



Şekil 4.23: DD-2, perdelerde oluşan en büyük birim uzamalar (BRB yok).

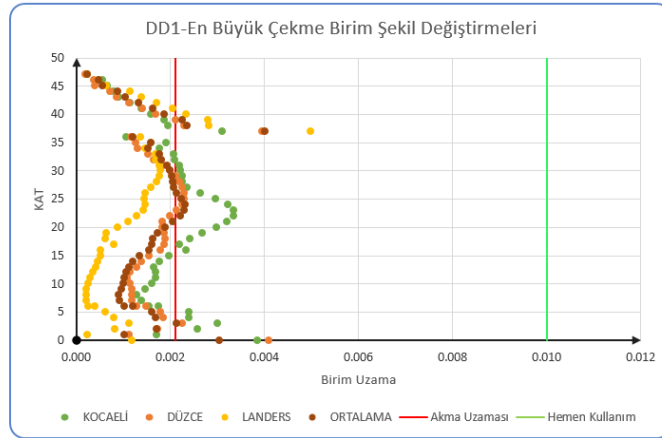


Şekil 4.24: DD-1, perdelerde oluşan en büyük birim kısılmalar (BRB yok).

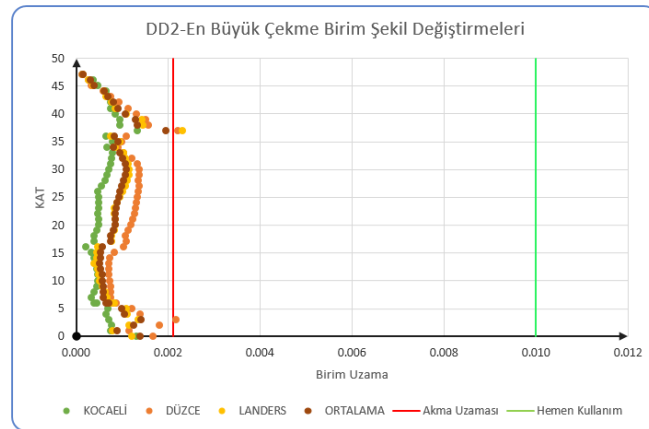


Şekil 4.25: DD-2, perdelerde oluşan en büyük birim kısaltmalar (BRB yok).

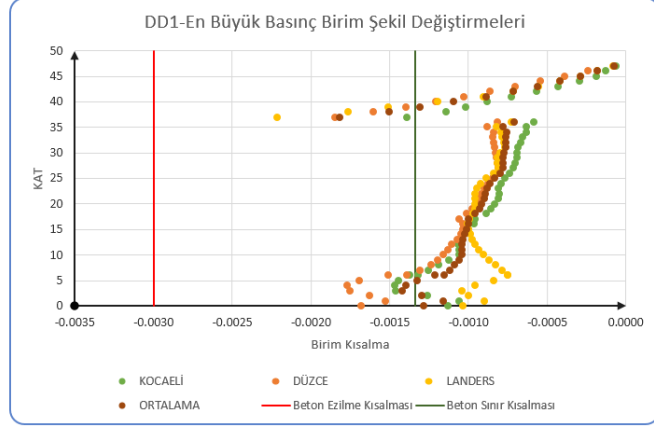
Şekil 4.26, 4.27, 4.28, 4.29’de *BRB’lerin $(1/3)*H$ ’da olması* durumunun sonuçları verilmiştir.



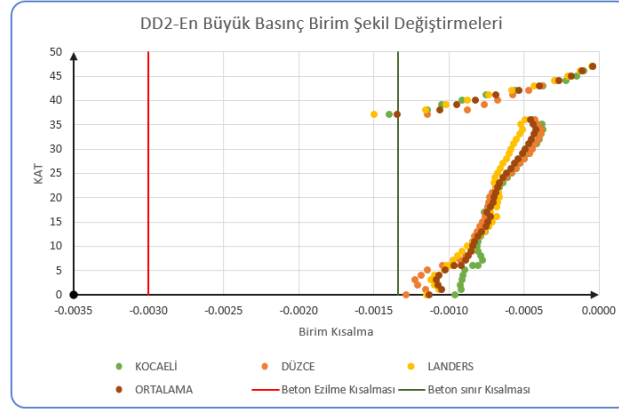
Şekil 4.26: DD-1, perdelerde oluşan en büyük birim uzamalar (BRB-1/3).



Şekil 4.27: DD-2, perdelerde oluşan en büyük birim uzamalar (BRB-1/3).

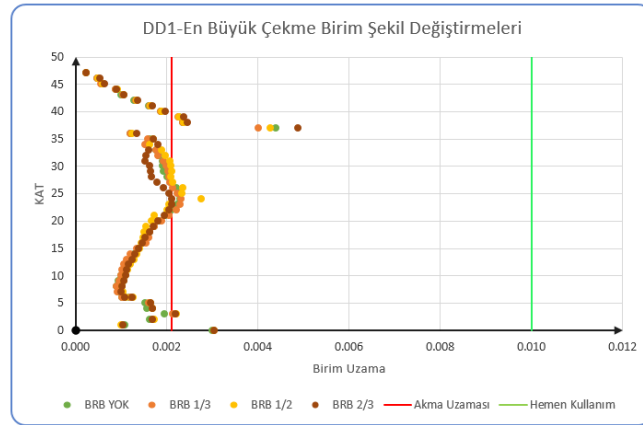


Şekil 4.28: DD-1, perdelerde oluşan en büyük birim kısaltmalar (BRB-1/3).

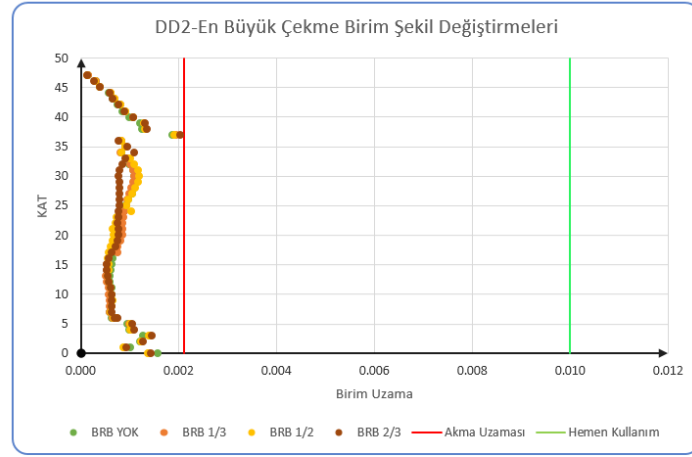


Şekil 4.29: DD-2, perdelerde oluşan en büyük birim kısaltmalar (BRB-1/3).

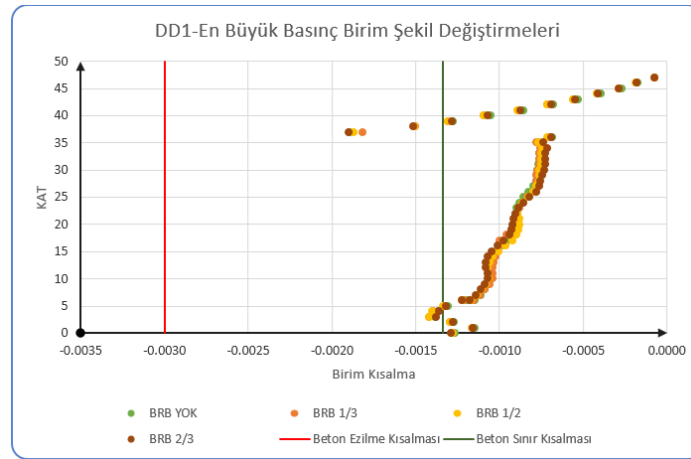
Perdelerdeki birim şekil değiştirmeler farklı BRB konumlarına göre incelenmiştir. Şekil 4.30, 4.31, 4.32, 4.33’da bu durum özetlenmiştir.



