

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YÜKSEK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM
PROBLEMLERİNİN DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP
İLE ÇÖZÜMLENMESİ

KEMAL AKTAŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YÜKSEK YAPILARDA
TAŞIYICI SİSTEM PROBLEMLERİNİN
DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP
İLE ÇÖZÜMLENMESİ

KEMAL AKTAŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ AHMET ANIL DİNDAR

GEBZE

2019

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

**INELASTIC ANALYSIS OF
STRUCTURAL SYSTEM PROBLEMS IN
REINFORCED CONCRETE HIGH RISE
BUILDINGS**

KEMAL AKTAŞ
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE
AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAMME

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. AHMET ANIL DİNDAR

GEBZE

2019



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26.06.2019 tarih ve 2019/29 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 10.07.2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Kemal AKTAŞ'ın tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : DR. ÖĞRETİM ÜYESİ AHMET ANIL DİNDAR

ÜYE

: DR.ÖĞR.ÜYESİ ÜLGİN-MERT TUĞSAL
(GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ)

ÜYE

: DR.ÖĞR.ÜYESİ ALİ BOZER
(NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ)

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

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

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Yüksek yapıların deprem etkisi altındaki davranışını doğru ve gerçekçi olarak yansıtacak modelleme ve tasarım kriterleri oluşturmak amacıyla ‘Performansa Bağlı Tasarım’ kavramı geliştirilmiştir. Ülkemizde, yürürlüğe girmese dahi İYBDY (2008) ile başlayan ve TBDY (2018) ile birlikte resmiyete kavuşan performansa bağlı yüksek yapı tasarım kriterleri gündemimize girmiştir.

Bu tez çalışmasında, TBDY (2018)’de belirtilen tasarım kriterlerini sayısal uygulamalar üzerinde incelemek, ve ‘Tasarım I’ aşamasında yapılan yapısal ön boyutlandırmanın, ‘Tasarım III’ aşamasında yapılan doğrusal olmayan analiz ve performans kriterlerine göre yeterliliğini araştırmak amaçlanmıştır.

Tez kapsamında yüksek yapıların ve tasarım yönetmeliklerinin gelişim süreçleri, yüksek yapıların tasarım felsefesi ve taşıyıcı sistemleri hakkında özet bilgiler sunulmuştur. Ayrıca TBDY (2018)’nde belirtilen doğrusal olmayan davranış model ve tanımlamaları, analiz yöntemleri ve performans kriterleriyle ilgili bilgilere yer verilmiştir.

Örnek sayısal uygulamalar için 21x42m ebatında ve 144m (36 kat) yüksekliğinde, çekirdek perdeli çerçeve taşıyıcı sisteme sahip iki farklı yapı modellemesi oluşturulmuştur. Bu modellerde, yapı elemanı olarak kirişler ve perdeler için betonarme kesitler, kolonlar için betonarme ve kompozit kesitler kullanılmıştır. Modelleme ve analizler yapmak için, üç boyutlu hesaplama programları olan SAP2000 ve ETABS’den yararlanılmıştır.

Sayısal uygulamalar ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesi neticesinde, ön tasarımla yapılan yapısal boyutlandırmanın aşırı güvenli olduğu sonuçlarına varılmış ve bu alanda yapılacak çalışmaların geliştirilmesi amacıyla önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: TBDY (2018), Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz, Performansa Bağlı Tasarım, Yüksek Yapılar, ETABS, SAP2000.

SUMMARY

'The Performance-Based Design' concept has been developed in order to describe modeling and design criteria that accurately and realistically reflect the earthquake behavior of tall buildings. In our country, the studies associated with the design criteria for tall buildings depending performance-based have been started with İYBDY(2008) which does not come into force, and, became official with TBDY(2018).

In this thesis, it is aimed to examine the design criteria specified in TBDY(2018) on numerical applications, and to investigate the adequacy of the structural pre-dimensioning made in the 'Design-I' stage according to the nonlinear analysis and performance criteria made in the 'Design-III' stage.

In the thesis, brief information about the development processes of tall buildings and design regulations, design philosophy of tall buildings and structural systems are presented. In addition, information on nonlinear behavior models and definitions, analysis methods and performance criteria specified in TBDY(2018) are included.

For exemplary numerical applications, two building models with a 21x42m dimension and 144m (36-floors) height core frame carrier system were created. In these models, reinforced concrete sections for beams and curtains and reinforced concrete and composite sections for columns were used. In order to make modeling and analysis, SAP2000 and ETABS, which are 3D computation programs, were used.

As a result of the evaluation of the results obtained with numerical applications, it was concluded that the structural dimensioning made with the preliminary design was extremely safe and suggestions were made in order to develop the studies to be performed in this field.

Key Words: TBDY (2018), Nonlinear Time History Analysis, Performance-Based Design, Tall Buildings, ETABS, SAP2000.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimim sürecinde desteklerini benden esirgemeyen sevgili eşim Alev AKTAŞ ve dünyalar tatlısı kızım Meryem Rana AKTAŞ'a, ayrıca tez çalışması sürecinde benden desteğini esirgemeyen danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Anıl DİNDAR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xixi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
TABLOLAR DİZİNİ	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Tezin Bilime Katkısı	2
1.3. Tez Çalışmasında İzlenen Yol	2
2. YÜKSEK YAPILARA GENEL BAKIŞ	3
2.1. Tarihsel Gelişim Süreci ve Tanımı	3
2.2. Yüksek Yapı Tasarımında Çözülmesi Gereken Problemler	9
2.2.1. Narinlik	9
2.2.2. Sünme Ve Düşey Rölatif Kat Deformasyonları	9
2.2.3. Deprem Ve Rüzgar Etkileri	11
2.3. Yüksek Yapı Tasarım Felsefesi	11
2.4. Yüksek Yapıların Taşıyıcı Sistemleri	13
2.4.1. Merkezi Çekirdekli Taşıyıcı Sistemler	14
2.5. Yüksek Yapılarla İlgili Deprem Yönetmeliklerinin Gelişimi	17
2.6. Yüksek Yapı Tasarımında Kullanılan Analiz Yöntemi	18
3. YÜKSEK YAPILARDA PERFORMANSA BAĞLI TASARIM	19
3.1. Genel Tanım	19
3.2. Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri	21
3.2.1. Çevrim Eğrileri	22
3.2.2. Omurga Eğrisi	23
3.2.3. Yapı Malzeme Modelleri	27
3.2.4. Doğrusal Olmayan Plastik Davranış Modelleri	29
3.2.4.1. Yığılı Plastik Davranış (Plastik Mafsal) Modeli	29

3.2.4.2. Yayılı Plastik Davranış Modeli	31
3.2.4.3. Sonlu Elemanlar Süreklilik Modeli	31
3.3. Performans Hedefleri	32
3.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	34
3.5. Türkiye Deprem Yönetmeliği Yüksek Yapı Tasarım Aşamaları	36
3.5.1. Tasarım I Aşaması	38
3.5.2. Tasarım II Aşaması	39
3.5.3. Tasarım III Aşaması	40
3.6. Sönüm Matrisi	40
4. SAYISAL UYGULAMA	43
4.1. Uygulama İle İlgili Ön Bilgiler	43
4.1.1. Kullanılan Malzemeler;	43
4.1.1.1. Beton	43
4.1.1.2. Donatı	44
4.1.1.3. Çelik	44
4.1.2. Yükler	46
4.1.2.1. Sabit Yükler	46
4.1.2.2. Hareketli Yükler	46
4.1.2.3. Deprem Yükleri	46
4.1.2.4. Kullanılan Yük Kombinasyonları	50
4.2. Yapı Modeli -1'in Sayısal Uygulaması	51
4.2.1. Yapı Geometrisi;	51
4.2.2. Tasarım I Aşaması	55
4.2.2.1. Yapı Ön Bilgileri;	55
4.2.2.2. Yapı Elemanları	57
4.2.2.2.1. Kolonlar	57
4.2.2.2.2. Kirişler;	61
4.2.2.2.3. Perdeler;	63
4.2.2.3. Göreli Kat Öteleme Hesabı;	65
4.2.3. Tasarım III Aşaması	66
4.2.3.1. Yapı Eleman Modelleri	66
4.2.3.1.1. Kirişlerin Doğrusal Olmayan Davranış Modeli	66
4.2.3.1.2. Kolonların Doğrusal Olmayan Davranış Modeli	71
4.2.3.1.3. Perdelerin Doğrusal Olmayan Davranış Modeli	73

4.2.3.2. Rayleigh Sönüm Fonksiyonu	74
4.2.3.3. Performans Hedefleri	75
4.2.3.4. Analiz Sonuçları	76
4.2.3.4.1. Kirişlerin Değerlendirilmesi	76
4.2.3.4.2. Kolonların Değerlendirilmesi	80
4.2.3.4.3. Perdelerin Değerlendirilmesi	83
4.2.3.4.4. Görelî Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi	84
4.3. Yapı Modeli -2'nin Sayısal Uygulaması	85
4.3.1. Yapı Geometrisi;	85
4.3.2. Tasarım I Aşaması	86
4.3.2.1. Yapı Ön Bilgileri	86
4.3.2.2. Yapı Elemanları	88
4.3.2.2.1. Kolonlar	88
4.3.2.2.2. Kirişler	94
4.3.2.2.3. Perdeler	96
4.3.2.3. Görelî Kat Öteleme Hesabı	98
4.3.3. Tasarım III Aşaması	98
4.3.3.1. Yapı Eleman Modelleri	98
4.3.3.1.1. Kirişlerin Doğrusal Olmayan Davranış Modeli	99
4.3.3.1.2. Kolonların Doğrusal Olmayan Davranış Modeli	103
4.3.3.1.3. Perdelerin Doğrusal Olmayan Davranış Modeli	104
4.3.3.2. Rayleigh Sönüm Fonksiyonu	105
4.3.3.3. Performans Hedefleri	106
4.3.3.4. Analiz Sonuçları	107
4.3.3.4.1. Kirişlerin Değerlendirilmesi	107
4.3.3.4.2. Kolonların Değerlendirilmesi	112
4.3.3.4.3. Perdelerin Değerlendirilmesi	119
4.3.3.4.4. Görelî Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi	121
4.4. Yapı Tiplerinin Karşılaştırılması	122
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	124
 KAYNAKLAR	 129
ÖZGEÇMİŞ	130

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

A_c	: Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı
a_i	: Yatayda bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arası uzaklık
A_g	: Kompozit elemanın toplam enkesit alanı
A_g	: Kayıpsız enkesit alanı
a_o	: Bir doğrultuda sargı donatısı eksenlerinden ölçülen beton boyutu
A_{sh}	: Gözönüne alınan doğrultuda enine donatı alanı
A_s	: Çelik enkesit alanı
A_{sr}	: Boyuna donatı alanı
α_{se}	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
b_o	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan boyutu
b_w	: Kirişin gövde genişliği, perdenin gövde kalınlığı
d	: Kirişin faydalı yüksekliği
D	: Dairesel halka kesitlerde dış çap
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
D	: Dairesel kolon göbek çapı (spiral sargı donatısı eksenleri arası uzaklık)
d_b	: Donatı çeliğinin ortalama çapı
E	: Yapı malzemesinin elastisite modülü
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı
F_y	: Yapı çeliğinin karakteristik akma gerilmesi
F_{yc}	: Kolon eleman malzemesinin karakteristik akma gerilmesi
F_{yb}	: Kiriş eleman malzemesinin karakteristik akma gerilmesi
F_{ysr}	: Donatı çeliğinin karakteristik akma gerilmesi
F_c	: Pekleşme kuvveti değeri
F_r	: Artık kuvvet
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{ye}	: Donatının beklenen akma dayanımı

f_{ce}	: Betonun beklenen akma dayanımı
h	: Kesit yüksekliği
h_k	: Kiriş yüksekliği
h_o	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan boyutu
H_w	: Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
K_e	: Efektif elastik rijitlik
l_w	: Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
l_n	: Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği, kirişin kolon veya perde yüzleri arasında kalan serbest açıklık
L_c	: Kompozit kolonun boyu
L_s	: Kesme açıklığı
L_p	: Plastik mafsalsal boyu
$(M_p)_t$	: Perdenin taban kesitinde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin dayanım artışı gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi
$(M_d)_t$	: Perdenin taban kesitinde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan moment
$(M_r)_t$	: Perdenin taban kesitinde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü moment
M_{pc}	: Kolonun karakteristik plastik eğilme dayanımı
M_{pb}	: Kiriş-kolon birleşim bölgesinde birleşen kirişlerin her biri için karakteristik plastik moment dayanımlarının 1.1 R_a katı ile kiriş ucundaki olası plastik mafsaldaki kesme kuvvetinden dolayı kolon ekseninde meydana gelen ek eğilme momentinin toplamı ile belirlenen eğilme moment
M_{uv}	: YDKT yük bileşimleri esas alınarak kiriş uçlarında olası plastik mafsalsal noktasındaki kesme kuvveti nedeni ile kolon ekseninde meydana gelen ek eğilme moment
M_y	: Etkin akma moment
M_p	: Plastik moment kapasitesi
N_{dm}	: G+Q+E yük bileşeni altında eksenel basınç kuvveti
N_d	: Kirişteki eksenel basınç kuvveti

n	: Hareketli yük katılım katsayısı
P_{uc}	: Arttırılmış deprem etkileri gözönüne alınarak YDKT yük birleşimleri için hesaplanan gerekli eksenel basınç kuvveti.
P_{no}	: Kompozit kolon enkesitinin eksenel basınç basınç kuvveti dayanımı
P_n	: Kompozit kolonlarda burkulma etkisinden dolayı azaltılmış kolon eksenel kuvvet dayanımı
P_e	: Elastik burkulma yükü
P_r	: Gerekli enkesit kuvvet dayanımı
P_{ye}	: Çelik elemanın beklenen eksenel akma kuvveti
P	: Maksimum plastik dönme durumunda kolondaki eksenel kuvvet
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_y	: Olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı
S_{DS}	: Gözönüne alınan zemin sınıfı için kısa periyotlu spektral ivme
S_{D1}	: 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
$S_{a(g)}$	: Yerçekimi ivmesi cinsinden spektral ivme değeri
S_{ae}	: Elastik spektral ivme
s	: Enine donatı aralığı
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	: Kalınlık
t_w	: Gövde kalınlığı
V_e	: Kolon, kiriş, birleşim bölgesi ve perdede enine donatının hesabında esas alınan kesme kuvveti
V_d	: Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti
V_r	: Kolon kiriş veya perde kesitinin kesme kuvveti dayanımı
w_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı