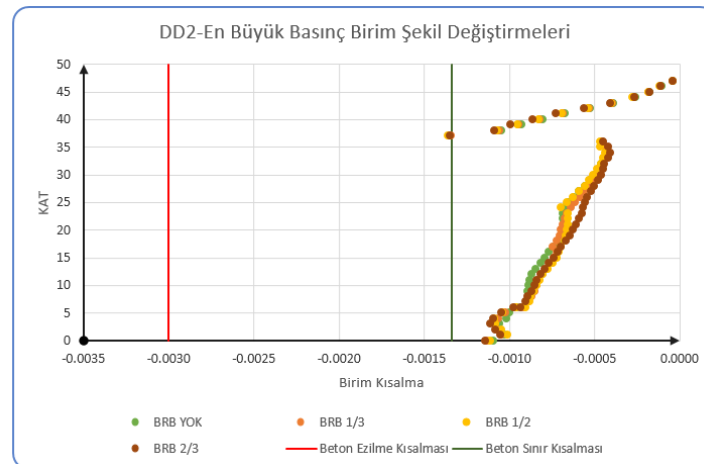
Şekil 4.30: DD-1, perdelerde oluşan en büyük birim uzamalar (farklı BRB konumları).



Şekil 4.31: DD-2, perdelerde oluşan en büyük birim uzamalar (farklı BRB konumları).



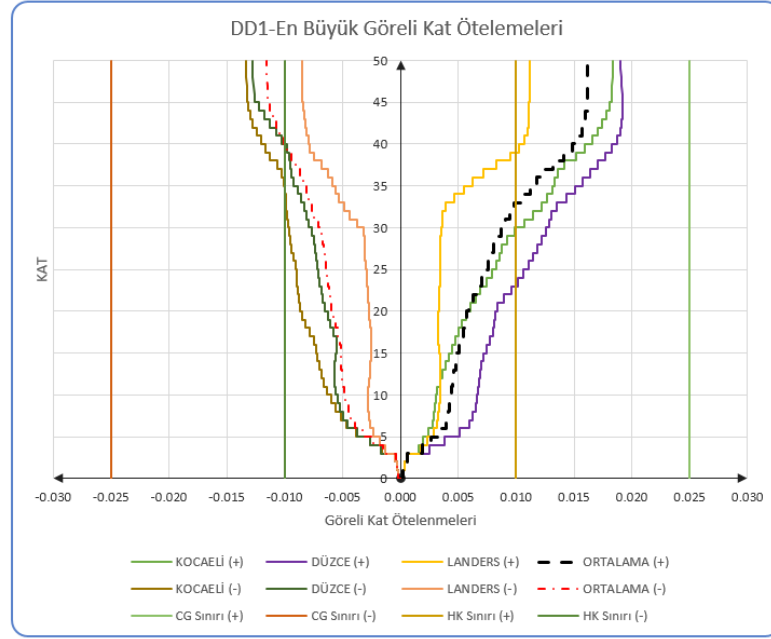
Şekil 4.32: DD-1, perdelerde oluşan en büyük birim kısılmalar (farklı BRB konumları-ortalamalar).



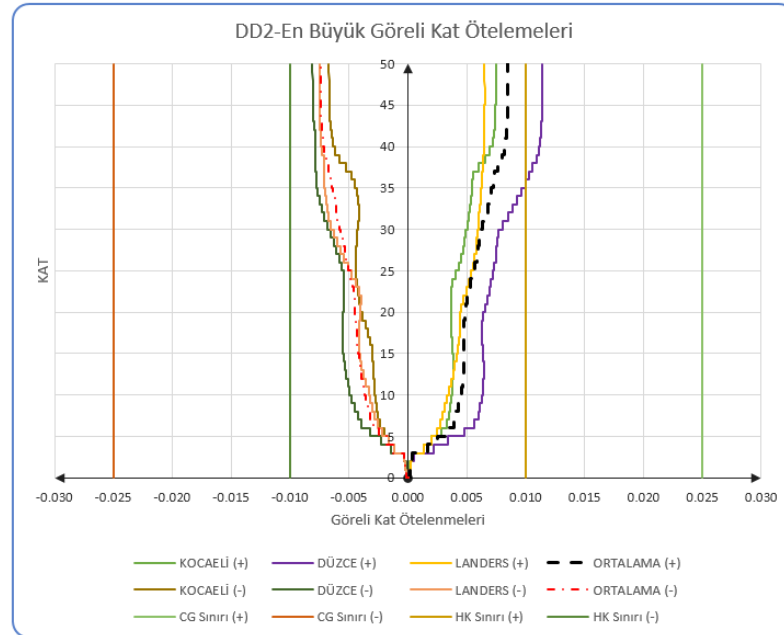
Şekil 4.33: DD-2, perdelerde oluşan en büyük birim kısılmalar (farklı BRB konumları-ortalamalar).

4.4.2.2. Görelî Kat Ötelenmeleri

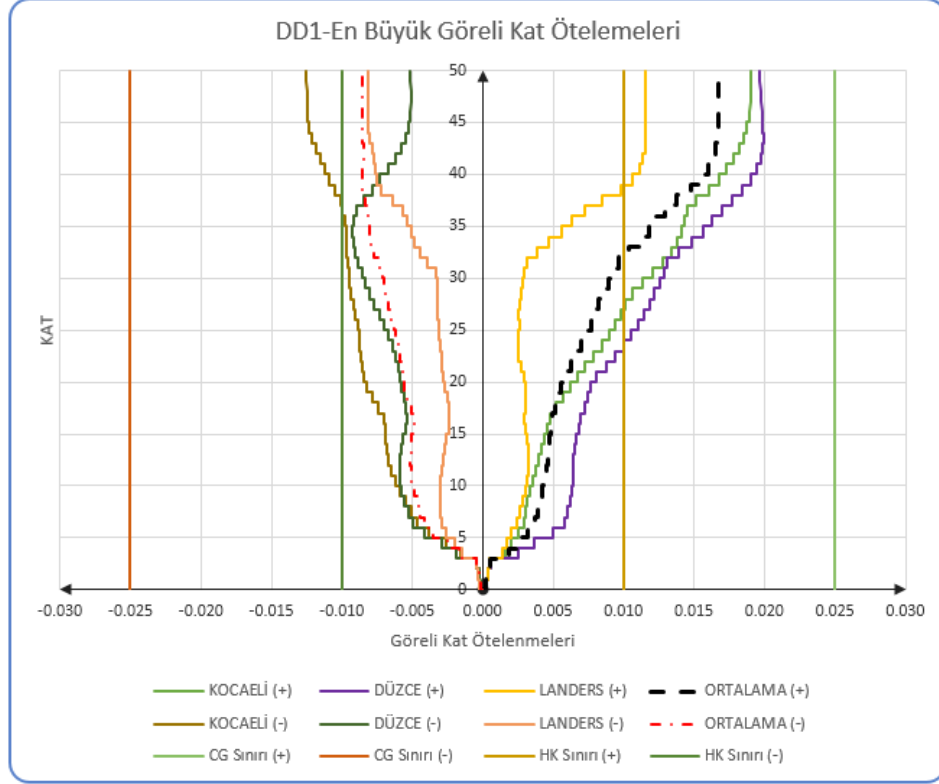
Doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmıştır ve analiz sonuçlarında görelî kat ötelenmeleri incelenmiştir. Değerler 4 farklı model üzerinde çalışılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



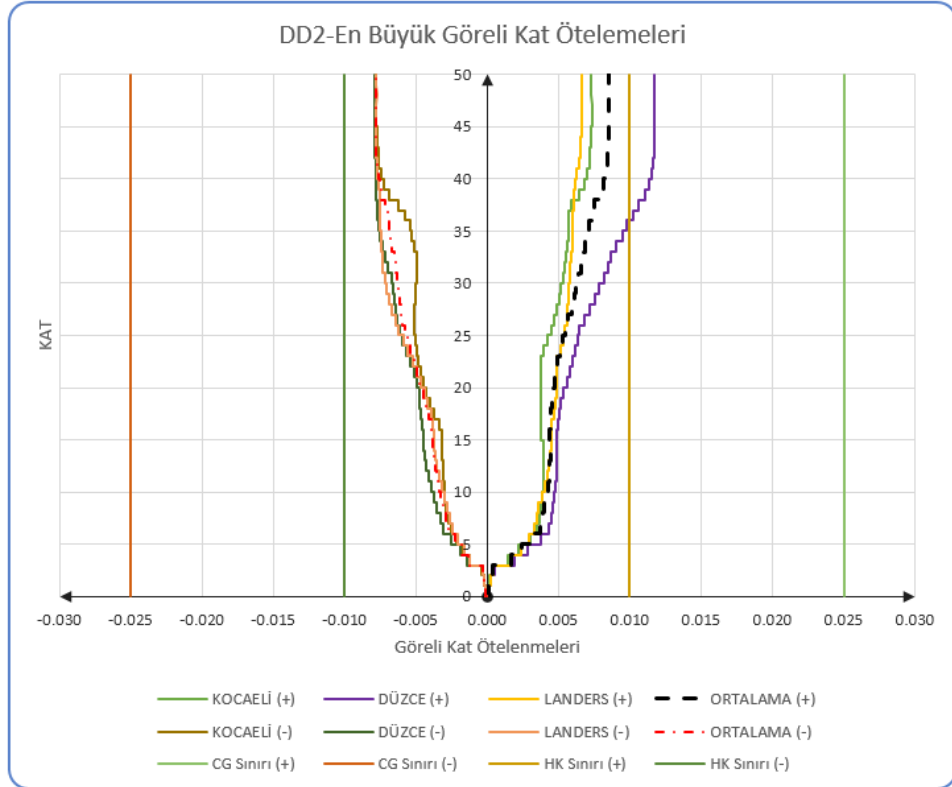
Şekil 4.34: DD-1, görelî kat ötelemeleri (BRB yok).



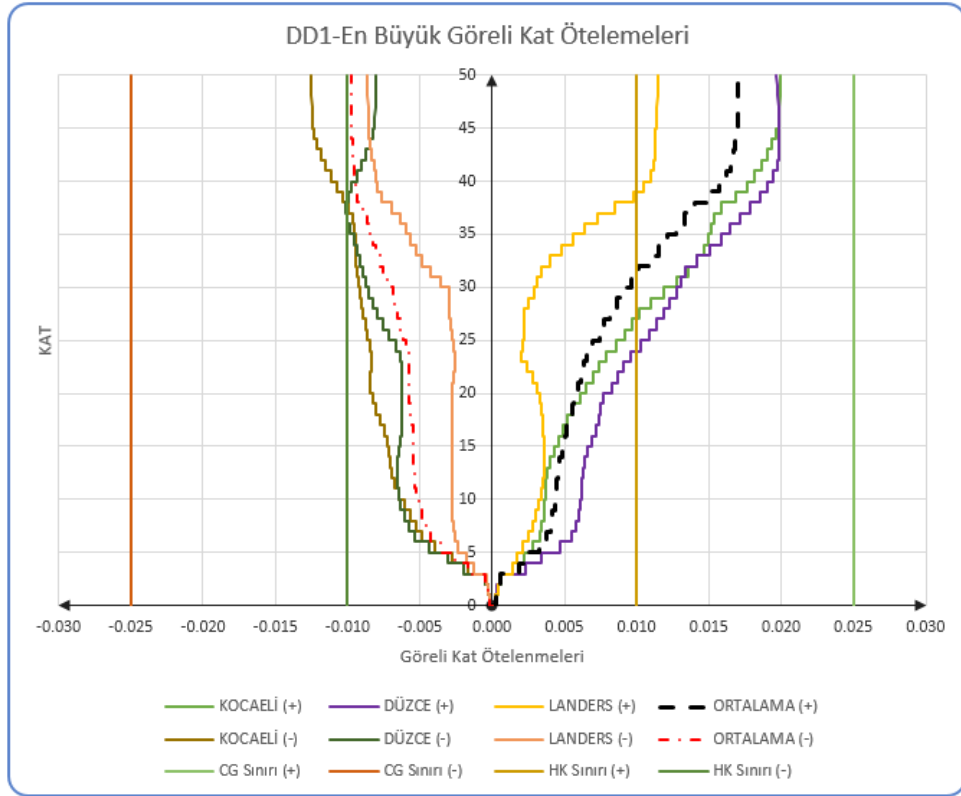
Şekil 4.35: DD-2, görelî kat ötelemeleri (BRB yok).



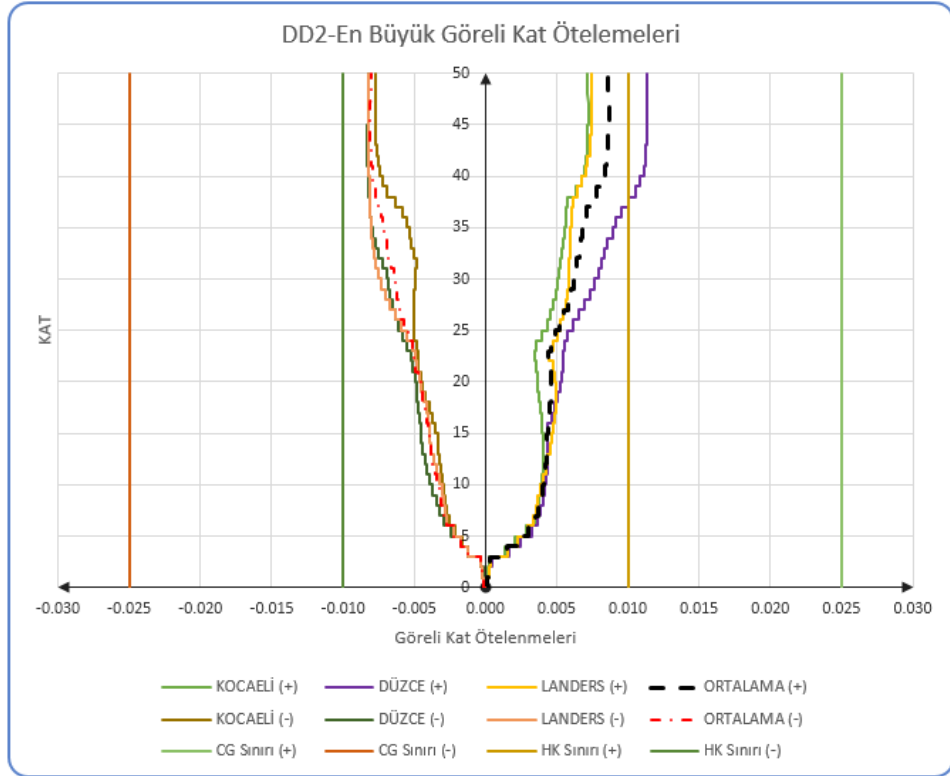
Şekil 4.36: DD-1, görelî kat ötelemeleri (BRB-1/3).



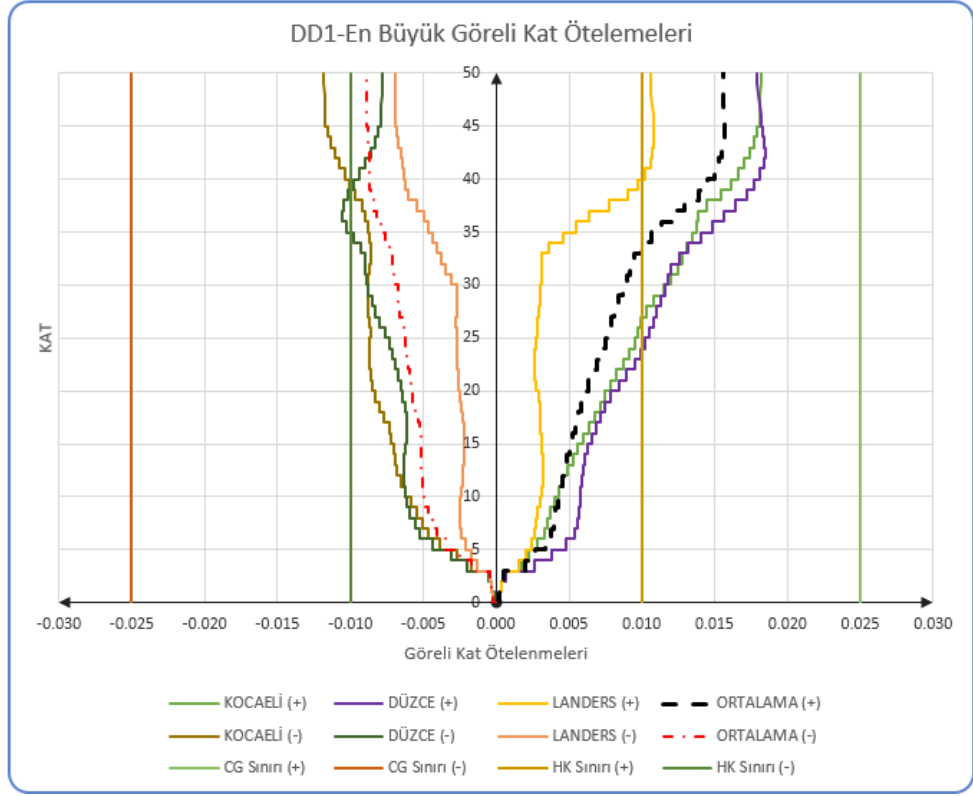
Şekil 4.37: DD-2, görelî kat ötelemeleri (BRB-1/3).