ω_1	: Birinci sınır değeri için bina açısal frekansı
ω_2	: İkinci sınır değeri için bina açısal frekans
W_{pb}	: Kiriş plastik mukavemet momenti
W_{pc}	: Kolon plastik mukavemet momenti
β_v	: Perdede kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı
δ_p	: Plastik şekil değiştirme
δ_{pc}	: Pekleşme sonrası şekil değiştirme
δ_c	: Pekleşme şekil değiştirme
δ_r	: Artık kuvvet için şekil değiştirme
δ_u	: Maksimum şekil değiştirme
Θ_y	: Akma dönmesi
φ_y	: Etkin akma eğriliği
η	: Kolon ve kirişlerde $\eta=1$ perdelerde ise $\eta=0.5$ alınacaktır.
φ_u	: GÖ performans düzeyinde toplam eğrilik
$\Theta_p^{(GO)}$	: GÖ performans düzeyinde kolon ve kirişlerin plastik dönme değeri
α	: Rayleigh sönüm fonksiyonu için kütle matrisi katsayısı
β	: Rayleigh sönüm fonksiyonu için rijitlik matrisi katsayısı
ζ_1	: Birinci sınır değeri için bina sönüm oranı
ζ_2	: İkinci sınır değeri için bina sönüm oranı
ζ_i	: Bina titreşim periyotlarına karşı gelen bina sönüm fonksiyonu
ϵ_{su}	: Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
ρ_{sh}	: Gözönüne alınan doğrultuda hacimsel donatı oranı
$\epsilon_c^{(GO)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_s^{(GO)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı birim uzaması sınırı
$\epsilon_s^{(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı birim uzaması sınırı
$\epsilon_s^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı birim

	uzaması sınırı
Δ_t	: Çelik elemanın eksenel çekme dayanımına karşı gelen akma yerdeğiştirmesi
Δ_c	: Çelik elemanın eksenel basınç dayanımına karşı gelen akma yerdeğiştirmesi
[C]	: Bina sönüm matrisi
[K]	: Bina rijitlik matrisi
[M]	: Bina kütle matrisi
ACI	: American Concrete Institute
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
CG	: Can Güvenliğı
CTBUH	: Council on Tall Buildings and Urban Habitat
DD	: Deprem Düzeyi
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
HK	: Hemen Kullanım
KK	: Kesintisiz Kullanım
ŞGDT	: Şekil Değıştirmeye Göre Tasarım
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Keops Piramiti, Mısır.	3
2.2: Hongfo Pagodası, Çin.	4
2.3: Yüksek yapı sınıflandırması.	5
2.4: Home Insurance, Chicago.	6
2.5: Ingalls, Ohio.	6
2.6: 860-880 Lake Shore Drive, Chicago.	7
2.7: John Hancock Center, Illinois.	7
2.8: Hong Kong Bank Headquarters, Hong Kong.	8
2.9: Dünyada yapılmış yüksek yapılar.	9
2.10: Betonda yükleme ve boşaltma altında meydana gelen sünme eğrisi.	10
2.11: Yapıların yanal etkiler altında davranış biçimleri.	12
2.12: Yanal deplasmana bağlı olarak, düşey yüklerin meydana getirdiği 2.mertebe moment etkileri.	13
2.13: Yüksek yapılar için geliştirilen taşıyıcı sistemleri.	14
2.14: Çerçevesiz perde sistemlerinin birlikte çalışma prensibi.	15
2.15: Boşluklu perde sistemi.	15
2.16: Simetrik olmayan yapıda burulma etkisi.	16
2.17: Çekirdek merkezli yapı sistemi örneği.	16
2.18: Dış destekli yapı sisteminin basit olarak düzenlenmiş çalışma prensibi.	17
3.1: a) Bilinear davranış modeli, b) Peak-oriented davranış modeli, c) Pinching davranış modeli.	22
3.2: Döngüsel bozulmaları dikkate alan çevrim modelleri.	23
3.3: Başlangıç omurga eğrisi.	24
3.4: Bir çelik kiriş için yapılan döngüsel ve monotonik yükleme sonrası elde edilen Moment-Dönme ilişkisi.	25
3.5: Döngüsel bozulmayı içeren analitik modeller.	25
3.6: Donatı çeliği Gerilme-Şekil Değiştirme grafiği.	27
3.7: Sargısız ve sargılı betonun doğrusal olmayan davranışlarını yansıtan analitik modeller.	28
3.8: Plastik mafsallı modeller.	29
3.9: Kolon için tanımlanmış yığılı plastik mafsallı modeli.	30

3.10:	Yayıllı plastik davranış modeli (kesit hücresi modeli).	31
3.11:	Sonlu elemanlar süreklilik modeli.	32
3.12:	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu.	37
3.13:	Düşey elastik tasarım ivme spektrumu.	37
3.14:	Rayleigh sönüm fonksiyonu.	42
4.1:	C50/60 sargısız betonunun gerilme-şekil değiştirme grafiği.	44
4.2:	B420C donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafiği.	45
4.3:	S355 profil çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafiği.	46
4.4:	DD-1 ve DD-2 yatay elastik deprem spektrumları.	47
4.5:	Seçilen depremlerin DD-1 yatay elastik spektruma göre ölçeklendirilmesi.	48
4.6:	Landers_LCN 260 ölçeklendirilmiş ivme kaydı (RSN879).	48
4.7:	Landers_LCN 345 ölçeklendirilmiş ivme kaydı (RSN879).	49
4.8:	Kocaeli_IZT 090 ölçeklendirilmiş ivme kaydı (RSN1165).	49
4.9:	Kocaeli_IZT 180 ölçeklendirilmiş ivme kaydı (RSN1165).	49
4.10:	Duzce_1061 E ölçeklendirilmiş ivme kaydı (RSN1614).	50
4.11:	Duzce_1061 N ölçeklendirilmiş ivme kaydı (RSN1614).	50
4.12:	1.Katın kat planı.	52
4.13:	B aksından alınan kesit.	53
4.14:	3 boyutlu görünüş.	54
4.15:	C140 betonarme kolonu.	58
4.16:	C115 betonarme kolonu.	58
4.17:	C90 betonarme kolonu.	58
4.18:	C70 betonarme kolonu.	59
4.19:	C140 kompozit kolonu P-Mx, P-My diyagramları.	59
4.20:	C115 betonarme kolonu P-Mx, P-My diyagramları.	59
4.21:	C90 betonarme kolonu P-Mx, P-My diyagramları.	60
4.22:	C70 betonarme kolonu P-Mx, P-My diyagramları.	60
4.23:	Beam out, Beam_in_1-9 kirişlerinin kesit detayları.	62
4.24:	Beam in_10-18, Beam in_19-27, LB(bağ kirişi) kirişlerinin kesit detayları.	62
4.25:	Beam in_28-36 kirişinin kesit detayları.	62
4.26:	Betonarme perdenin kesit dizaynı.	63
4.27:	Analiz sonucu elde edilen görelî kat ötelemeleri.	66
4.28:	Beam_out, Beam_in_1-9 kirişlerinin Moment-Eğrilik ilişkisi (SAP2000).	67
4.29:	Beam_in_10-18, Beam_in_19-27, LB bağ kirişi Moment-Eğrilik ilişkisi.	67

4.30: Beam_in_28-36 bağ kirişi Moment-Eğrilik ilişkisi (SAP2000).	68
4.31: Beam_out, Beam_in_1-9 kirişlerinin Moment-Dönme eğrisi.	70
4.32: Beam_in_10-18, Beam_in_19-27, LB (bağ kirişi) kirişinin Moment-Dönme eğrisi.	70
4.33: Beam_in_28-36 kirişinin Moment-Dönme eğrisi.	71
4.34: C140 kolonun parametrik PMM akma yüzeyi eğrisinde kullanılması için girilen eksenel kuvvet ve eğilme moment değerleri.	72
4.35: C140 kolonu parametrik PMM akma yüzeyi eğrisi.	72
4.36: C140 kolonunun omurga eğrisi.	73
4.37: Betonarme kolonlarda sargılanmış C50/60 betonunun Gerilme-şekil değiştirme grafiği.	73
4.38: Perde başlık kolonları için sargılanmış C50/60 betonunun Gerilme-şekil değiştirme grafiği.	74
4.39: Rayleigh sönüm fonksiyonu.	75
4.40: LB bağ kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).	77
4.41: LB bağ kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1614DUZCE).	77
4.42: LB bağ kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).	77
4.43: Beam out kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).	78
4.44: Beam out kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1614DUZCE).	78
4.45: Beam out kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).	78
4.46: Beam in 1-9 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).	79
4.47: Beam in 10-18 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).	79
4.48: Beam in 10-18 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCELİ).	79
4.49: Beam in 19-27 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).	80
4.50: C140 Kolonu $M_x-\theta$ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).	80
4.51: C140 Kolonu $M_y-\theta$ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).	81
4.52: C115 Kolonu $M_x-\theta$ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).	81
4.53: C115 Kolonu $M_y-\theta$ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).	81
4.54: C90 Kolonu $M_x-\theta$ çevrimsel grafiği (RSN1165KOCAELİ).	82
4.55: C90 Kolonu $M_y-\theta$ çevrimsel grafiği (RSN1165KOCAELİ).	82
4.56: C70 Kolonu $M_x-\theta$ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).	82
4.57: C70 Kolonu $M_y-\theta$ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).	83
4.58: Sargılanmış C50/60 betonunun katlara göre birim kısalması.	83

4.59:	S420 donatı çeliğinin katlara göre birim uzamaları.	84
4.60:	X-doğrultusunda görelî kat ötelemeleri.	84
4.61:	Y-doğrultusunda görelî kat ötelemeleri.	85
4.62:	C90 kompozit kolonu.	89
4.63:	C80 kompozit kolonu.	89
4.64:	C70 kompozit kolonu.	89
4.65:	C60 kompozit kolonu.	89
4.66:	C90 kompozit kolonu P-Mx diyagramı.	90
4.67:	C90 kompozit kolonu P-My diyagramı.	90
4.68:	C80 kompozit kolonu P-My diyagramı.	91
4.69:	C80 kompozit kolonu P-My diyagramı.	91
4.70:	C70 kompozit kolonu P-Mx diyagramı.	92
4.71:	C70 kompozit kolonu P-My diyagramı.	92
4.72:	C60 kompozit kolonu P-Mx diyagramı.	93
4.73:	C60 kompozit kolonu P-Mx diyagramı.	93
4.74:	Beam out, Beam_in_1-9, Beam_in_19-27, Beam_in_28-36 kirişlerinin kesit detayları.	95
4.75:	Beam_in_10-18 kirişlerinin kesit detayları.	95
4.76:	Beam_in_10-18 kirişlerinin kesit detayları.	95
4.77:	Analiz sonucu elde edilen görelî kat ötelemeleri.	98
4.78:	Beam_out, Beam_in_1-9, Beam_in_19-27, Beam_in_28-36 kirişlerinin Moment-Eğrilik ilişkisi (SAP2000).	99
4.79:	Beam_in_10-18 kirişi Moment-Eğrilik ilişkisi.	100
4.80:	LB bağ kirişi Moment-Eğrilik ilişkisi (SAP2000).	100
4.81:	Beam_out, Beam_in_1-9, Beam_in_19-27, Beam_in_28-36 kirişlerinin Moment-Dönme eğrisi.	102
4.82:	Beam_in_10-18 kirişinin Moment-Dönme eğrisi.	102
4.83:	LB bağ kirişinin Moment-Dönme eğrisi.	102
4.84:	Kompozit kolonlarda sargılanmış C50/60 betonunun Gerilme-Şekil değiştirme grafiğı.	103
4.85:	S355 çeliğı Gerilme-Şekil değiştirme grafiğı.	104
4.86:	Perde başlık kolonları için sargılanmış C50/60 betonunun Gerilme-Şekil değiştirme grafiğı.	105
4.87:	Rayleigh sönüm fonksiyonu.	105

4.88: LB bağ kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).	107
4.89: LB bağ kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1614DUZCE).	108
4.90: LB bağ kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).	108
4.91: Beam out kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).	108
4.92: Beam out kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1614DUZCE).	109
4.93: Beam out kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).	109
4.94: Beam in 1-9 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).	109
4.95: Beam in 10-18 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).	110
4.96: Beam in 10-18 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1614DUZCE).	110
4.97: Beam in 10-18 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).	110
4.98: Beam in 19-27 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).	111
4.99: Beam in 19-27 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1614DUZCE).	111
4.100: Beam in 19-27 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).	111
4.101: Beam in 28-36 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).	112
4.102: Beam in 28-36 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).	112
4.103: C90 Kolonu P-Mx grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.	113
4.104: C90 Kolonu P-My grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.	113
4.105: C80 Kolonu P-Mx grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.	114
4.106: C80 Kolonu P-My grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.	114
4.107: C70 Kolonu P-Mx grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.	115
4.108: C70 Kolonu P-My grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.	115
4.109: C60 Kolonu P-Mx grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.	116
4.110: C60 Kolonu P-My grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.	116
4.111: C90 Kolonu Mx- Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).	117
4.112: C90 Kolonu My- Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).	117
4.113: C80 Kolonu Mx- Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).	117
4.114: C80 Kolonu My- Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).	118
4.115: C70 Kolonu Mx- Θ çevrimsel grafiği (RSN1165KOCAELİ).	118
4.116: C70 Kolonu My- Θ çevrimsel grafiği (RSN1165KOCAELİ).	118
4.117: C60 Kolonu Mx- Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).	119
4.118: C60 Kolonu My- Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).	119
4.119: Sargılanmış C50/60 betonunun katlara göre birim kısalması.	120
4.120: B420C donatı çeliğinin katlara göre birim uzamaları.	120

4.121: X-doğrultusunda görelî kat ötelemeleri.	121
4.122: Y-doğrultusunda görelî kat ötelemeleri.	121
4.123: İki yapı tipinin X-doğrultusunda ortalama görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması.	122
4.124: İki yapı tipinin Y-doğrultusunda ortalama görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması.	122
4.125: İki yapı tipinde bulunan perdelerin başlık kolonlarında, sargılı C50/60 betonunda meydana gelen ortalama birim kısaltmalarının karşılaştırılması.	123
4.126: İki yapı tipinde bulunan perdelerin başlık kolonlarında, S420 donatı çeliğinde meydana gelen ortalama birim uzamaların karşılaştırılması.	123

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Ortalama (beklenen) malzeme dayanımları.	27
3.2: Donatı çelik sınıflarına göre sınır değerler.	28
3.3: Yüksek yapılar için performans hedefleri ve değerlendirme/tasarım yaklaşımları.	34
3.4: Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Katsayıları.	38
3.5: Uzun Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Katsayıları.	38
3.6: Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanları için II. Aşamada Uygulanacak Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları.	39
4.1: C50/60 sargısız betonunun mekanik özellikleri.	44
4.2: B420C donatı çeliğinin mekanik özellikleri.	45
4.3: S355 profil çeliğinin mekanik özellikleri.	45
4.4: Sabit ve hareketli yükler.	46
4.5: Tespit edilen DD-1 ve DD-2 yatay elastik spektrumları.	47
4.6: Seçilen 3 depremin ivme kayıtlarının özellikleri hakkında bilgiler.	48
4.7: Yapı ön bilgileri.	56
4.8: Minimum taban kesme kuvveti.	56
4.9: Sünek olmayan davranışlar için dinamik büyütme katsayıları.	56
4.10: Perdelerin devrilme momentlerini karşılama oranı hesabı.	57
4.11: Yapıda kullanılan kolonların detayları.	57
4.12: Yapıda kullanılan kolonların detayları.	58
4.13: Betonarme kolonların kesme dayanım ve kontrolü.	61
4.14: Kiriş detayları ve enkesitleri.	61
4.15: Kiriş moment dayanımları ve kontrolleri.	63
4.16: Kirişlerin kesme dayanımları ve kontrolleri.	63
4.17: Perde kesme dayanımları ve kontrolleri.	65
4.18: Perde kesme dayanımları ve kontrolleri.	65
4.19: Perde moment dayanımları ve kontrolleri.	65
4.20: Kirişlerin eğrilikleri ve hesaplanan en büyük plastik dönmeler.	69
4.21: Kirişlerin plastik mafsal omurga eğri değerleri ve etkin kesit rijitlik oranları.	69
4.22: Kirişlerin dönme değerleri için performans düzeyi sınır durumları.	76
4.23: Perdelerde başlık kolonları için sargılanmış C50/60 betonu ve S420 donatı	