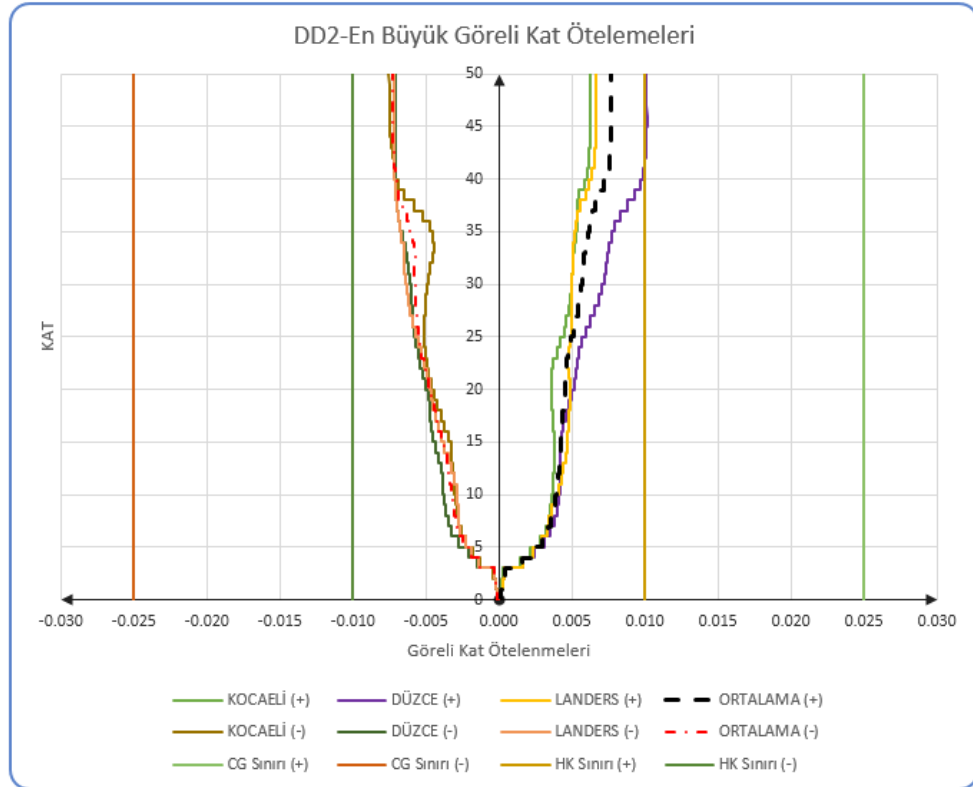
Şekil 4.38: DD-1, görelî kat ötelemeleri (BRB-1/2).



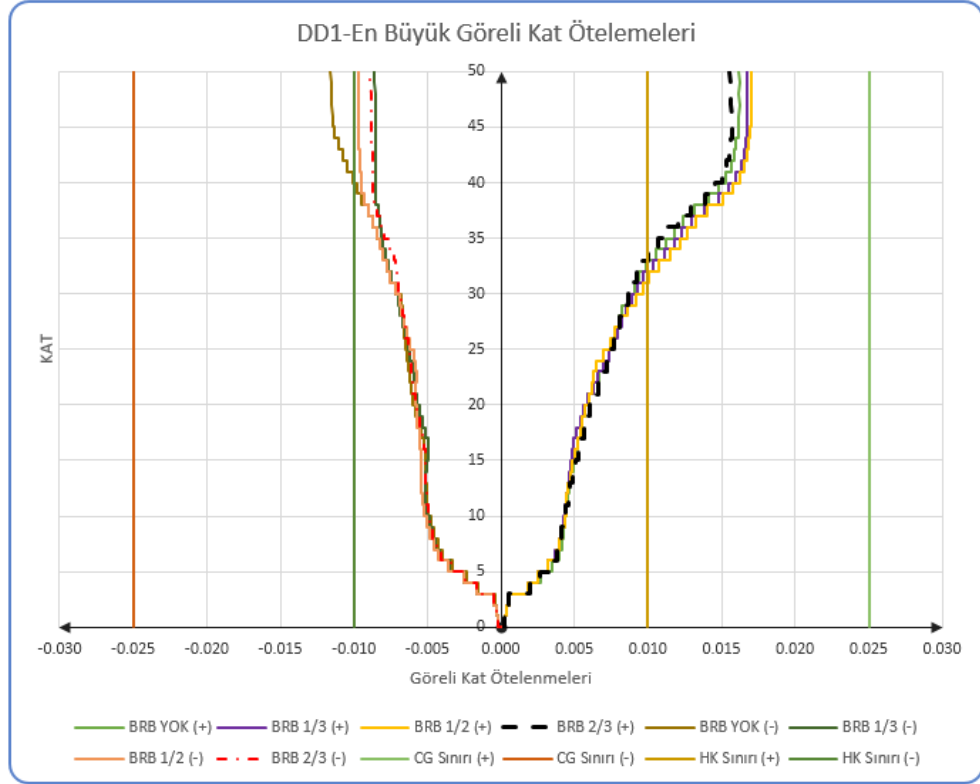
Şekil 4.39: DD-2, görelî kat ötelemeleri (BRB-1/2).



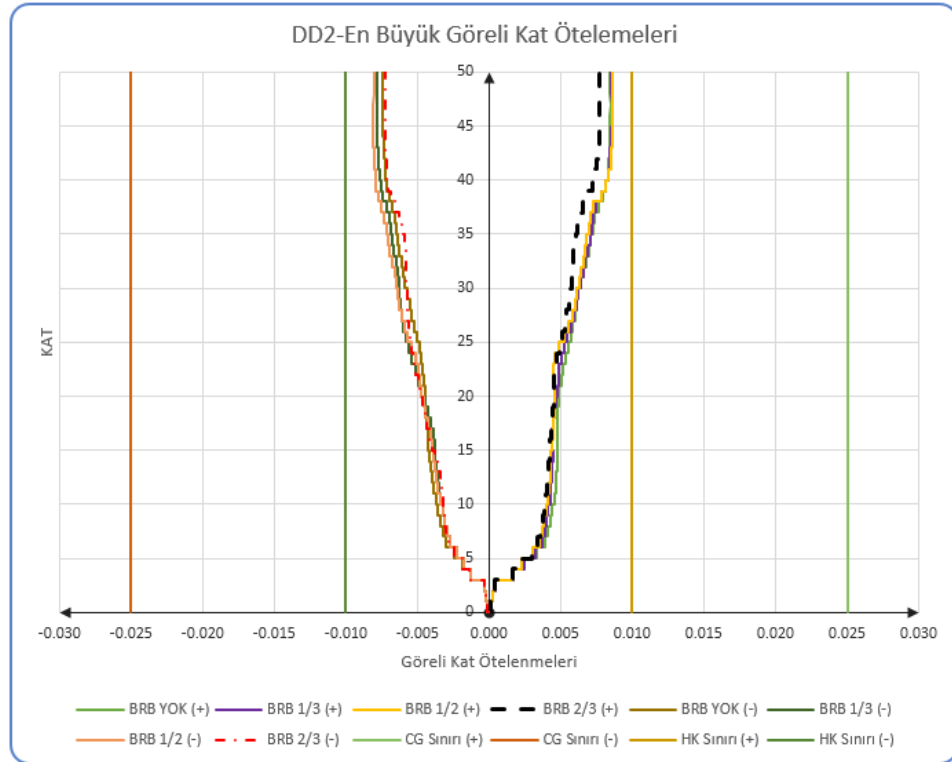
Şekil 4.40: DD-1, görelî kat ötelemeleri (BRB-2/3).



Şekil 4.41: DD-2, görelî kat ötelemeleri (BRB-2/3).



Şekil 4.42: DD-1, görelî kat ötelemeleri (farklı BRB konumları-ortalamalar).