çeliğinin birim şekil değiştirmeleri için performans düzeyi sınır durumları.	76
4.24: Yapı ön bilgileri.	87
4.25: Minimum taban kesme kuvveti.	87
4.26: Sünek olmayan davranışlar için dinamik büyütme katsayıları.	87
4.27: Perdelerin devrilme momentlerini karşılama oranı hesabı.	88
4.28: Yapıda kullanılan çelik gömme kompozit kolonların detayları.	88
4.29: Kompozit kolonların kesme dayanım ve kontrolü.	94
4.30: Kiriş detayları ve enkesitleri.	94
4.31: Kiriş moment dayanımları ve kontrolleri.	96
4.32: Kirişlerin kesme dayanımları ve kontrolleri.	96
4.33: Perde kesme dayanımları ve kontrolleri.	97
4.34: Perde kesme dayanımları ve kontrolleri.	97
4.35: Perde moment dayanımları ve kontrolleri.	97
4.36: Kirişlerin eğrilikleri ve hesaplanan en büyük plastik dönmeler.	101
4.37: Kirişlerin plastik mafsallarda omurga eğri değerleri ve etkin kesit rijitlik oranları.	101
4.38: Kirişlerin dönme değerleri için performans düzeyi sınır durumları.	106
4.39: Perdelerde başlık kolonları için sargılanmış C50/60 betonu ve S420 donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri için performans düzeyi sınır durumları.	106

1. GİRİŞ

Son yıllarda dünyadaki gelişmelere paralel olarak ülkemizde, yüksek yapı inşası hızla artış göstermiştir. Bu gelişmeler beraberinde yüksek yapılarla ilgili olarak farklı tasarım ve değerlendirme kriterlerini gündeme getirmiştir.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliği (DBYBHY-2007), kapasite tasarım ilkesine bağlı olarak, binaların deprem tasarımına rehberlik etmiştir. Bu yönetmelikte, tasarım ve değerlendirmelerin doğrusal analiz yöntemleriyle yapılması istenmiştir. Yapı elemanlarının, ön tasarım kuralları ile sünek bir davranışa sahip olabileceği varsayımına bağlı olarak yapıya gelen deprem etkisi, taşıyıcı sistem türünü dikkate alarak tanımlanan süneklilik katsayılarıyla azaltılmasına müsaade edilmiştir. Oldukça kaba bir yaklaşım olan bu yöntem, yüksek yapıların deprem etkisi altındaki doğrusal olmayan davranışını doğru yansıtmakta yetersiz kalmıştır.

Yüksek yapıların deprem etkisi altındaki davranışını doğru ve gerçekçi olarak yansıtmak modelleme ve tasarım kriterleri oluşturmak amacıyla dünyada ve ülkemizde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde ‘Performansa Bağlı Tasarım’ kavramı yapı mühendisliği dünyasına girmiştir. Yapının ve elemanların doğrusal olmayan davranışını yansıtmak modelleme tekniklerini, analiz yöntemlerini ve performans kriterlerini kapsayan bu tasarım yöntemiyle daha gerçekçi çözümleme yapmak mümkün olmuştur.

Ülkemizde, yürürlüğe girmese dahi İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY-2008) ile başlayan ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ile birlikte resmiyete kavuşan performansa bağlı yüksek yapı tasarım kriterleri hayatımıza girmiştir.

Bu tez kapsamında 2. Bölümde yüksek yapılar için genel bilgilendirmeye, 3. Bölümde performansa bağlı tasarım için modelleme teknikleri ve kabul kriterlerine, 4. Bölümde ise sayısal uygulamalara yer verilmiştir. Sayısal uygulama için TBDY (2018)’de belirtilen I. ve III. tasarım aşamaları izlenerek 21 x 42m boyutlarında ve 144 m (36 kat) yüksekliğinde narin geometrilere sahip 2 yapı modellemesi yapılmıştır. Bu modeller, çekirdek perdeli çerçeve taşıyıcı sistemine sahiptir.

1.1. Tezin Amacı

TBDY (2018) kapsamında belirtilen yüksek yapılar için önerilen tasarım aşamalarını örnek modeller üzerinde izleyerek irdeleme yapılmıştır. Bu irdeleme kapsamında kabul kriterlerinin yeterlilik düzeyleri incelenmiştir. Özellikle Tasarım I aşamasında doğrusal analiz yöntemleriyle yapılan eleman ön boyutlandırmasının, Tasarım III aşamasında yapılan ve doğrusal olmayan davranışı yansıtan sonuçlarla karşılaştırılması amaçlanmıştır.

1.2. Tezin Bilime Katkısı

Yapılan sayısal uygulamalarla, yüksek yapılarda kullanılan çekirdek perdeli çerçeve sistemlerin ve narin yapı binaların tasarım kriterleriyle ilgili uyumu hakkında veriler sunulmuştur. Bu veriler ileriki dönemlerde, mevcut yönetmeliklerin geliştirilmesinde katkı sağlayacaktır.

1.3. Tez Çalışmasında İzlenen Yol

Bu tez çalışmasında aşağıda verilen yöntem izlenmiştir;

- 2. ve 3. Bölümlerde yüksek yapılar hakkında tanımlamalara, tasarım ve değerlendirme yöntemlerine yer verilmiştir.
- 4. Bölümde sayısal uygulamaya konu olan modeller bir 3 boyutlu analiz programı olan ETABS ile oluşturulmuştur. Eleman kesitleri için gerekli bilgiler SAP2000 programında yer alan kesit analiz aracından elde edilmiştir.
- Sayısal uygulamadan elde edilen veriler kolaylık açısından grafikler üzerinde gösterilmiştir.
- Çalışma sonunda sayısal uygulamalardan elde edilen veriler değerlendirilerek sonuçlar üretilmiş ve daha sonra yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. YÜKSEK YAPILARA GENEL BAKIŞ

2.1. Tarihsel Gelişim Süreci ve Tanımı

İnsanoğlunun tarihsel serüvenine bakıldığında, güçlü olma arzusu, prestij, zenginlik, hakimiyet ve dini duyguların etkisiyle insanların, dönemlerine göre oldukça yüksek anıt mezar ve tapınak türü yapılar inşa ettikleri görülmüştür. Mısırlılar'ın kralları Keops'u gömüp, hazinesini saklamak için taştan yaptıkları piramit (MÖ 2600), 146 m yüksekliğiyle yüksek yapıların ilkidir (Şekil 2.1). MÖ 600 yılında Babil'de pişmiş kerpiçten yapılan ünlü “Babil Kulesi” eski bir mabet olup, yüksekliği 90 metre olduğu ifade edilir. “İskenderiye Feneri” ise Grekler için bir dünya harikası sayılmaktaydı. MÖ 282 yılda yapılmış olup, 140 metre yüksekliği ile 1200 yıl boyunca dünyanın en yüksek yapısı olma unvanını taşımıştır. Roma döneminde tuğlalarla yapılan “Ulm Katedrali” 162 metre yüksekliğiyle halen günümüzde dünyanın en yüksek katedrali ünvanını taşımaktadır. Çin’de “Pagodalar” (Şekil 2.2), İran’da “Ziggurat” insanın Tanrıya yaklaşma isteğinin öncülerindendir. Ayrıca Roma ve Bizans döneminde “Panthéon” gibi tapınakların ve kilise çan kulelerinin, İslam kentlerinde ise cami minarelerinin yükseldiği görülür [Sev ve Özgen, 2000].



Şekil 2.1: Keops Piramiti, Mısır.



Şekil 2.2: Hongfo Pagodası, Çin.

19.yüzyılla birlikte şehir arazilerinin değerlerinin artışı, ekonomik büyüme, büyük şirketlerin gücünü simgeleyen anıtsal yapılar yapma ihtiyacı, yüksek yapıların politik bir yatırım amacı olarak görülmesi gibi sosyal ve ekonomik nedenlerin etkisiyle yüksek yapı inşa etme arzusu artmaya başlamıştır.

Çeliğin yapılarda taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanımı, yüksek dayanımlı beton teknolojisindeki ilerlemeler, asansörün ve hidroforun geliştirilmesi, havalandırma sistemlerinin geliştirilmesi, kalıp teknolojisindeki gelişmeler, yatay yüklere göre analiz ve tasarım yöntemlerinin gelişimi gibi teknolojik ve bilimsel gelişmelerle birlikte bu arzular hayata geçirilmeye başlanmıştır.

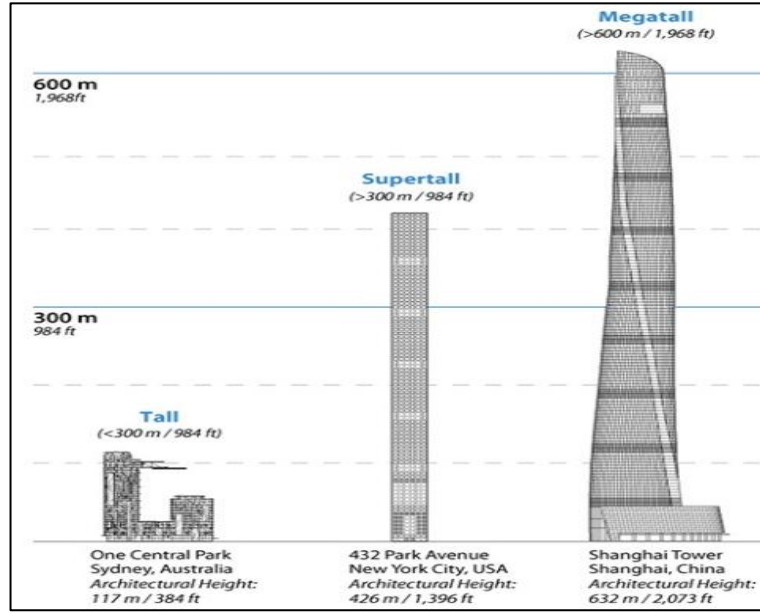
Yüksek yapı kavramı tam anlamıyla oturtulabilmiş değildir. Literatür taramalarında yüksek bir binanın tanımını ‘Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH)’ şu şekilde yapmaktadır;

“Yüksek bir yapı, yüksekliği ile çevresindeki binalardan farklı bir tasarım ve kullanım koşulları oluşturan binadır.”

Yüksek bina alt limiti 14 kat veya 50 m olarak tarif edilmiş ve bu limiti aşan binalar yüksek yapı olarak kabul görmektedir. CTBUH’in ölçütlerine göre;

- Yüksekliği 50 m’yi aşan binalar ‘Yüksek Yapılar’
- Yüksekliği 300 m’yi aşan binalar ‘Çok Yüksek Yapılar’
- Yüksekliği 600 m’yi aşan binalar ‘Mega Yüksek Binalar’

olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Yüksek yapı sınıflandırması.

Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde yüksek yapı tanımını Deprem Tasarım Sınıfına (DTS) ve yükselik sınırlarına bağlı olarak şöyle yapmıştır;

- DTS=1, 1a, 2, 2a için yüksekliği $H_N > 70$ m
- DTS=3, 3a için yüksekliği $H_N > 91$ m
- DTS=4, 4a için yüksekliği $H_N > 105$ m

Yüksek yapılar ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde inşa edilmiştir. 1871 yılında Chicago merkezindeki büyük yangın sonrasında, kent merkezindeki arsa fiyatlarının artması, yeni yapı teknolojisi ve yapım tekniklerini geliştirme yollarının aranmasına neden olmuştur. William Le Baron Jenney, Louis Sullivan, Dankmar Adler, Daniel H. Burnham ve Martin Roche'un öncülüğünde "Chicago Okulu" adıyla yeni bir ekol doğmuş ve çelik iskelet sistem geliştirilerek ilk yüksek yapılar inşa edilmiştir. 1885 yılında yapımı tamamlanan Chicago'da William Le Baron Jenney tarafından yapılan "Home Insurance" binası, CTBUH tarafından dünyanın ilk yüksek binası olarak kabul edilmiş ve tescillenmiştir. Yüksekliği 54,9 m ve 12 kat olan bu yapıda, taş cephe duvarlarını yalnızca kendini taşımakta olup, çelik kirişlerin yapının iç kısmında kullanıldığı ilk örnektir (Şekil 2.4).

1895'te yapımı tamamlanan Chicago'da Burbham ve Root'un yaptıkları "Reliance" binasında yatay rijitlik, ince elik bir ereve tarafından karşılanmakta olup, rüzgar yükleri altında yatay stabilitesini arttırmak için diyogonal bağlantılar kullanılmıştır. Yüksekliği 60 m olan 14 katlı bu yapıyla birlikte düşey kafes kiriş veya perde duvar kavramı ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.4: Home Insurance, Chicago.

1903'te yapımları tamamlanan Paris'te "Rue Franklin Apartmanı" ve Amerika'da "Ingalls" binası ilk betonarme ereve yüksek yapı örnekleri olarak tarih sahnesinde yerlerini almıştır. Bu yapılardan "Ingalls" binası 64 metre yüksekliğinde ve 16 katlı olarak yapılmıştır (Şekil 2.5).

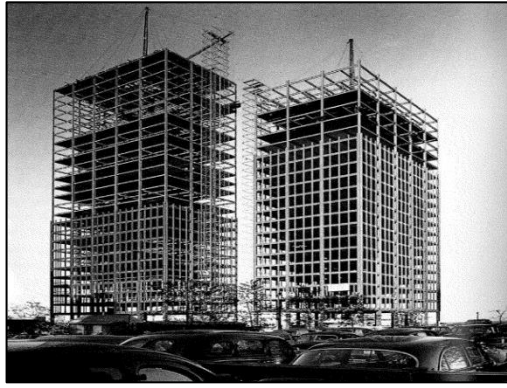
1913'te yapımı tamamlanan ve Newyork'ta inşa edilen Woolworth Tower, ana taşıyıcı sistemi rijit elik ereve sistemidir. Bu yapının yüksekliği 230 m olup 55 katlıdır. 1930 yılına kadar dünyanın yükseklik rekorunu elinde tutmuştur.



Şekil 2.5: Ingalls, Ohio.

Çerçeve sistemli yapılarda 1950'lerden sonra taşıyıcı sistemde çerçevelerin yanında perdelerin ve giderek çekirdeklerin kullanımı geliştirilmiştir. 1952 yılında yapımı tamamlanan “860-880 Like Shore Drive” 82 m yüksekliğinde ve 26 kattan oluşan bu yapı, taşıyıcı sistem açısından geniş açıklıklara sahip çelik çerçeve sistemlerine güzel bir örnektir (Şekil 2.6).

1997’de yapımı tamamlanan “Commerzbank” yapısı 299 m yüksekliği ve 52 katlı tasarımıyla Avrupa’nın en yüksek binaları arasında yerini almıştır. Çekirdek taşıyıcılı bir sisteme sahip olan bu yapıda düşey ve yatay taşıyıcı elemanlar çelik ve kompozit olarak tasarlanmıştır.