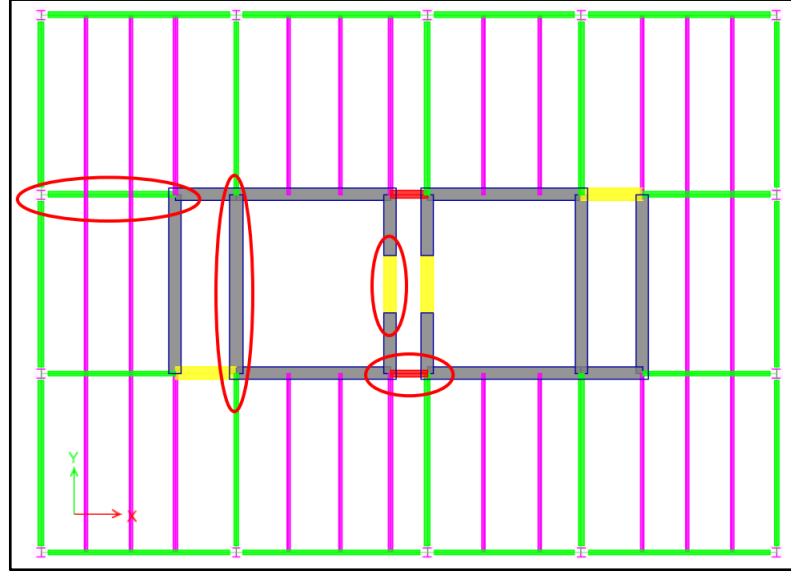
Şekil 4.43: DD-2, görelî kat ötelemeleri (farklı BRB konumları-ortalamalar).

4.4.2.3. Elemanların Çevrimsel Davranışı ve Enerji Dağılımları

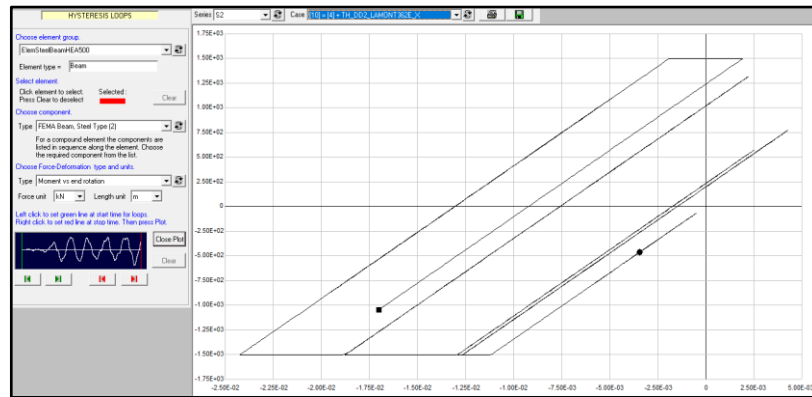
Analiz sonuçları hem genel olarak yüksek binanın davranışı hem elemanların davranışı açısından incelenmiştir. Binanın bodrum katlarında bulunan betonarme kolonlar ve kirişler ile bodrum perdelerinde her iki deprem seviyesinde de doğrusal ötesi davranış gözlemlenmemiştir.

Binanın perdeler ile birlikte ana taşıyıcı sistemini oluşturan kompozit kolonlar elastik ötesi sınırlara geçmemiştir.

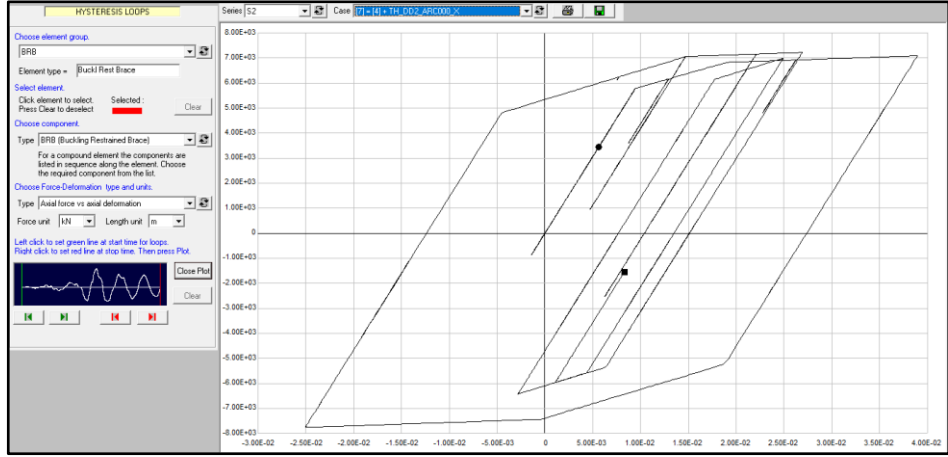
Bina analizinde kullanılan deprem kayıtları sonucu doğrusal olmayan davranış gösteren elemanların davranış eğrisi aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Davranış eğrileri gösterilen elemanların plan üzerindeki yerleri şekil 4.44.'de işaretlenmiştir.



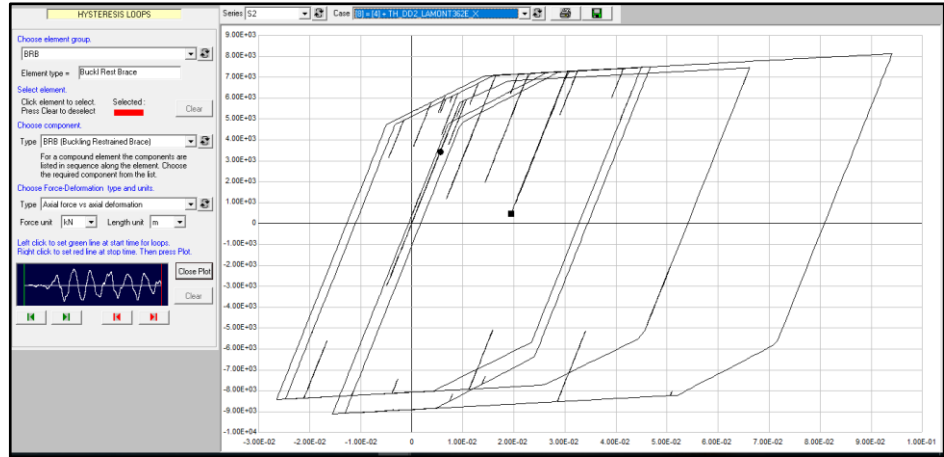
Şekil 4.44: Seçilen elemanların plan üzerinde gösterilmesi.



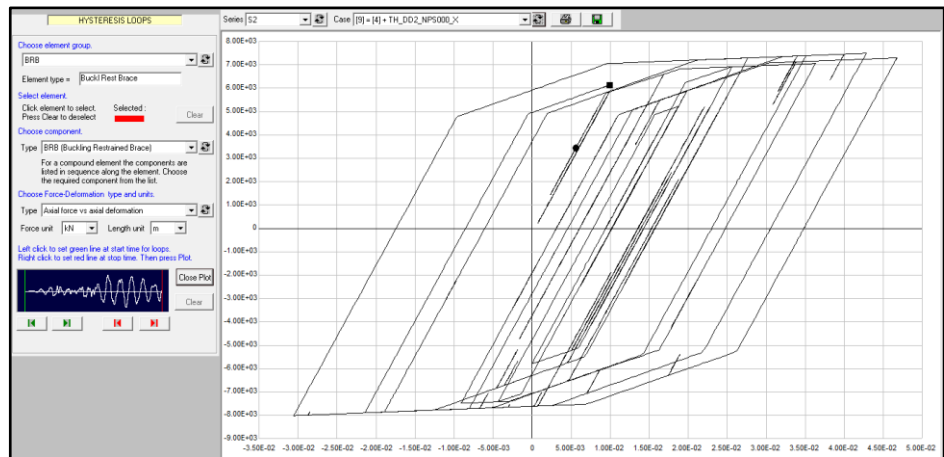
Şekil 4.45: HEA500 kirişinin davranış eğrisi, moment-dönme (Perform 3D).