Şekil 2.6: 860-880 Like Shore Drive, Chicago.

Mimari açıdan daha kullanışlı ve geniş alanlar oluşturmak, yapı yüksekliğiyle birlikte ortaya çıkan yatay stabilite problemlerini daha rahat aşabilmek için çalışmalar yapan Fazlur.R.Khan, tübüler taşıyıcı sistemini geliştirmiştir 1969 yılında 344 m yüksekliğinde ve 100 katlı olarak yapımı tamamlanan “John Hancock Center” yapısı tübüler taşıyıcı sistem ile inşa edilmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: John Hancock Center, Illinois.

Yine geniş kullanım alanları imkânı veren ve yatay stabilite problemlerini aşma konusundaki başarısı nedeniyle çekirdekli ve yatay kafes kirişli sistemler kullanılmaya başlanmıştır. 1988 yılında yapımı tamamlanan “One Liberty Place” yapısı bu tür yapılara güzel bir örnektir. Yapı 288 m yüksekliğinde ve 61 katlıdır.

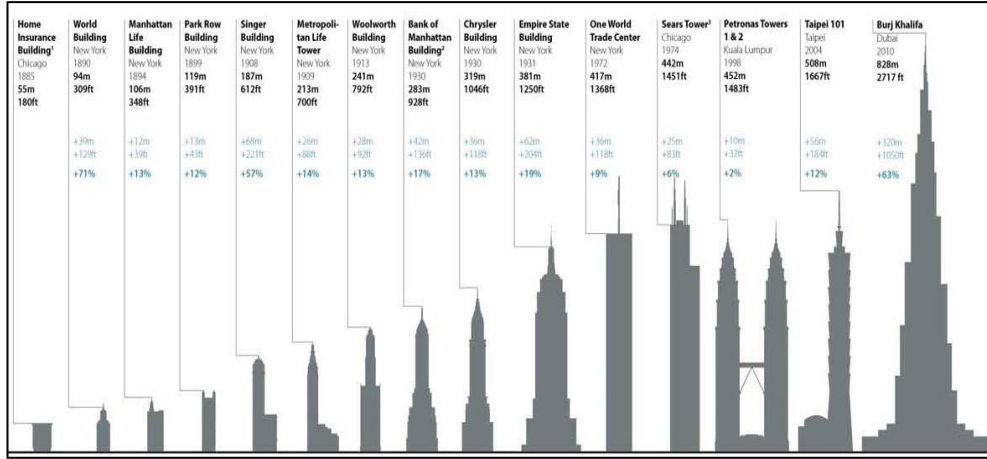
Modern mimari eğilimlerle birlikte mimarların estetik ve fonksiyonel isteklerini yerine getirebilmek için mühendisler her bir yüksek yapıya özgü ve birçok sistemi içeren karma sistemlere yönelmiştir. Hibrid (Karma) Sistem olarak adlandırılmaya başlanan bu tür yüksek yapı çözümlerine Hong Kong’ ta “Hong Kong Bank Headquarters” yapısı örnek olarak gösterilebilir. Yapımı 1985 yılında tamamlanan bu yapı 180 m yüksekliğinde ve 45 kattan ibarettir (Şekil 2.8).

1990 yılında Los Angeles’ ta yapımı tamamlanan “First Interstate World Center” yapısı da Hibrid Sistemlere güzel bir örnektir. 310 m yüksekliğine ve 75 kata sahiptir [Taranath, 2009].



Şekil 2.8: Hong Kong Bank Headquarters, Hong Kong.

Dünyada yapılmış olan yüksek yapıların mimari yüksekliğe göre sıralanışı Şekil 2.9’ da verilmiştir.



Şekil 2.9: Dünyada yapılmış yüksek yapılar.

2.2. Yüksek Yapı Tasarımında Çözülmesi Gereken Problemler

Yüksek yapı tasarımında çözülmesi gereken üç taşıyıcı sistem problemi vardır. Bunlar; narinlik, sünme ve düşey relatif kat deformasyonları, deprem ve rüzgar etkileridir.

2.2.1. Narinlik

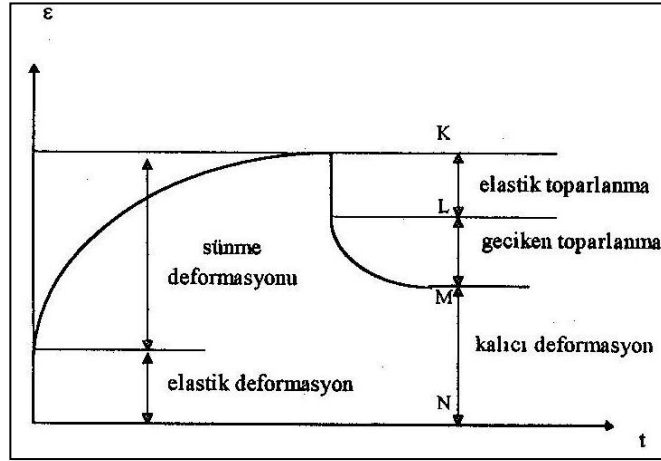
Yapı yüksekliğinin, yapının oturum alanını belirleyen kenarlarda kısa olan kenara oranı olarak ifade edilebilir. Narinlik oranının artması ile, yapıya etkiyen yanal yükler etkisiyle;

- Görelî kat ötelemeleri ve tepe deplasman miktarları artar. Bu durum yönetmeliklerde belirtilen ötelenme sınırlarının zorlanması anlamına gelir.
- İkinci mertebe momentlerin ($P-\Delta$) etkisinin daha çok hissedilmesine neden olur.
- Yapı analizinde etkin olan mod şekillerinin sayısı artar.
- Devrilme momenti etkisi artar.
- Temel tasarımı için çözümleme zorlaşır.

2.2.2. Sünme Ve Düşey Rölatif Kat Deformasyonları

Sünme, zamana bağlı olarak sabit yükler etkisiyle betonda oluşan deformasyonlardır. Bu deformasyonların, yük etkisi kaldırıldığında bir miktarı geri

dönse dahi büyük kısmı kalıcıdır (Şekil 2.10). Sünme deformasyonları, eleman boyutlarına, beton gerilmesi ve sünme karakteristiklerine, donatı oranına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Eksenel yük etkisi altındaki bir betonarme elemanda, beton sünmenin etkisiyle kısılrken donatı çeliği buna karşı koymaya çalışır. Böylece betondaki basınç gerilmesinin bir kısmı donatıya aktarılır.



Şekil 2.10: Betonda yükleme ve boşaltma altında meydana gelen sünme eğrisi.

Yapı inşa aşamasında alt katlardaki düşey taşıyıcı elemanlarda, katlar yükseldikçe betonda düşey yüke bağlı olarak artan eksenel kuvvetlerin etkisiyle ani düşey deformasyonlar meydana gelir. Bu deformasyonlar inşa aşamasında düşey yüklere, eleman kesitlerine, betonun yükleme esnasındaki yaşına, çelik ve betonun karakteristik özelliklerine bağlı olarak gerçekleşir [Çetinkaya, 2003].

Yüksek yapılarda kat sayısının fazla olması nedeniyle yük miktarı ve geometriye bağlı olarak özellikle alt katlarda bulunan düşey yapı elemanlarında yapım aşamasında ani deformasyonlar ve zamana bağlı olarak sünme deformasyonları meydana gelir. Meydana gelen bu deformasyonların önemli bir miktarı kalıcıdır ve yapı eleman türüne göre farklı miktarlardadır.

Yapı elemanları arasındaki bu farklı miktardaki düşey deformasyonlar diğer yapı elemanlarına da etkisi olabilmektedir. Örneğin aynı kat düzeyinde kolonlarda meydana gelen deformasyon miktarı ile perdelerde meydana gelen deformasyon miktarı aynı değildir. Bu farklar nedeniyle perdeleri kolonlara bağlayan kirişlerde ekstra gerilmeler meydana gelebilir. Ayrıca kat döşemelerinde eğimler meydana gelebilir.

TBDY (2018)'de yüksek yapılar için 'Tasarım I' aşamasında deprem

hesabından önce yapım aşamalarını göz önüne alan düşey yük hesabı ve sünme hesabının yapılması gerektiği belirtilir.

2.2.3. Deprem Ve Rüzgar Etkileri

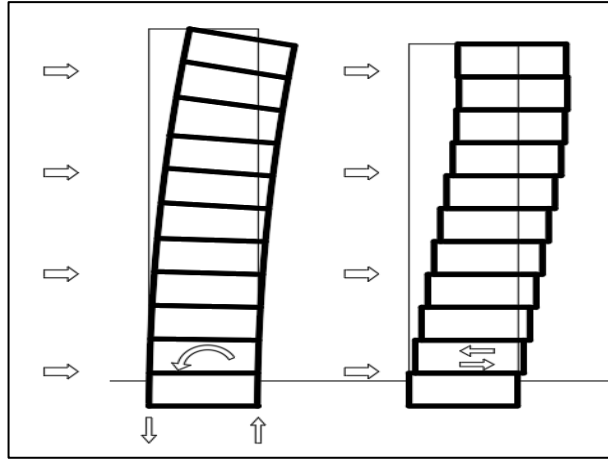
Yüksek yapı tasarımında belirleyici olan bu iki yanal etkinin yüksek yapı üzerindeki tesirlerini belirlemek oldukça güçtür. TBDY (2018)'de yüksek yapılar için 'Tasarım I' aşamasında deprem hesabından önce rüzgar hesabının yapılması gerektiği belirtilir.

Yüksek yapı tasarımında uygulaması zorunlu olan 'Zaman tanım alanı' analizlerinde, deprem etkilerini belirlemek için sahaya uygun deprem ivme kayıtları seçilmesi gerekmektedir. Genelde, seçim kriterlerini karşılayacak kadar kayıt bulmak oldukça zordur. Yeni deprem yönetmeliğinde analizde kullanılacak deprem ivme kayıt sayısı 11 depremin yatay bileşenleridir. Ayrıca bulunan kayıtların ölçeklendirilmesi hususu ayrı bir muammadır.

Rüzgar veya türevleri kaynaklı yüksek yapıya etkisini belirlemek oldukça zahmetli ve pahalıdır. Rüzgarla ilgili yönetmeliklerde tavsiye edilen analitik hesap yöntemleri yüksek yapılara uygulanması birçok belirsizliği beraberinde getirmektedir. Zira çevredeki yapıların ve daha sonra yapılması planlanan yapıların yüksek yapıya etkileyen rüzgarın davranışını değiştirebilmektedir. Bu belirsizliklerin ortadan kalkması adına rüzgâr tribünü testi önerilmektedir. Bu tez kapsamında yüksek yapılarda yanal etki olarak yalnızca deprem etkisi dikkate alınacağı için rüzgar etkisi hakkında detaya girilmemiş ve rüzgar etkisi yanal yük kombinasyonlarında dikkate alınmamıştır.

2.3. Yüksek Yapı Tasarım Felsefesi

Yüksek yapı tasarımında, yapının yük etkisi altında nasıl bir davranış sergileyebileceği hakkında ön görüde bulunmak oldukça faydalı olacaktır. Yüksek yapı davranışı, zemine ankastre olarak mesnetlenmiş bir kirişin olası yanal yük etkileri altında sergilediği davranışa benzetilebilir. Bu kirişte, yanal etkiler altında mesnet bölgesinde, moment ve kesme tesiri kaynaklı etkiler meydana gelirken, kirişin serbest ucunda yüksek deplasmanlar meydana gelir (Şekil 2.11).

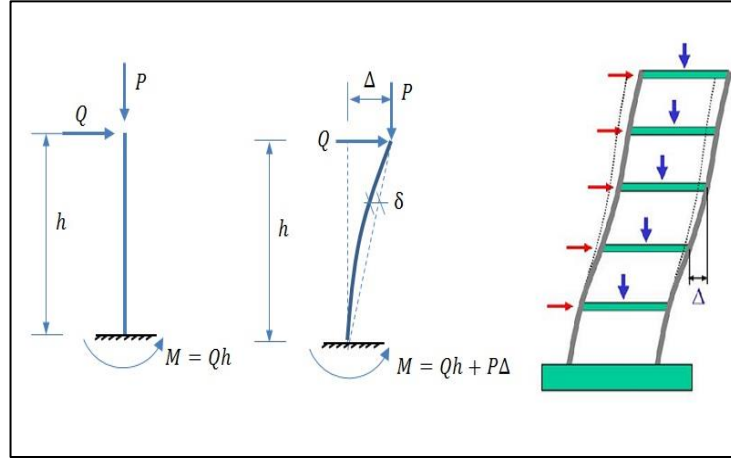


Şekil 2.11: Yapıların yanal etkiler altında davranış biçimleri.

Yüksek yapıda da benzer tesirlerin etkisi altında taban kesme kuvvetinin ve eğilme momentin hâkim olacağını söylenebilir. Zira mevcut yönetmeliklerde özellikle bu iki tesirle alakalı sınırlamalar ortaya konmuştur. TBDY (2018)’de bu tesirlerle ilgili olarak Bölüm 4’de ve Bölüm 13’de, doğrusal analizin yapıldığı Tasarım I aşamasıyla ilgili, minimum bir taban kesme kuvveti ve taban devrilme momentiyile ilgili olarak birtakım kriterler istenmektedir. Ayrıca kat ötelemeleri de yeni yönetmelikte sınırlandırılmıştır.

Yanal etkiler altında yüksek yapıda meydana gelecek eğilme momentlerinin etkisiyle yapı üst kısmının temelden ayrılma riski vardır. Bu riski ortadan kaldırmak ve aynı zamanda yüksek taban kesme tesirlerini karşılamak ve yapının devrilmesini önlemek için alt katlarda baza katları oluşturmak etkin bir çözüm yoludur. Kat ötelemelerini sınırlamak için yatay yüklere karşı yeterli yanal rijitliğin sağlanması gerekir. Bu rijitliğin sağlanması için yapı eleman boyutlarını artırmak yerine, taşıyıcı sistem etkinliğini artırmak daha uygun bir çözüm olacaktır [Taranath, 2009].

Yüksek yapı tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de 2. mertebe moment etkisidir. Yapı yüksekliği arttıkça etkin salınım mod sayısı artmaktadır. Yüksek yapıda genellikle ilk iki mod daha etkin olmasına rağmen yeterli kütle katılım oranı için diğer modların etkisi de dikkate alınmaktadır. Yüksek yapılarda yüksek salınım modları etkisiyle karmaşık kat ötelemeleri meydana gelir. Bu kat ötelemelerinin etkisiyle düşey yükler altında düşey elemanlarda ve kat düzeyinde 2. mertebe moment etkileri oluşur. Sistemde ve elemanlarda, sırasıyla, $P-\delta$ ve $P-\Delta$ olarak tanımlanan bu etkiler, özellikle düşey yapı elemanların doğrusal olmayan davranışlarını modellerken dikkate alınmalıdır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Yanal deplasmana bağlı olarak, düşey yüklerin meydana getirdiği 2.mertebe moment etkileri.

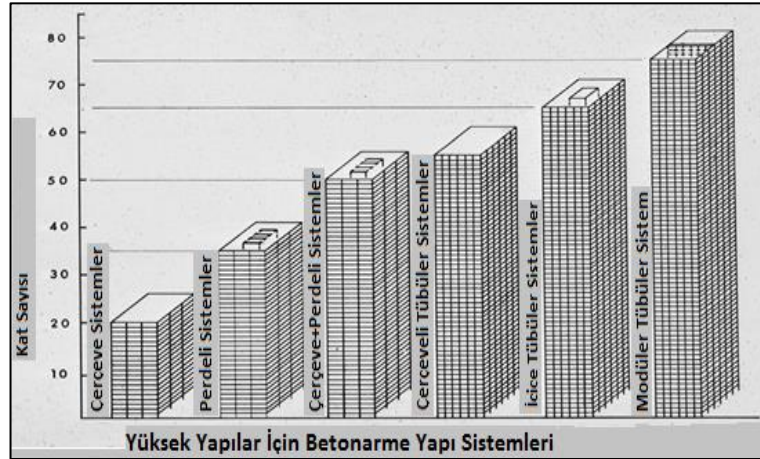
2.4. Yüksek Yapıların Taşıyıcı Sistemleri

Yüksek yapı tasarımında en etkin problem yatay yüklerin zemine güvenli bir şekilde aktarılmasıdır. Yatay yüklerin aktarılmasıyla ilgili olarak tüm yapılarda kullanılan çerçeve sistemler, perde duvar sistemler ve bu ikisinin karmasıyla oluşturulan kompozit sistemler yüksek yapılar için de çözüm olabilmektedir. Fakat yüksekliğin artmasıyla meydana gelen tesirleri bu sistemler içerisinde karşılamak pek mümkün olmamaktadır. Zira devasa taşıyıcı eleman boyutları kullanmak gerekecek ve bu da kullanım alanları üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olacak. Ayrıca maliyet artışları da söz konusudur.

Zaman içerisinde yüksekliğin getirdiği etkileri karşılayabilmek için alternatif taşıyıcı sistemleri geliştirilmiştir (Şekil 2.13). Bunlar;

- Çekirdek merkezli çerçeveli sistemler ve türevi olan dış destek sistemi
- Tübüler sistemler (Birçok türevi vardır)
- Hibrid sistemler (Birçok sistemin birlikte kullanılmasıyla meydana gelir) [Sev ve Özgen, 2000].

Yerli ve yabancı birçok kaynak yüksek yapıların farklı ve daha detaylı tasnifleri bulunmaktadır. Bu tez içeriğinde sayısal analiz uygulaması olarak merkezi çekirdekli sistem kullanıldığı için bu sistem hakkında detaylı bilgi verilecektir.

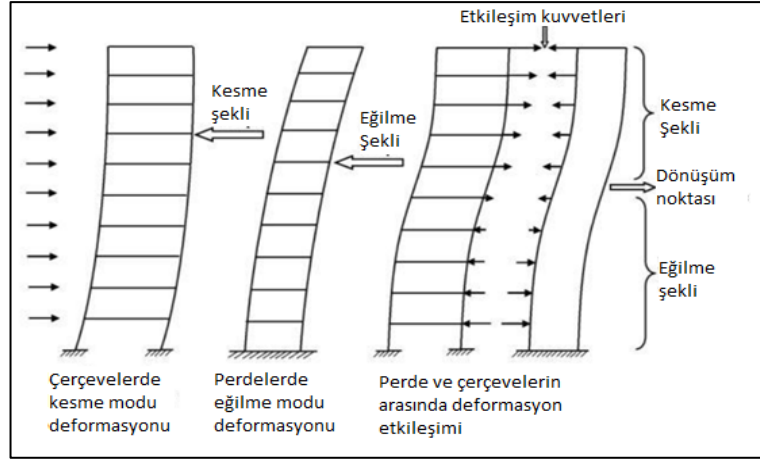


Şekil 2.13: Yüksek yapılar için geliştirilen taşıyıcı sistemleri.

2.4.1. Merkezi Çekirdekli Taşıyıcı Sistemler

Merkezi çekirdekli çerçeve sistemlerin tercih nedenlerinin başında mimari açıdan etkili kullanım alanları oluşturmak vardır. Yapı için ihtiyaç duyulan mekanik alanların çekirdek alanlar, asansör boşlukları, merdiven evleri, banyo, wc gibi alanların çekirdek alanı içerisinde çözümlenmesi, bu sistemlerin en büyük artılarıdır. Özellikle ofis kullanım amaçlı yapılarda geniş kullanım alanlarına duyulan ihtiyaç, bu sistemleri cazip kılmaktadır.

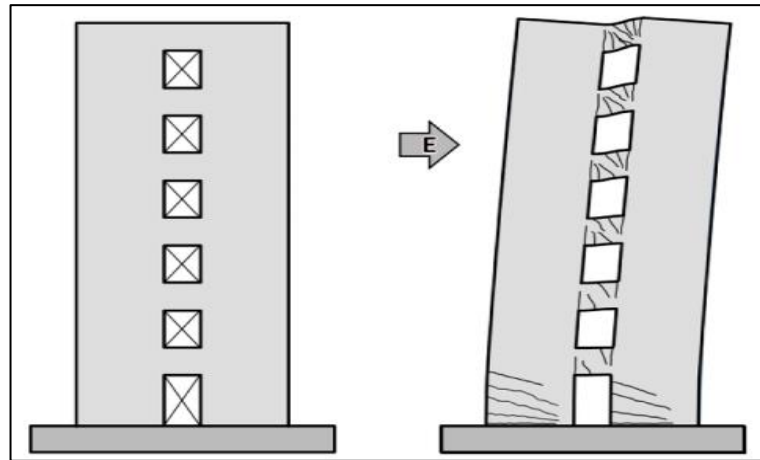
Çekirdek olarak tasarlanan alan, kat alanının yaklaşık %20'si kadar olup, yatay yüklerin tamamına yakın kısmını aktarması için değişik geometrilerde, farklı malzemelerle ve çalışma prensibi birbirinden farklı yapı elemanlarıyla oluşturulabilmektedir. Bu yapı sistemlerinde çekirdekten istenen davranış, yatay etkilerden oluşan kat kesme kuvvetlerini, eğilmeden kaynaklı oluşacak yüksek moment tesirini karşılamasıdır. Çerçeve sistemden ise, yüksek salınım modları etkisiyle kat görelî ötelemelerinin ve üst katlara çıkıldıkça oluşacak yanal kat deplasmanlarının sınırlamasını sağlayacak bir davranış istenmektedir (Şekil 2.14).



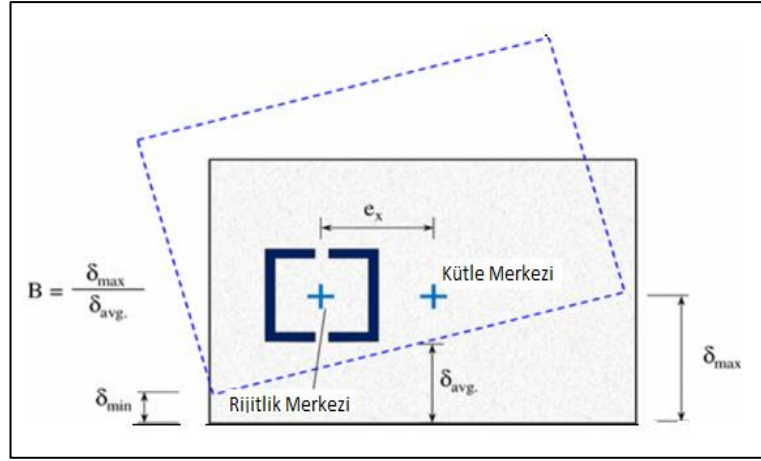
Şekil 2.14: Çerçeveleli perde sistemlerinin birlikte çalışma prensibi.

Çekirdek betonarme olarak planda farklı geometrilerde (C, E, T vb.) tasarlanabileceği gibi çelik kafes olarak ve ihtiyaç duyulması halinde kompozit olarak ta tasarlanabilir. Eğer çekirdek, boşluklu olarak tasarlanmış ise bağ kirişi olarak tanımlanan elemanlara ihtiyaç duyulur. Bu elemanların bağlantı kurduğu iki perde arasındaki yük geçişini sağlamak gibi önemli bir görevi vardır. Bu nedenle bağ kirişleri dikkatli tasarlanmalıdır (Şekil 2.15).

Kat alanı geniş olan yapılarda birden fazla çekirdeğin oluşması söz konusu olabilir. Çekirdek veya çekirdeklerin kat planındaki konumu, yapıya gelecek yanıl kuvvetlerin, yapıda oluşturacağı etkileri belirlemektedir. Simetrik yerleşim halinde yapı, kesme ve eğilme etkilerine maruz kalacaktır. Simetrik olmayan yerleşimlerde ilave olarak burulma etkisi oluşacaktır (Şekil 2.16).

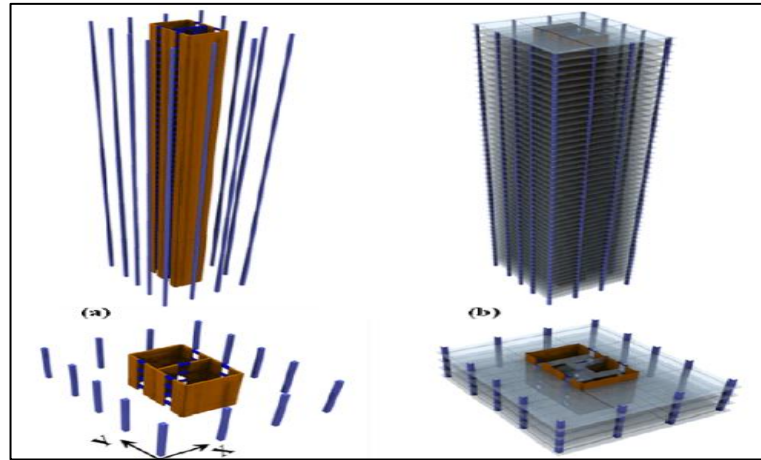


Şekil 2.15: Boşluklu perde sistemi.

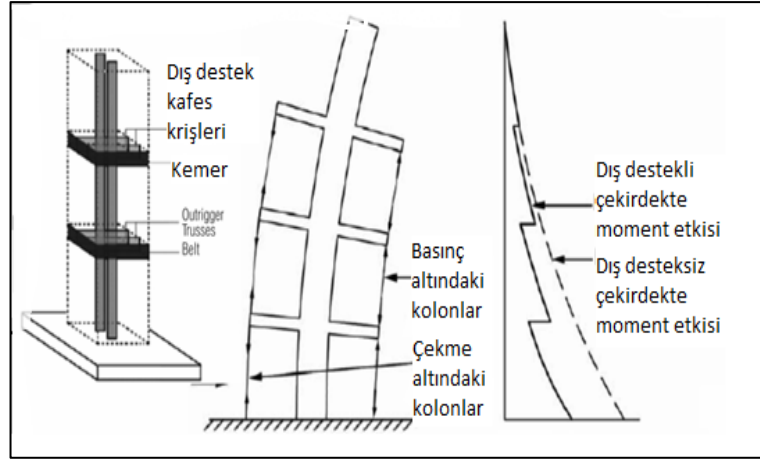


Şekil 2.16: Simetrik olmayan yapıda burulma etkisi.

Bu tür yapı sistemlerin oluşturulmasında kullanım amacına, yapıda ve yapıyı oluşturan elemanlarda yönetmeliklerin belirlediği sınırların zorlanmasına ve mühendisin yaklaşımına göre birçok sistem kurulabilir. Konsol döşemeli sistemler, çerçeve-çekirdek sistemler ve dış destekli sistemler bunlara örnektir (Şekil 2.17 ve Şekil 2.18).



Şekil 2.17: Çekirdek merkezli yapı sistemi örneği.



Şekil 2.18: Dış destekli yapı sisteminin basit olarak düzenlenmiş çalışma prensibi.

2.5. Yüksek Yapılarla İlgili Deprem Yönetmeliklerinin Gelişimi

Kapasite tasarımı ilkelerinin deprem yönetmeliklere girmesiyle birlikte deprem etkisi altındaki bölgelerde daha güvenli yapı tasarlamak mümkün olmuştur. Bu gelişmeler beraberinde yüksek yapıların deprem bölgelerinde de inşa edilebilmesini gündeme getirmiştir.

Yüksek yapıların deprem etkisi altında performansa göre tasarım, son yıllarda yoğun bir şekilde üzerinde araştırmalar ve uygulamalar yapılan bir alan olmuştur. Bu araştırmalar neticesinde deprem yönetmelikleri yüksek binalar düşünülerek geliştirilmediğinden ileri düzey analiz ve tasarım yöntemlerinin kullanılmasının gerektiği anlaşılmıştır.

Bu bağlamda deprem bölgelerinde yüksek yapı tasarımına ilişkin ABD’de kentler düzeyinde yürütülen çalışmalar başlangıç sayılabilir. 2005 ve 2008 yıllarında Los Angeles kenti için, 2007 yılında San Francisco kenti için hazırlanan yol gösterici kılavuzlar, bu çalışmalar neticesinde üretilmiş dokümanlardır.

Diğer yandan uluslar arası bir kuruluş olan CTBUH (Council on Tall Buildings and Urban Habitat), 2008 yılında yüksek binaların deprem tasarımı için bir döküman yayınladı.

Son olarak ‘Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)’ bünyesinde 3 yıllık kapsamlı bir proje çalışması sonucunda 2010 yılı sonunda performansa göre yüksek yapı tasarımı konusunda ‘Tall Buildings Initiative (TBI)’ adlı bir tasarım kılavuzu yayınlamıştır.

Bu kılavuzla birlikte kullanılmak üzere, yüksek binaların modellenmesi ve

tasarım kriterleri konusunda çok ayrıntılı bir doküman olan ‘PEER/ATC 72-1: Modelling and Acceptance Criteria For Seismic Design And Analysis Of Tall Buildings’ dokümanı da aynı yıl yayınlanmıştır.

Ülkemizde deprem etkisi altında yüksek yapı tasarımıyla ilgili olarak 2007 yılında ‘Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı’ tarafından İstanbul Büyükşehir Belediyesi için yapılan ve kabul gören bir öneri doğrultusunda ‘İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği Taslağı (İBB 2008) hazırlanmıştır. Fakat yürürlüğe konulmamıştır.

Daha sonra 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Yönetmeliği’nde Bölüm 13 altında yüksek yapıların tasarım kriterlerine yer verilmiştir. Ayrıca bu yönetmelikte şekil değiştirmeye göre doğrusal olmayan analiz yöntemleri Bölüm 5 ‘te yer verilmiş olup, yüksek yapı tasarımı için uygulanması, zorunlu olan analiz yöntemine yer verilmiş oldu.

2.6. Yüksek Yapı Tasarımında Kullanılan Analiz Yöntemi

Yüksek yapı tasarımında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılması esastır. Zaman tanım alanında analiz ile deprem yer hareketlerinin zamana bağlı olarak etkisi yapıya yansıtılabilmekte ve gerçekte eleman bazında olması beklenen çevrimsel hareketlerin oluşması sağlanabilmektedir. Yani deprem ile yapıda meydana gelebilecek dinamik etki gözlenebilir. Bu analizi yapabilmek için yeterli sayıda ve yapının lokasyonuna uygun deprem kayıtları seçilmelidir. Ayrıca bu kayıtları yine ölçeklendirme kriterlerine göre yeniden düzenlenmelidir.