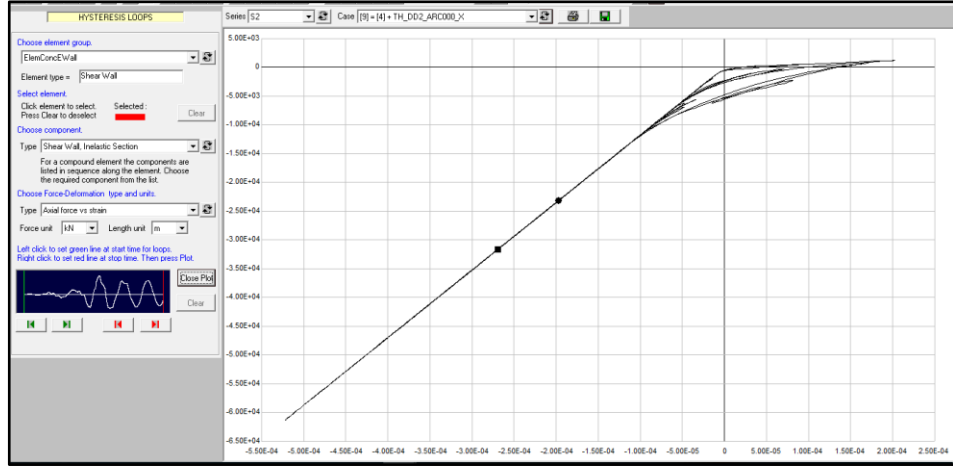
Şekil 4.46: BRB elemanın davranış eğrisi, eksenel kuvvet-eksenel birim şekil değiştirme, Kocaeli Depremi (Perform 3D).



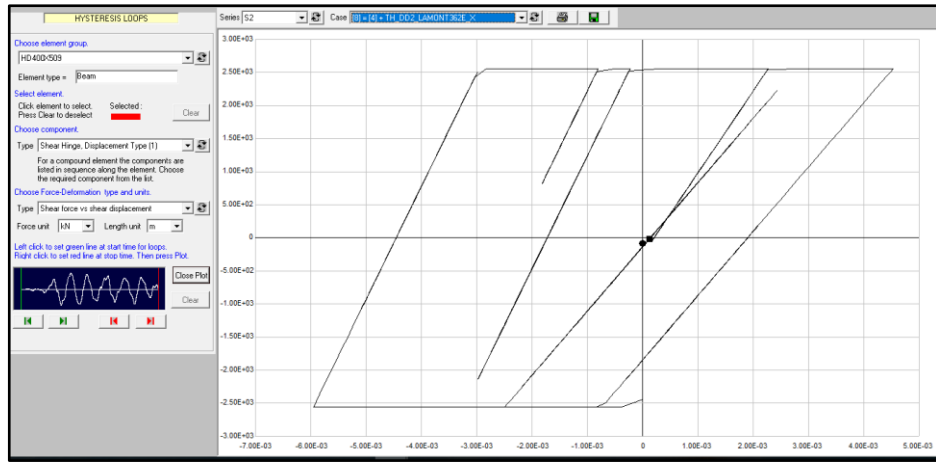
Şekil 4.47: BRB elemanın davranış eğrisi, eksenel kuvvet-eksenel birim şekil değiştirme, Düzce Depremi (Perform 3D).



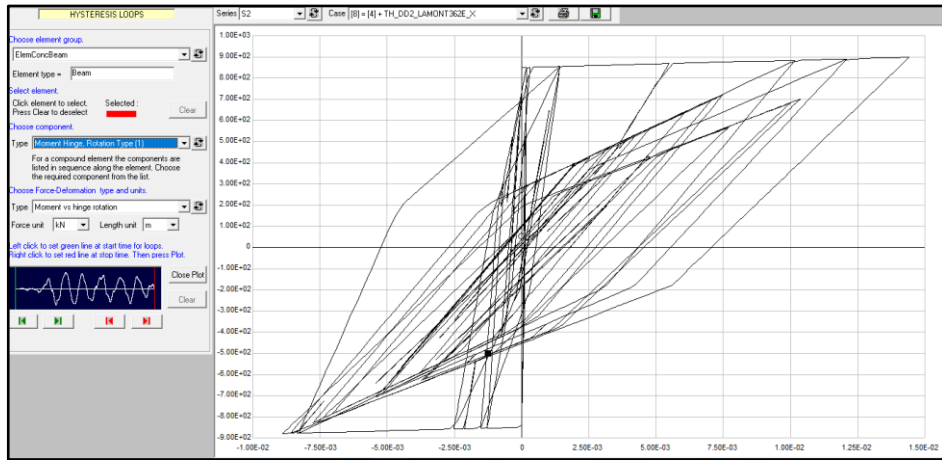
Şekil 4.48: BRB elemanın davranış eğrisi, eksenel kuvvet-eksenel birim şekil değiştirme, Landers Depremi (Perform 3D).



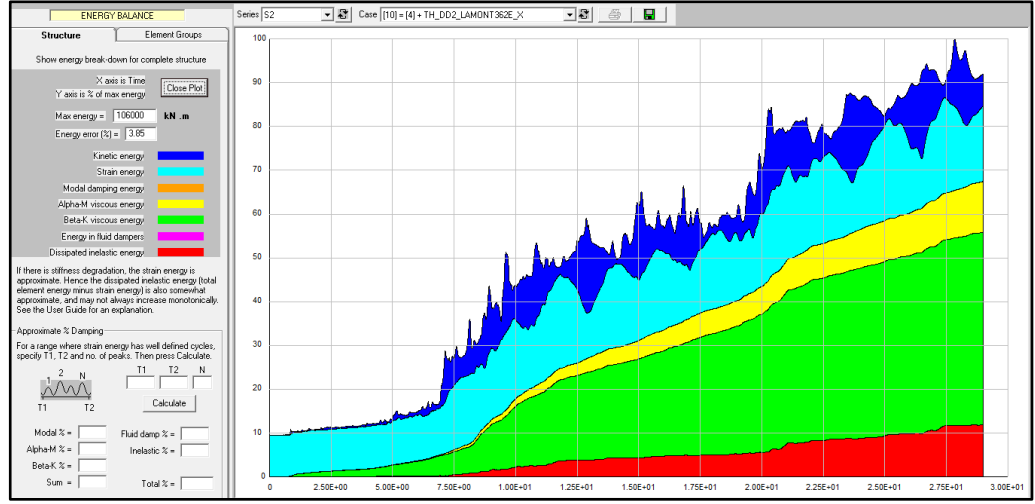
Şekil 4.49: Betonarme perde elemanın davranış eğrisi, eksenel kuvvet – eksenel birim şekil değiştirme (Perform 3D).



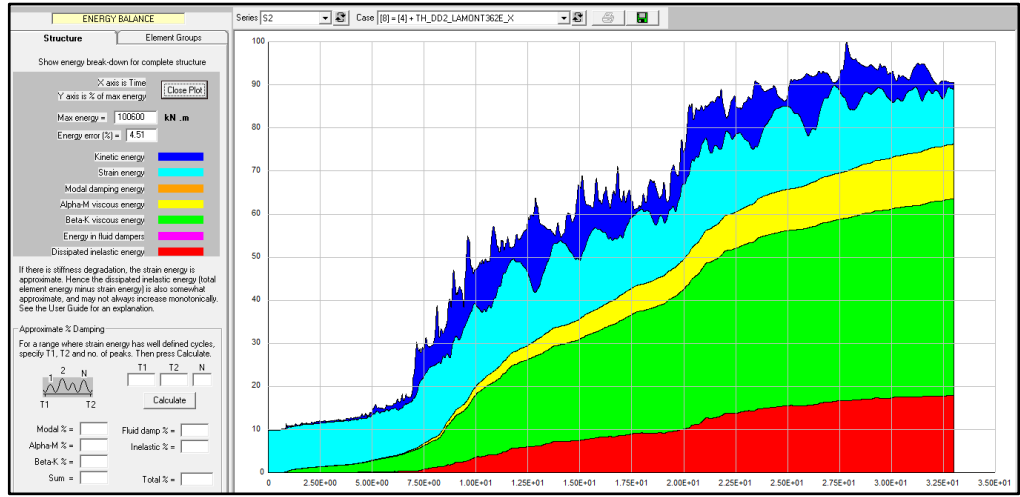
Şekil 4.50: Çelik bağ kirişi davranış eğrisi, kesme kuvveti - kesme deplasmanı (Perform 3D).