3. YÜKSEK YAPILARDA PERFORMANSA BAĞLI TASARIM

3.1. Genel Tanım

Thomas Pauley ile birlikte deprem mühendisliğine giren kapasite tasarımı, teorik olarak birçok kabul içermektedir [Paulay ve Priestley, 1990]. Kapasite tasarımı, yapıyı oluşturan elemanların belirli kurallar çerçevesinde sünek olarak tasarlanması ve bu tasarım neticesinde elde edilen eleman kapasitelerinin, deprem ve düşey yüklerin etkisi altında meydana gelecek tesirlerle karşılaştırılmasını esas almaktadır. Kapasite tasarımıyla, özellikle yapının sünek tasarımına güvenilerek deprem etkilerinde oluşacak tesirlerin 1/8-1/4 oranlarına kadar küçültülmesine müsaade edilmektedir. Tabi bu durumda yapıda belirli sınırlarda (Can Güvenliği) hasar oluşabileceği kabul edilmektedir. Fakat kapasite tasarımı, bu hasarların yapının hangi elemanlarında meydana geleceği ve hangi düzeyde hasar oluşacağı hakkında bize bir bilgi vermemektedir.

1989 yılında Kalfoniya, ABD’de meydana gelen ‘Loma Prieta’ depremi sonrasında ülkedeki mevcut yapı stoğunun depreme karşı nasıl bir performans göstereceğiyle ilgili bir gündem oluştu. Bunun neticesinde ‘The Structural Engineers Association of California (SEAOC)’ tarafından, bu mevcut yapıların olası yeni depremlere karşı performanslarının değerlendirilmesiyle ilgili olarak çalışmalar başlatıldı. Bu çalışmalar neticesinde 1995 yılında VISION 2000 dökümanı yayınlandı.

Daha sonra devam eden çalışmalar neticesinde şekil değiştirmeye bağlı olarak performans bazlı tasarım ve değerlendirme ilkeleri, ATC-40, FEMA 273 ve FEMA 274 yönetmeliklerinde ortaya konmuştur. Performansa bağlı tasarımın çıkış amacı mevcut yapıların yanal kuvvetlere karşı değerlendirilmesi olsa da daha sonra, yeni yapılacak yapıların tasarımında da uygulanmaya başlanmıştır.

Ülkemiz de bu gelişmelerden geri kalmamıştır. 01/01/2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Yönetmeliğinde şekil değiştirmeye göre performans bazlı tasarım ilkesi ve kuralları Bölüm-5’de kendine yer bulmuştur. Yeni deprem yönetmeliğimizde şekil değiştirmeye göre performansa bağlı tasarımın, belirli sınırları aşan yapıların tasarımında kullanılması zorunlu tutulmuştur.

Performansa bağılı tasarım, belirli bir yer hareketi (deprem) altında yapı için bir hasar düzeyinin hedeflenmesi ve bu hedefe ulaşmak için yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların tasarlanmasıdır.

Bu tanım bağlamında önce yapı için bir performans düzeyi belirlenmelidir. Birçok ulusal deprem yönetmeliklerinde bu seviyeler kendi ülke kriterlerinde göre belirlenmektedir. Ülkemiz için geçerli olan Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde 4 tane bina performans düzeyi belirlenmiştir. Bunlar; Kesintisiz Kullanım (KK) performans düzeyi, Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi, Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi, Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyidir.

Performans bazlı tasarımda değerlendirme yapabilmek için kullanılan iki doğrusal olmayan analiz yöntemi vardır. Bunlardan biri farklı yöntemleri içeren itme analizleri, diğeri ise zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemidir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, değişen zemin hareket yoğunluğu seviyelerinde bina davranışını öngörmek için mevcut en iyi yöntemdir [PEER, 2010].

Yapının performansını tespit edebilmek için yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışlarını tanımlamak gerekir. Bu davranışları modelleyebilmek için matematik modellere ihtiyaç duyulur. Kiriş ve kolon gibi çubuk elemanlarda en çok zorlanan kesitlerde yığılı plastik mafsallı model tanımlamak yeterli olacaktır. Perde gibi kabuklu yapı elemanlarında kesit hücresi (lif) modeli kullanılması gerekir.

Yapı elemanlarında, beton yapı malzemesinin yapısından kaynaklanan nedenlerle belirli bir seviyedeki eğilmeye neden olan yükler altında, kesitte meydana gelen çatlama nedeniyle kısa sürede rijitlik kayıpları yaşanacaktır. Bu kayıpları dikkate almak için yapı elemanlarında EI kesit rijitliklerini çatlamış kesite göre hesaplayıp düşürmek gerekir. Çatlamış kesit hesapları Türkiye deprem yönetmeliği içerisinde yer alan ve (3.1), (3.2)'de verilen denklemler yardımıyla hesaplanabilir.

$$(EI)_c = \frac{M_y}{\theta_y} \times \frac{L_s}{3} \quad (3.1)$$

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (3.2)$$

Denklem (3.1)'de ifade edilen; M_y ve θ_y çubuk elemanın uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentleri ile akma dönmeleri'nin ortalamalarını göstermektedir. L_s ise kesme açıklığıdır (kesitteki moment/kesme kuvveti oranı). Kolon ve kirişlerde yaklaşık olarak açıklığın yarısı, perdelerde ise her katın

tabanından perde tepesine olan uzaklığın yarısı olarak alınabilir.

Denklem (3.1)'de yer alan plastik mafsal akma dönmesi θ_y denklem (3.2) ile hesaplanacaktır. Yine denklem (3.2)'de yer alan ifadeler; ϕ_y plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliklerini gösterir. Kiriş ve kolonlarda $\eta=1$, perdelerde ise $\eta=0.5$ alınacaktır. h kesit yüksekliğini ifade eder. Akma durumları için donatı sıyrılması dönmesini ifade eden son terimde yer alan d_b mesnede (düğüm noktasına veya temele) kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını, f_{ce} ve f_{ye} ise betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı ile donatı ortalama akma dayanımını gösterir.

Yüksek yapılarda meydana gelen kat ötelemelerinin etkisiyle düşey yükler altında kat düzeyinde ve yapı bütününde 2. mertebe moment etkileri oluşur. P- δ ve P- Δ olarak tanımlanan bu etkiler özellikle düşey yapı elemanların doğrusal olmayan davranışlarının tespitinde dikkate alınmalıdır.

Taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının katkısı ve taşıyıcı yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışları ile yapıda bir miktar enerji boşalması meydana gelir. Sönüm etkisi olarak tanımlanan bu enerji boşalması dinamik analizlerde dikkate alınmalıdır. Çok katlı yapılarda dinamik denklemlerin çözümünde bu sönüm, bir diyagonal matris olarak tanımlanır. Yüksek yapılarda sönüm matrisini oluşturmak için kullanılan en ideal yöntemlerden biri, kütle ve rijitliğe bağlı olarak tanımlanan Rayleigh sönüm fonksiyonudur.

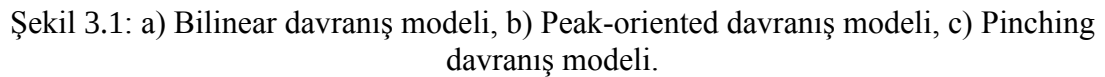
3.2. Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

Yapı elemanlarında doğrusal olmayan davranışı yansıtabilmek için yapı malzemelerinin ve yapı eleman kesitlerinin modellenmesi gerekir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde deprem gibi dinamik yükler, yapı elemanlarında tersinir etkiye neden olurlar. Tersinir etkiyle birlikte yapı elemanlarında pozitif ve negatif deformasyonlar meydana gelir. Dinamik yük zamana bağlı olarak etki ettiği için yapı elemanlarında kuvvet-deformasyon ilişkisi çevrimsel bir çizgide devam eder.

Yapı analiz yazılımları, açıkça programlamaya dahil edilmediği sürece rijitlik ve dayanım kayıplarını tanımaz. Bu yüzden yapısal bileşenlerde dayanım ve rijitlik kayıplarını tanımlayabilmek için eleman modellerine doğrudan yansıtılması gerekir. Yapısal elemanlarda bu kayıpların nedenleri olarak beton çekme çatlağı, betonun

Yapı elemanlarında doğrusal olmayan davranışı doğru tanımlayabilmek için, yapı elemanlarının çevrimsel eğrilerini tanımlayan modeller kullanmak gerekir. Bu amaçla yapı malzemeleri ve yapı elemanları üzerinde laboratuvar ortamlarında yapılan testlere bağlı olarak birçok çevrim modeli geliştirilmiştir [ATC, 2010].

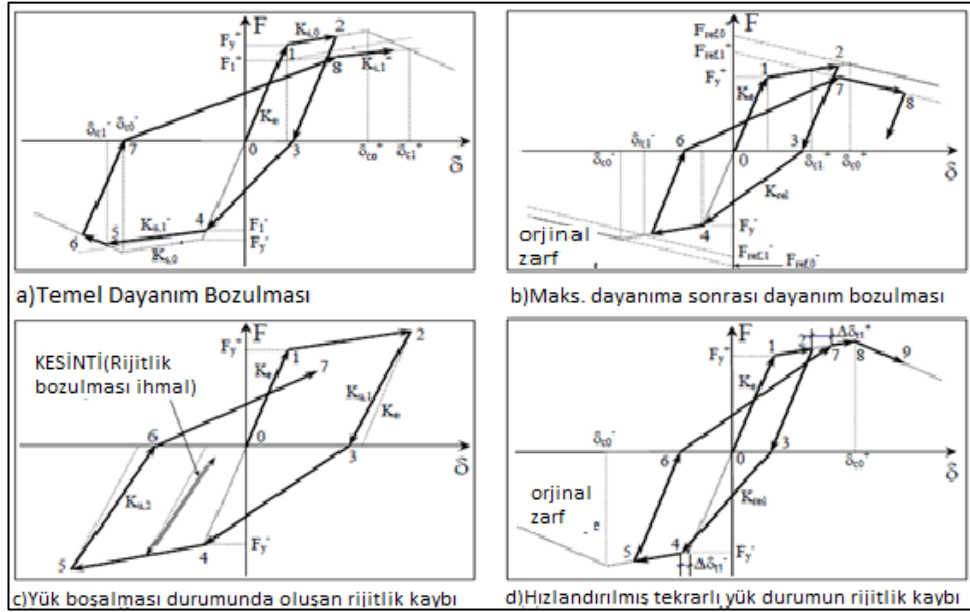
Tersinir çevrimsel davranış modellerin üç temel eğri modeli kullanılabilir. Bunlar; Bilinear (iki doğrultulu) model, Peak oriented (3 doğrultulu) model ve Pinching (kısaç) modelidir (Şekil 3.1) [ATC, 2010].



Bu modlar;

- 22

- Maksimum dayanım noktasından sonra negatif bir teğet rijitliği oluşur. Bu da bir dayanım sıçramasına neden olduğu için mukavemet daha da kötüleşir (Şekil 3.2b).
- Boşaltma rijitliği çevrim sayısı ve genliği ile bozulur. Bu, boşaltma eğiminin dönmesi ile temsil edilebilir (Şekil 3.2c).
- Belirli bir deformasyon genliği için, ikinci döngü, birinci döngüden daha küçük bir tepe mukavemetini belirtir; bununla birlikte, direnç artar ve ikinci döngünün genliği artarsa, kuvvet zarfı elde edilir. Bu, dayanıklılık zarfı kaynağından uzaklaştığı noktanın hareketi ile temsil edilebilir. Eğer daha sonraki döngülerde deformasyon genliğini arttırdıktan sonra mukavemet zarfı elde edilirse, o zaman bozulma mukavemet bozulma değil, ivmelendirilerek artırılan tekrarlı yüklemekten kaynaklanan rijitlik bozulmasıdır (Şekil 3.2d) [ATC, 2010].



Şekil 3.2: Döngüsel bozulmaları dikkate alan çevrim modelleri.

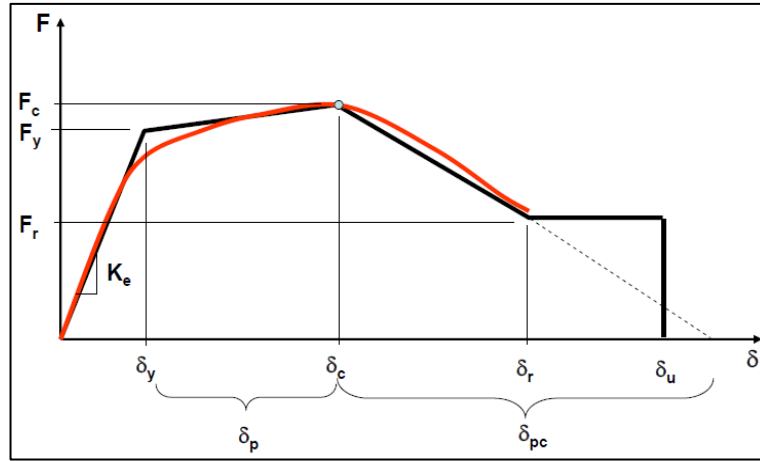
Ibarra-Krawinkler modelleri çelik, betonarme ve ahşap bileşenler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen yaklaşık 700 devirli yük-deformasyon geçmişinde test edildi. Model parametrelerinin deneysel verilere ayarlanması ile çoğu durumda yeterli simülasyonlar elde edilmiştir.

3.2.2. Omurga Eğrisi

Omurga eğrisi, yapı elemanının doğrusal olmayan davranışından kaynaklanan çevrimsel eğrilerin sınırlarını tanımlayan referans bir kuvvet-deformasyon ilişkisidir.

Döngüsel bozulma olmadığında, omurga eğrisi monotonik yükleme eğrisine yakındır ve başlangıç omurga eğrisi olarak adlandırılır. Döngüsel bozulma başladığında, omurga eğrisinin kolları orijine doğru hareket eder ve sürekli olarak güncellenir. Anlık olarak güncellenen omurga eğrisi, döngüsel bir omurga eğrisi olarak adlandırılır. Döngüsel omurga eğrisi, yükleme geçmişine bağlıdır ve bileşende hasara neden olan her bir çevrimden sonra sürekli değişir.

Tipik bir başlangıç omurga eğrisi Şekil 3.3'de gösterilmektedir [ATC, 2010].

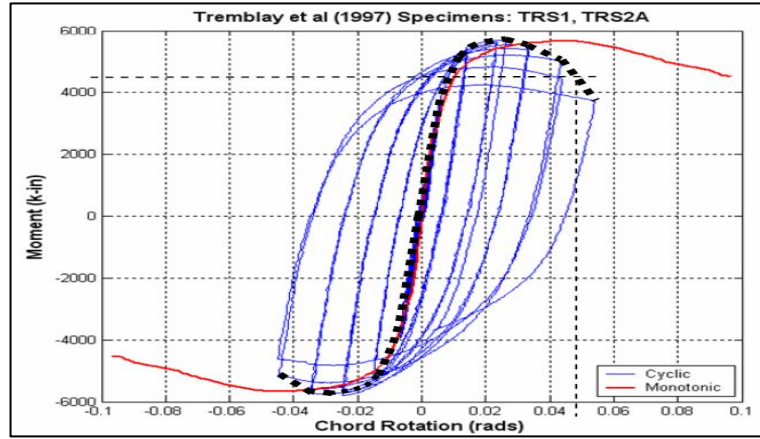


Şekil 3.3: Başlangıç omurga eğrisi.