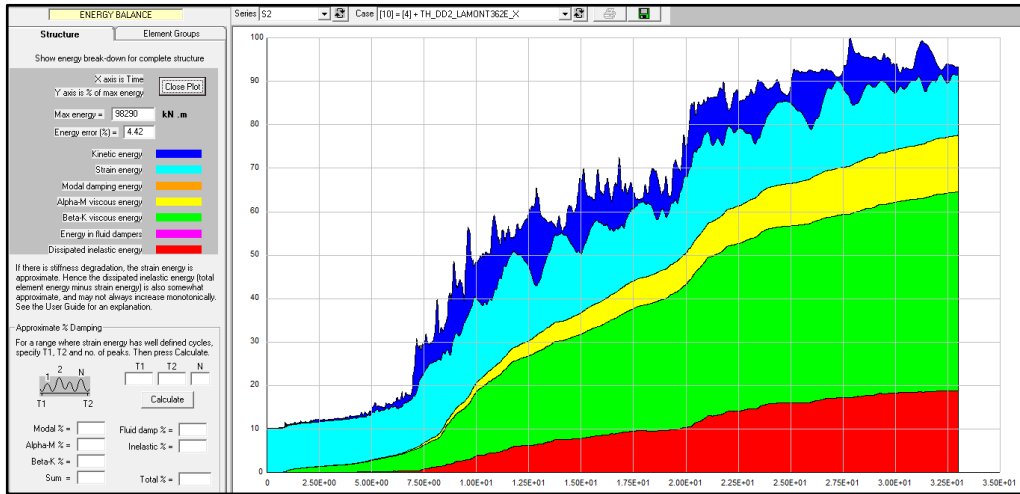
Şekil 4.51: Betonarme bağ kirişi davranış eğrisi, moment - dönme (Perform 3D).



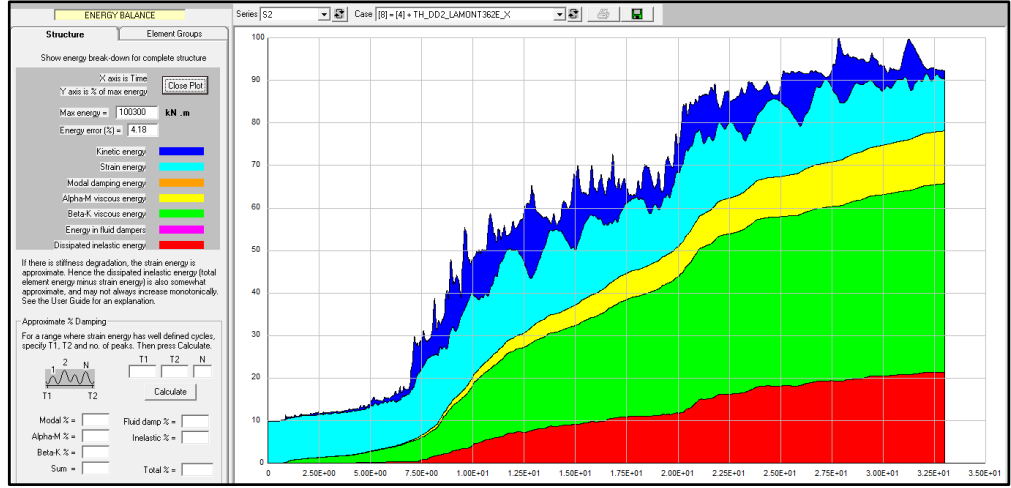
Şekil 4.52: Yüksek binadaki enerji dağılımı, BRB yok, (Perform 3D).



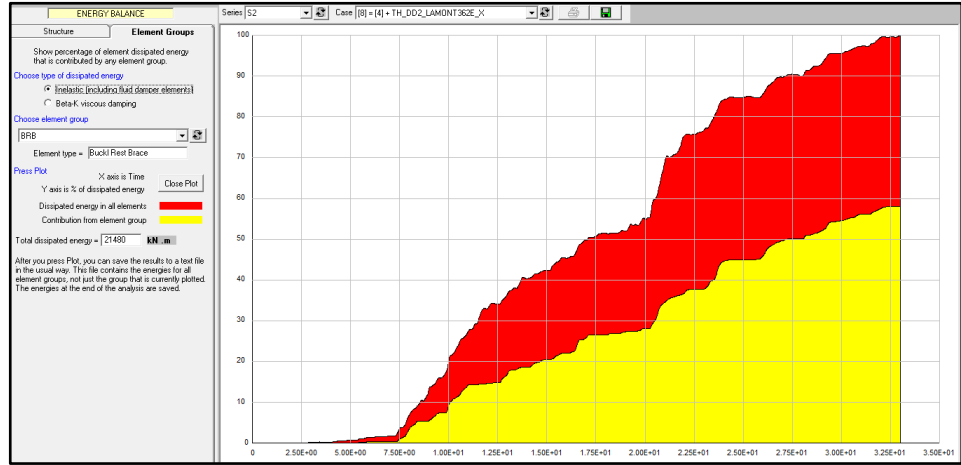
Şekil 4.53: Yüksek binadaki enerji dağılımı, BRB-1/3, (Perform 3D).



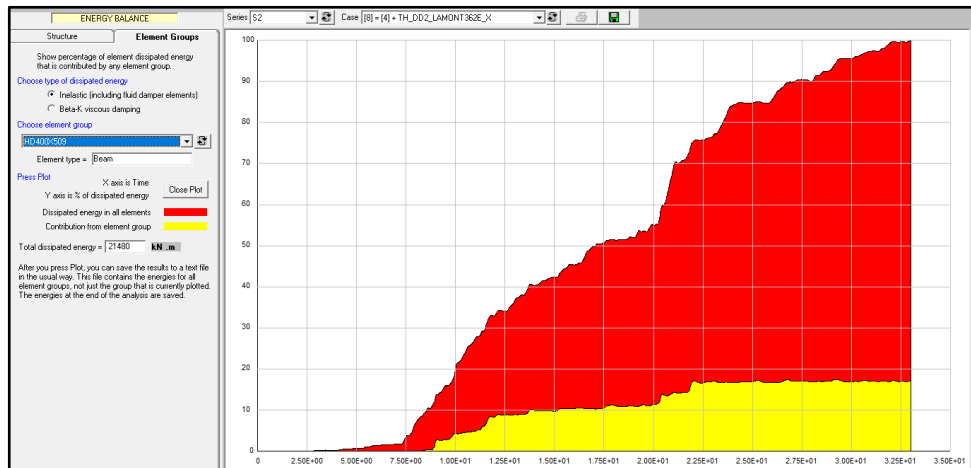
Şekil 4.54: Yüksek binadaki enerji dağılımı, BRB-1/2, (Perform 3D).



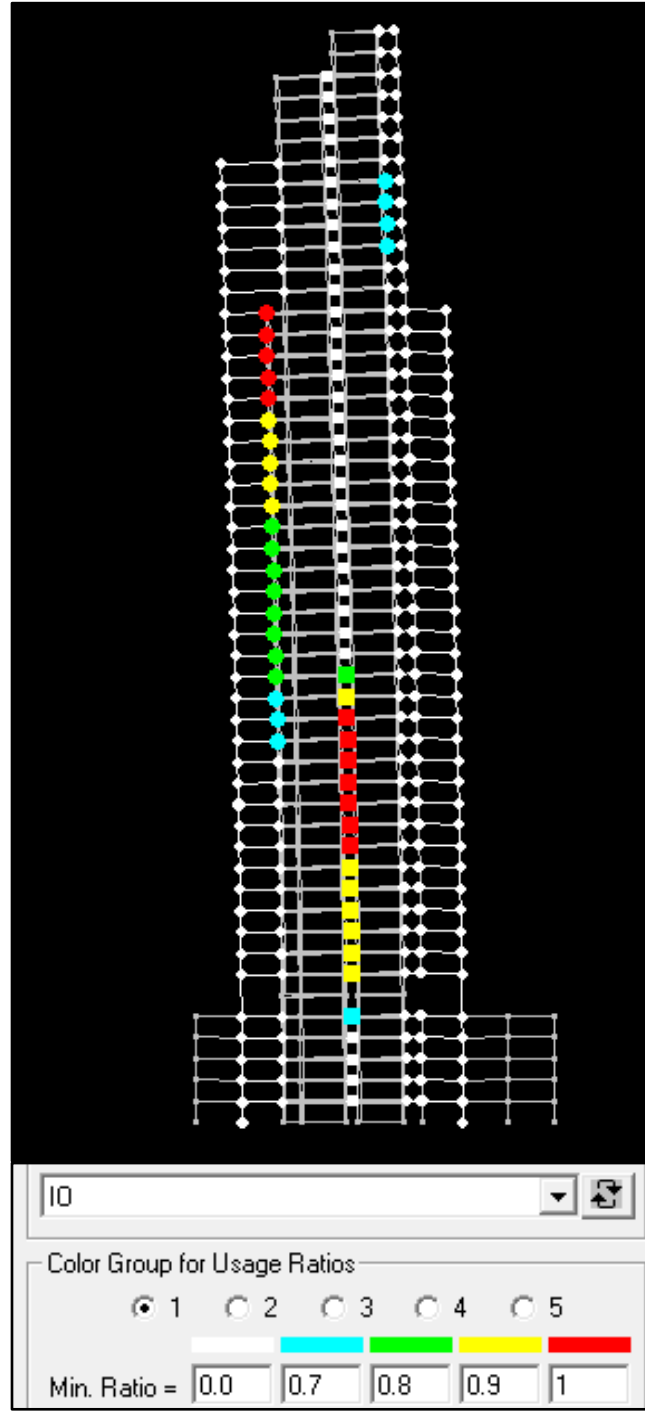
Şekil 4.55: Yüksek binadaki enerji dağılımı, BRB-2/3, (Perform 3D).