Şekil 3.3’de yapılan tanımlamalar aşağıda açıklanmıştır;

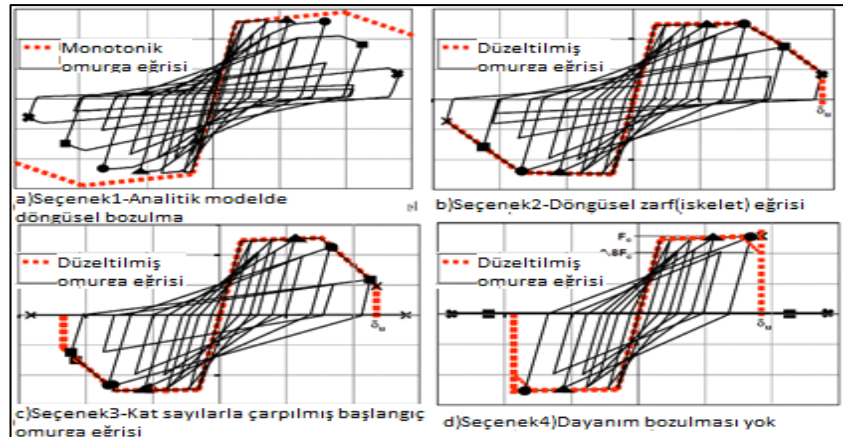
- Efektif akma dayanımı ve deformasyonu, (F_y ve δ_y)
- Efektif elastik rijitlik, ($K_e = F_y / \delta_y$)
- Monotonik yükleme neticesinde oluşan maksimum dayanım ve ona bağlı deformasyon, (F_c ve δ_c)
- Monotonik yükleme neticesinde oluşan maksimum dayanım ile akma dayanımı arasında meydana gelen plastik deformasyon, (δ_p)
- Akma sonrası tanjant rijitlik, ($K_p = (F_c - F_y) / \delta_p$)
- Maksimum dayanım sonrası plastik deformasyon, (δ_{pc})
- Maksimum dayanım sonrası tanjant rijitlik, ($K_{pc} = F_c / \delta_{pc}$)
- Artık dayanım, ($F_r = \kappa F_y$)
- Maksimum deformasyon, (δ_u)

Başlangıç omurga eğrisini elde etmenin üç yolu vardır. Bunlar; (1) Analitik modelleme, (2) Monotonik test ve (3) Döngüsel testten yola çıkarak geri şekillendirme yapmak. Döngüsel test verilerinden elde edilen zarf eğrisi ile monotonik yüklemekten elde edilen başlangıç omurga eğrisinin karşılaştırılması Şekil 3.4 ‘de verilmiştir [ATC, 2010].



Şekil 3.4: Bir çelik kiriş için yapılan döngüsel ve monotonik yükleme sonrası elde edilen Moment-Dönme ilişkisi.

Son olarak, döngüsel bozulmayı doğru bir şekilde hesaba katmak için, eleman davranışını modelleyen dört analitik model seçeneği Şekil 3.5’de verilmiştir [ATC, 2010].



Şekil 3.5: Döngüsel bozulmayı içeren analitik modeller.

Seçenek-1’de, döngüsel bozulma açıkça dahil edilmiştir. Döngüsel bozulma, yükleme geçmişinin bir işlevi olarak “içe doğru” hareket eden bir referans sınır yüzeyine sahip başlangıç omurga eğrisini kullanarak analitik modelde açıkça yer alır.

Seçenek-2’de, Döngüsel zarf (iskelet) eğrisi biliniyorsa (örneğin, genel olarak kabul edilen bir yükleme protokolünü izleyen bir döngüsel testten), bu eğriyi analitik modelleme için değiştirilmiş omurga eğrisi olarak kullanmak ve ek döngüsel bozulmayı yok saymak kabul edilebilir. Döngüsel zarf (iskelet) eğrisi tarafından oluşturulan sınırlar analizde aşılmamalıdır (yani nihai deformasyon, δ_u , döngüsel testte kaydedilen maksimum deformasyonla sınırlı olmalıdır). Bu yaklaşımı kullanırken, çevrimsel zarf eğrisinin negatif rijitlik (deformasyon veya dayanım kaybı) kısmı analitik modelde modifiye omurga eğrisinin bir parçası olarak dahil edilmelidir.

Seçenek-3’de, yalnızca ilk (monotonik) omurga eğrisi biliniyorsa ve analitik modele döngüsel bozulma dahil edilmemişse (yani, ilk omurga eğrisi döngüsel yükleme için hareketli olmayan bir sınır olarak kalır), o zaman döngüsel bozulma etkilerini yaklaşık olarak hesaba katmak için omurga eğrisinin şekli değiştirilmelidir. Modifikasyon faktörlerinin sayısal değerleri, malzemeye ve yapısal elemanların konfigürasyonuna bağlı olabilir. Betonarme ve çelik yapı bileşenleri için veritabanı bilgilerinin değerlendirilmesine dayanarak (Haselton ve Deierlein, 2007; Lignos ve Krawinkler, 2007; Lignos, 2008), değerlerde önemli farklılıklar olsa bile, bu tür değişiklik faktörlerinin uygulanması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu faktörlerin. Yapı elemanına özgü daha doğru veriler yoksa, değiştirilmiş bir omurga eğrisi parametreleri için şu değerler önerilir:

- F_c yerine $F_c' = 0.9F_c$ (Ancak bu değer F_y ’den aşağı olamaz)
- δ_p yerine $\delta_p' = 0.7\delta_p$
- δ_{pc} yerine $\delta_{pc}' = 0.5\delta_{pc}$
- F_r yerine $F_r' = 0.7F_c$
- δ_u yerine $\delta_u' = 1.5\delta_c$

Seçenek-4’de, Modifiye edilmiş bir omurga eğrisinin negatif tanjant rijitliği kısmı analitik modelde yer almıyorsa (yani, bozulmayan bir model kullanılırsa), bir modelin nihai deformasyonu δ_u , δ_c olarak alınmalıdır.

Analitik davranış modelini oluştururken ortalama (beklenen) malzeme dayanımları dikkate alınır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018) belirtilen bu değerler Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Ortalama (beklenen) malzeme dayanımları.

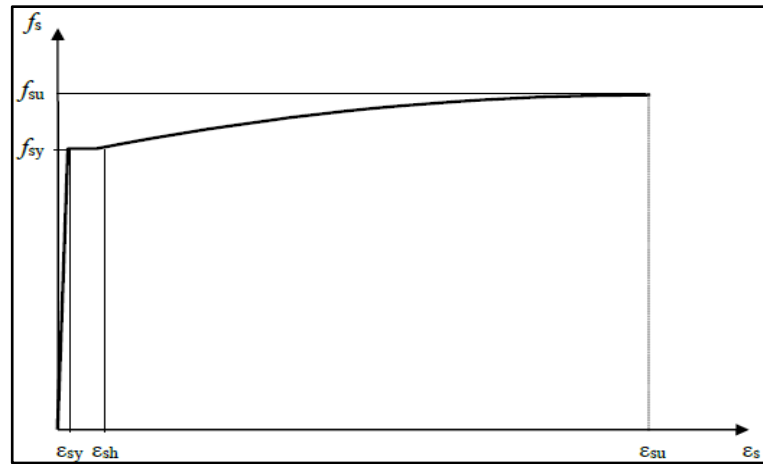
Beton	$f_{ce} = 1.3 f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ye} = 1.2 f_{yk}$
Yapı çeliği (S235)	$f_{ye} = 1.5 f_{yk}$
Yapı çeliği (S275)	$f_{ye} = 1.3 f_{yk}$
Yapı çeliği (S355)	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$
Yapı çeliği (S460)	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$

3.2.3. Yapı Malzeme Modelleri

Yapı malzeme modellerine özellikle kabuk elemanlarda kullanılan kesit hücresi (lif) modellerini tanımlarken ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapılarda malzeme olarak genelde çelik ve beton kullanılmaktadır.

Çelik, homojen bir malzeme olduğu için sınıfına bağlı olarak labaratuvar ortamlarında yapılan çekme deneyleri ile doğrusal olmayan davranışı yansıtan gerilme-şekil değiştirme grafiği olarak kolayca modellenebilmektedir. Türkiye deprem yönetmeliğinde Ek-5A.2 'de donatı çeliği için bir analitik model önerisi vardır. Bu modelde, sınır dayanımları ile birim şekil değiştirme arasında bağlantıyı yansıtan bir grafik tanımlanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Donatı çeliği Gerilme-Şekil Değiştirme grafiği.

Grafikte gerilmeleri hesaplayabilmek için elastisite modülüne ve birim uzama değerlerine bağlı olarak (3.1), (3.2) ve (3.3) denklemleri ve çelik sınıflarına bağlı olarak deneyler sonucu elde edilen sınır değerler (Tablo 3.2) verilmiştir.

$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \quad (3.3)$$

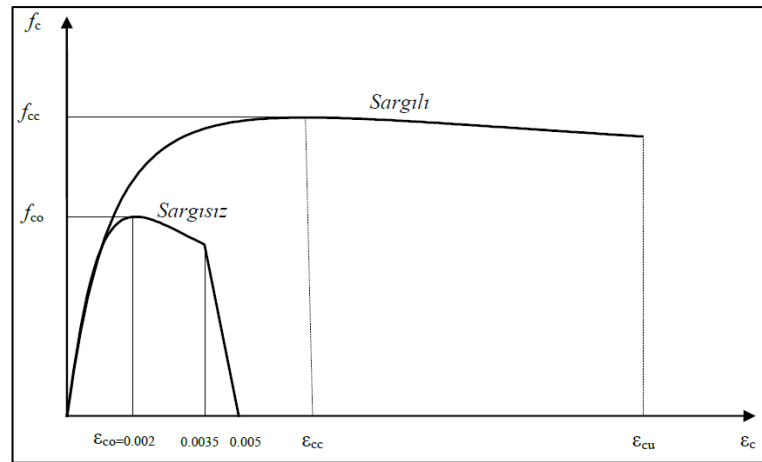
$$f_s = f_{sy} \quad (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \quad (3.4)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}) \quad (3.5)$$

Tablo 3.2: Donatı çelik sınıflarına göre sınır değerler.

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} / f_{sy}
S220	220	0.001	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.002	0.008	0.08	1.15 – 1.35
B420C	420	0.002	0.008	0.08	1.15 – 1.35
B500C	500	0.002	0.008	0.08	1.15 – 1.35

Beton için durum biraz farklıdır. Kesit tasarımına bağlı olarak sargısız ve sargılı beton modelleri vardır. Türkiye deprem yönetmeliği, sargılı beton modelinde doğrusal olmayan davranışı yansıtan analitik modeli oluşturmak için Mander metodunu [Mander et al., 1988] önermektedir. Sargısız ve sargılı betonun basınç gerilmesi ile basınç birim şekil değiştirmesi arasındaki doğrusal olmayan ilişki gösteren model Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Sargısız ve sargılı betonun doğrusal olmayan davranışlarını yansıtan analitik modeller.

Şekil 3.7'deki değerlerin hesaplamalarını sağlayan denklemler (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5) ve (3.6)'da verilmiştir.

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r - 1 + x^r} \quad (3.1)$$

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad ; \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (3.2)$$

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad (3.3)$$

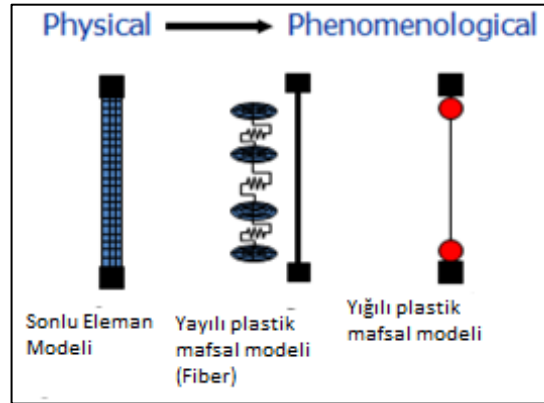
$$k_e = \left[1 - \frac{\sum a_i^2}{6 b_o h_o} \right] \left[1 - \frac{s}{2 b_o} \right] \left[1 - \frac{s}{2 h_o} \right] \left[1 - \frac{A_s}{2 b_o h_o} \right]^{-1} \quad (3.4)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad ; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \varepsilon_{co} \cong 0.002 \quad (3.5)$$

$$r = \frac{E_c}{E_s - E_{sec}} \quad ; \quad E_c \cong 5000 \sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.6)$$

3.2.4. Doğrusal Olmayan Plastik Davranış Modelleri

Üç temel yapı elemanı modeli vardır. Bunlar; (1) Yığılı plastik mafsallı model, (2) Yayılı plastik mafsallı model ve (3) Sonlu elmanlar süreklilik modeli (Şekil 3.8).



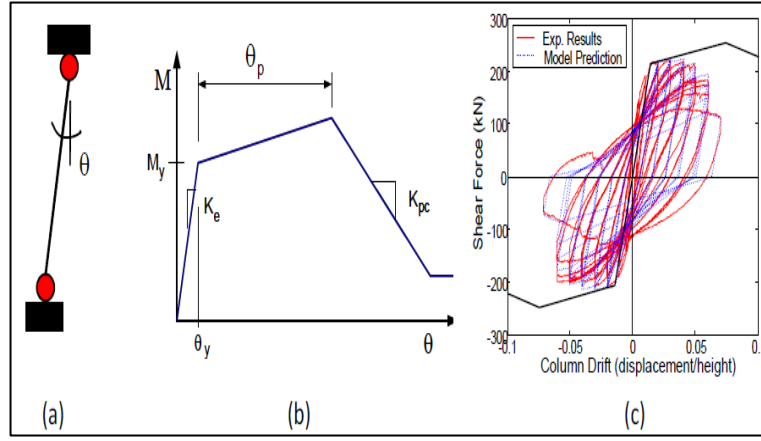
Şekil 3.8: Plastik mafsallı modelleri.

3.2.4.1. Yığılı Plastik Davranış (Plastik Mafsallı) Modeli

Kuvvet-deformasyon ilişkisini yansıtan ve yapı elemanlarında muhtemel en çok zorlanan bölgelere atanan en basit plastik mafsallı modelidir. Kolon ve kiriş gibi

çubuk elemanlarda, doğrusal olmayan davranışı tanımlamak için bu model kullanılır. Kiriş- kolon birleşim bölgelerinin hemen dışı, yapılan birçok test ve deprem sonrası gözlemlerde yatay yükler altında plastik mafsall oluşumunun gerçekleştiği yerlerdir. Bu nedenle yapı modellemesinde kiriş ve kolonlar için yığılı plastik mafsall atamaları bu bölgelere yapılır (Şekil 3.9).

Şekil 3.9 (a)'da kolon üzerinde yığılı plastik mafsallın atandığı bölgeler, (b)'de moment- dönme ilişkisini gösteren ve doğrusal olmayan davranışı yansıtan analitik başlangıç omurga eğrisi modelini, (c)'de ise kesme kuvveti- görel kat ötelemesi ilişkisini yansıtan deneysel sonuçlar ile tanımlanan model karşılaştırılması gösterilmiştir [ATC, 2010].