Şekil 4.56: Bütün elemanlardan elde edilen plastik (histeretik) enerjide BRB elemanların payı (sarı renk), BRB-2/3, (Perform 3D).



Şekil 4.57: Bütün elemanlardan elde edilen plastik (histeretik) enerjide çelik bağ kirişlerinin payı (sarı renk), BRB-2/3, (Perform 3D).



Şekil 4.58: Doğrusal ötesi davranışa geçen bazı kirişler (Perform 3D).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 50 katlı ve 204m yüksekliğinde yüksek bir binanın doğrusal olmayan davranışını incelenmiştir. Yapılan incelemeler DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerinde 3'er adet deprem kaydı kullanılarak yapılmıştır.

Binayı oluşturan bütün elemanların doğrusal olmayan davranışını dikkate alınmıştır. Eleman ve malzeme modelleri gerçeği en yakın şekilde yansıtacak biçimde oluşturulmuştur. Aynı bina 4 farklı şekilde modellenmiştir.

Birinci durumda yapıda dış destek (outrigger) elemanı bulunmamaktadır. Diğer üç durumda ise farklı kat seviyelerinde burkulması önlenmiş çapraz (BRB) elemanlar yapıya ilave edilmiştir. Bu farklı durumlar eleman ve bina davranışını açısından irdelenmiştir.

Yapılan analizlerde gömme çelik kompozit kolonların doğrusal ötesi davranışa geçmediği görülmüştür. Binanın kule kısmında bulunan diğer taşıyıcı elemanlarda elastik olmayan davranışlar gözlemlenmiştir. Betonarme perdelerde doğrusal ötesi birim şekil değiştirmeler meydana gelmiştir. Çelik bağ kirişlerde kesme kuvvetinden dolayı akma, betonarme kirişlerde moment etkisi altında akma olduğu görülmüştür. Kompozit kolonlar ile betonarme perdeleri birbirine bağlayan çelik kirişlerde, özellikle perdeye yakın uçlarda plastik mafsalların (dönme) oluştuğu görülmüştür.

Farklı kat seviyelerine yerleştirilen BRB elemanların göreceli kat ötelemelerini ve diğer elemanlarda oluşan doğrusal olmayan davranışını azalttığı sonucu ortaya çıkmıştır. Bina yüksekliğinin 1/3 mertebelerinde yerleştirilen BRB elemanların, 1/2 ve 2/3 yüksekliğinde yerleştirilen elemanlara göre bu davranışını daha az etkilediği belirlenmiştir.

BRB eleman yok iken, yapıdaki enerji dağılımları incelendiğinde elemanların akmalarından dolayı sönmölen enerji %10 mertebelerindedir. BRB elemanlar eklendiğinde ise bu oran %20 mertebelerine çıkmaktadır. Bu %20'lik kısmın %15'ini betonarme bağ kirişler, %15'ini çelik bağ kirişler, %5'ini diğer çelik kirişler, %65'ini ise BRB elemanlar sağlamaktadır.

Yapıda meydana gelen doğrusal ötesi davranış incelendiğinde yapının DD-1 deprem düzeyinde Can güvenliği performans seviyesini sağladığı söylenebilir.

Tez kapsamında yüksek bina taşıyıcı sisteminin doğrusal ötesi davranışını incelendiğinde, sistemdeki enerji ihtiyacının ve deplasman limitlerinin nasıl kontrol

edilebileceği görölmüştür. Deprem kayıtlarının sayıları artırılarak ve daha farklı taşıyıcı sistem yerleşimi yaparak analiz sonuçları çoğaltılabilir.

KAYNAKLAR

ACI 318-14, (2014), Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI 318-14, American Concrete Institute.

AISC 341, (2010), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, AISC 341-10, American Institute of Steel Construction Inc. Chicago, IL.

AISC 360, (2010), Specification for Structural Steel Buildings, AISC 360-10, American Institute of Steel Construction Inc. Chicago, IL.

Akbaş B., (2015), “Advanced Steel Structures-I Ders Notları”, Gebze Teknik Üniversitesi.

Akbaş B., (2015), “Advanced Steel Structures-II Ders Notları”, Gebze Teknik Üniversitesi.

ASCE/SEI 7, (2010), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE 7-10, American Society of Civil Engineers.

ASCE/SEI 41, (2013) Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, ASCE/SEI 41, American Society of Civil Engineers, Reston, VA.

ATC-72-1, (2010) Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings, ATC-72-1, Applied Technology Council, Redwood City, California.

CTBUH, (2017), Outrigger Design for High-Rise Buildings, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Chicago.

ÇSB, (2016), Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

DBYBHY, (2007), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındır ve İskan Bakanlığı.

Etabs, (2016), Integrated Building Design Software, Computers and Structures, Inc: Berkeley, California.

FEMA 274, (1997), NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 274, Federal Emergency Management Agency.

FEMA 356, (2000), Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356, American Society of Civil Engineers.

Günel M.H., Ilgın H.E. (2007), “A Proposal for the Classification of Structural Systems of Tall Buildings”, Building and Environment.

İYDBY, (2008), İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliği, Versiyon-IV, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, Çengelköy/İstanbul.

NEHRP, (2015), Seismic Design of Steel Buckling-Restrained Braced Frames, National Earthquake Hazards Reduction Program.

PEER, (2010), PEER Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER Report 2010/05, University of California, Berkeley, California.

Perform-3D, (2015), Nonlinear Analysis and Performance Assessment of 3D Structures, Computers and Structures, Inc: Berkeley, California.

Powell G.H., (2010), “Modeling for Structural Analysis Behavior and Basics”, Computers and Structures Inc.

Powell G.H., (2007), “Performance Based Design Using Nonlinear Analysis”, Computers and Structures Inc.

Rutherford C., (2011), “Perform Nonlinear Modeling of Star Seismic Powercat BRBs”, Rutherford and Chekene Consulting Engineer.

Sap2000, (2015), Integrated Software for Structural Analysis and Design, Computers and Structures, Inc: Berkeley, California.

TBDY, (2016), Taslak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Tuna Z., (2012) “Seismic Performance, Modeling and Failure Assessment of Reinforced Concrete Shear Wall Buildings”, PhD Dissertation, University of California Los Angeles.

Web 1, (2017), <https://goktugbeser.com/>, (Erişim Tarihi: 14/11/2017).

Web 2, (2017), <https://www.pinterest.com.au/>, (Erişim Tarihi: 15/11/2017).

Web 3, (2017), <https://urbanmatter.com/>, (Erişim Tarihi: 15/11/2017).

Web 4, (2017), <https://www.metalocus.es/>, (Erişim Tarihi: 16/11/2017).

Web 5, (2017), <http://www.seismicresilience.org.nz>, (Erişim Tarihi: 16/11/2017).

Web 6, (2017), <https://www.slideshare.net/>, (Erişim Tarihi: 01/12/2017).

Web 7, (2017), www.deprem.gov.tr/, (Erişim Tarihi: 05/12/2017).

ÖZGEÇMİŞ

Yasin Murat HOTHOT 1991 yılında Bakırköy/İstanbul’da doğdu. 2009 yılında başladığı Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2013 yılında bölüm üçüncüsü olarak başarıyla tamamladı. 2015 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Programı’nda öğrenim görmeye başlamıştır. Halen özel bir kurumda mühendislik ve yöneticilik yapmaktadır.