Şekil 3.9: Kolon için tanımlanmış yığılı plastik mafsall modeli.

Kirişlerde plastik mafsall oluşumu eğilme kuvveti altında gerçekleşen dönme ile meydana gelir. Kirişler için tanımlanacak yığılı plastik modelinde, omurga eğrisi sabit ve moment-dönme ilişkisi üzerine tanımlamak yeterli olacaktır.

Kolonlarda durum biraz farklıdır. Çünkü kolonlar eksenel kuvvet etkisi altındadır. Kolonlarda yığılı plastik mafsall modeli oluştururken dinamik yükler altında değişen eksenel kuvvete bağlı olarak sürekli değişen moment-eğrilik ilişkisini göz önünde tutmalıyız. Bu değişim moment-dönme ilişkisine de yansımaktadır. Bu nedenle sabit bir omurga eğrisi tanımlamak yanlış olacaktır.

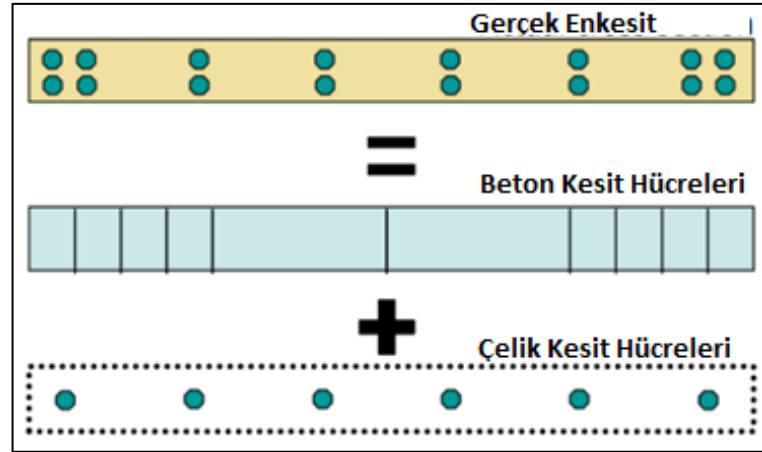
Yığılı Plastik Davranış Modeli'nde iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği bölgeler boyunca, plastik şekildeğıştirmelerin düzgün yayılı olarak oluştuğu varsayılmaktadır. Plastik mafsall boyu olarak tanımlanan plastik şekildeğıştirme bölgesi'nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit olduğu kabulü yapılır ($L_p = 0.5h$). Plastik mafsall bu bölgenin tam ortasına

yerleştirilir.

3.2.4.2. Yayılı Plastik Davranış Modeli

Eleman ve kesit boyunca eğilme gerilmesi-birim uzama ilişkisi gibi bazı davranış özelliklerini ve betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisini gösteren plastik davranış modelleridir. Yayılı plastik davranış modelleri, sonlu uzunluktaki uç bölgeleri (plastik şekil değiştirme bölgeleri) veya elemanın tüm uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri sürekli (yayılı) biçimde göz önüne almak üzere kullanılabilirler.

Perde gibi kabuk elemanların modellenmesinde, kesiti içinde betonun ve yapısal çeliğin yeteri kadar küçük hücrelerle, çelik donatı çubuklarının ise tekil olarak modellendiği ve her bir hücrede doğrusal olmayan eksenel gerilme birim şekil değiştirme bağıntılarının çevrimsel olarak gözönüne alınabildiği yayılı plastik davranış modelini içeren kesit hücresi (lif) modeli kullanılır (Şekil 3.10). Bu modeller tipik olarak, tek eksenli malzeme tepkisinin açık bir şekilde modellenmesi ile birlikte bazı davranış varsayımlarını uygular [Tuna, 2012].

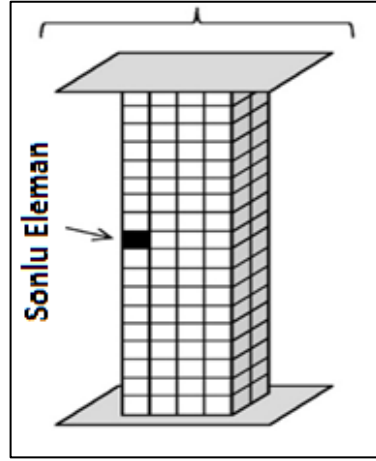


Şekil 3.10: Yayılı plastik davranış modeli (kesit hücresi modeli).

Ayrıca kompozit kolon elemanlarının plastik davranış modeli olarak yine bu model kullanılabilir. Beton ve yapı çeliğini küçük kesit hücrelere ayırarak yayılı plastik davranış modeli oluşturulabilir.

3.2.4.3. Sonlu Elemanlar Süreklilik Modeli

Bu modelle, malzemenin doğrusal olmayan davranışını ve elemanı oluşturan öğelerin doğrusal olmayan davranışları ayrıntılı bir şekilde modellenebilir. Bir sonlu elemanlar süreklilik modeli oluşturulurken, beton, boy donatı ve kayma donatılarıyla ilgili olarak (1) betonda kırılma, çatlama ve genişleme; (2) çelikte akma, burkulma ve kırılma, (3) çelik ve beton arasında bağ transferleri gibi etkiler göz önüne alınabilmektedir. Bu modeller, genellikle önceden tanımlanmış herhangi bir davranışsal modu kullanmaz. Bunun yerine, malzemelerin ve öğelerin temelini oluşturan fiziki modellemeye çalışır. Bu özellikler modelde malzeme özellikleri yoluyla yakalandıklarından, elemanların rijitliği, dayanımı veya deformasyon kapasitesinin tanımlarını gerektirmezler. Bu modelin oluşturulması oldukça zor olmakla birlikte daha hassas bir davranış modeline sahiptir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Sonlu elemanlar süreklilik modeli.

3.3. Performans Hedefleri

Performans esaslı tasarımı benimseyen her ülkenin yönetmeliklerinde doğrusal olmayan analiz yöntemleri için değerlendirmeye esas tutulacak performans düzeyleri vardır. Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde 4 tane bina performans düzeyi belirlenmiştir. Bunlar; Kesintisiz Kullanım (KK) performans düzeyi, Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi, Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi, Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyidir.

- Kesintisiz Kullanım (KK) performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı

duruma karşı gelmektedir.

- Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.
- Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir.
- Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.

Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde bu performans düzeyleri için gerekli sınır şartları koymak için bir takım denklemler önerilmiştir. Bu denklemler;

- Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi için beton birim kısalması;

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (\text{Dikdörtgen kesitlerde}) \quad (3.7)$$

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (\text{Dairesel kesitlerde}) \quad (3.8)$$

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (3.9)$$

$$\alpha_{se} = \left[1 - \frac{\sum a_t^2}{6b_0h_0}\right] \left[1 - \frac{s}{2b_0}\right] \left[1 - \frac{s}{2h_0}\right]; \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (\text{Dikdörtgen kesitlerde}) \quad (3.10)$$

$$\alpha_{se} = \left[1 - \frac{s}{2D}\right]^n; \rho_{sh} = \frac{2A_{os}}{DS} \quad (\text{Dairesel sargı donatısı için}) \quad (3.11)$$

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (3.12)$$

- Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için yığılı plastik davranış modeline göre hesaplanan dönme;

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\varphi_u - \varphi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \varphi_u d_b \right] \quad (3.13)$$

- Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi için;

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} \quad ; \quad \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} \quad (3.14)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(G\ddot{O})} \quad (3.15)$$

- Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi için;

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad ; \quad \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (3.16)$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (3.17)$$

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde tasarlanacak ve değerlendirilecek yapıların sınıflarına, deprem yer hareketi düzeylerine ve değerlendirme/tasarım yaklaşımına göre 'normal performans hedefi' ve 'ileri performans hedefi' diye adlandırılan performans hedefleri belirlenmiştir. Yüksek yapılarda tasarım aşamalarına göre bu iki performans hedefi birlikte istenmektedir. Yüksek yapı sınıfına giren (BYS=1) yapılar için tasarım aşamalarına göre istenen performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3: Yüksek yapılar için performans hedefleri ve değerlendirme/tasarım yaklaşımları.

Tasarım Aşaması	Deprem Düzeyi	Normal Performans hedefi		İleri Performans Hedefi	
		Performans Düzeyi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	Performans Düzeyi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
Tasarım II	DD-4	KK	DGT-ŞGDT	--	--
Tasarım II	DD-3	--	--	HK	ŞGDT
Tasarım I	DD-2	CG	DGT	CG	DGT
Tasarım III	DD-1	GÖ	ŞGDT	CG	ŞGDT

3.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden differansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonudur. Farklı deprem yer hareketi seviyelerinde binanın davranışını öngörmek için mevcut en iyi analiz yöntemidir.

Bu analiz yöntemiyle, hasarın başlamasından çökmeye kadar yapıdaki tüm önemli deformasyon ve bozulma modlarının tespiti amaçlanır. Bununla birlikte, mevcut analitik yetenekler ve tasarımın pratik kısıtlamaları göz önüne alındığında, analizdeki tüm doğrusal olmayan davranış modlarını doğrudan yansıtmak genellikle mümkün değildir. Kabul kriterleri, bileşenlerin ayrıklaştırılması ve viskoz sönümleme yoluyla enerji yayılımının modellenmesine ilişkin varsayımlar gibi doğrusal olmayan analizlerin çeşitli parametreleri, sistemin analitik modelinde bulunan doğrusal olmayan eleman modelleriyle uyumlu hale getirilmelidir.

Analiz esnasında yapıda, doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistemin rijitlik matrisinde zamana bağlı olarak sürekli değişim meydana gelir. Her değişimde rijitlik matrisi yeniden kurulur. Bu durum yapı periyodunu değiştirmekle beraber, sistemin sönüm matrisinin de sürekli değişmesine neden olur. Bu yüzden sönüm matrisi bu analiz yöntemi için belirli aralıkta değişen bir fonksiyon olarak tanımlanması gerekir. Kütleye ve rijitliğe bağlı olarak tanımlanan Rayleigh sönüm fonksiyonu, bu değişimi yansıtmak için idealdir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yönteminde deprem yer hareketleri, zamana bağlı ivme kayıtları yardımıyla yapı modeline yansıtılır. Bu ivme kayıtlarının seçimi yapılırken zemin özelliklerini, kaynak mekanizmalarını ve fay mesafelerini göz önüne almak gerekir. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtlarıyla birlikte en az 11 deprem ivme kaydı seçilir. Seçilen deprem ivme kayıtları tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyine göre ölçeklendirilir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde basit ölçeklendirme yöntemi tavsiye edilmektedir. Bu yöntem gereği;

- Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilir.
- Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, tasarıma esas spektrumun aynı periyot

aralığındaki genliklerine oranının 1.3 katından daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilir.

- Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile yapılır.

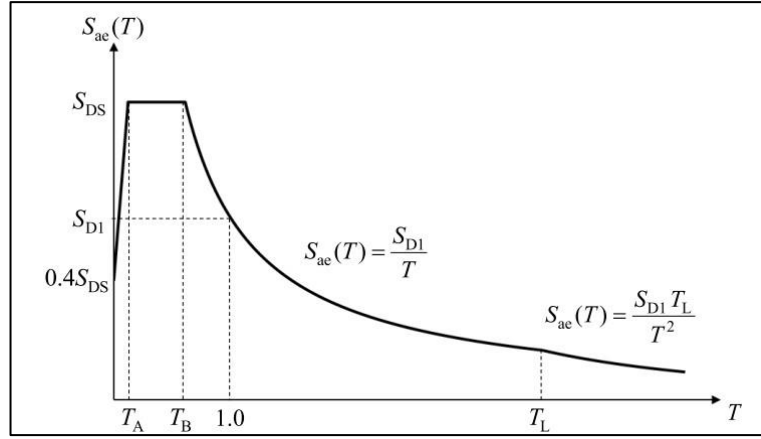
Ölçeklendirilen deprem ivme kayıtları yapının X ve Y asal eksenleri doğrultusunda yük kombinasyonlarını dikkate alarak aynı anda etki ettirilir. Daha sonra eksenleri 90° döndürülerek bu ivme kayıtları tekrar etki ettirilir.

3.5. Türkiye Deprem Yönetmeliği Yüksek Yapı Tasarım Aşamaları

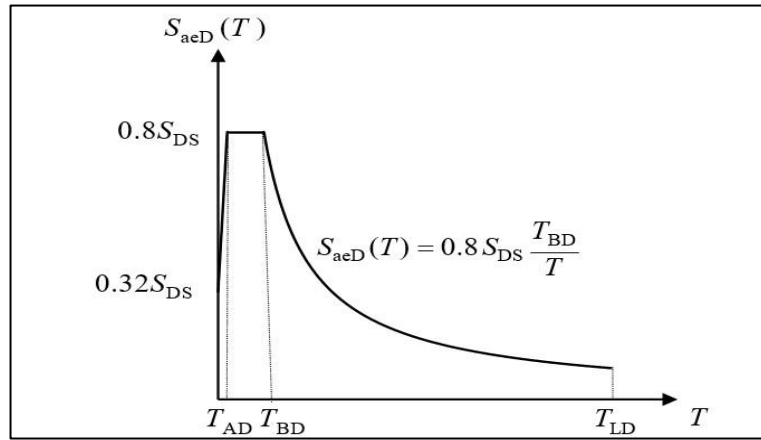
Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde yüksek yapı ile ilgili tasarım kuralları Bölüm 13'de kendine yer bulmuştur. Tasarım için 3 aşamalı bir yol izlenmektedir. Bunlar;

- Ön tasarım için Tasarım I aşaması,
- Kesintisiz kullanım veya sınırlı hasar performans değerlendirmesi için Tasarım II aşaması
- Göçmenin önlenmesi veya kontrollü hasar performans değerlendirmesi için Tasarım III aşaması

Bu tasarım aşamalarında doğrusal analizler için ve deprem kayıtlarını ölçeklendirmek için kullanılacak Elastik Tasarım İvme Spektrumları, Bölüm 2'de tanımlandığı şekilde oluşturulur. Bu tanıma göre yatay ve düşey olmak üzere iki ivme spektrumu vardır (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13).



Şekil 3.12: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu.



Şekil 3.13: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu.

Bu spektrumlar boyutsuz olup, %5 sönüm ve $(V_s)_{30} = 760$ m/s kayma hızına sahip zemin koşullarını baz alarak oluşturulmuştur. Spektrumlarda yer alan S_{DS} ve S_1 kat sayıları lokasyona bağlı olarak, www.tdth.afad.gov.tr 'de yer alan harita spektral ivme katsayılarını (S_s, S_1), (3.18) ve (3.19) denklemleriyle dönüştürülür.

$$S_{DS} = S_s \cdot F_s \quad (3.18)$$

$$S_{D1} = S_1 \cdot F_1 \quad (3.19)$$

Burada F_s ve F_1 yerel zemin katsayılarını göstermektedir. Bu değerler, yerel zemin sınıflarına ve harita spektral ivme katsayılarını (S_s, S_1) bağlı olarak Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Katsayıları.

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için <i>Yerel Zemin Etki Katsayısı</i> F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır</i>					

Tablo 3.5: Uzun Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Katsayıları.

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için <i>Yerel Zemin Etki Katsayısı</i> F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					

3.5.1. Tasarım I Aşaması

Bu tasarım aşamasında hedef, yüksek yapı taşıyıcı sisteminin ön tasarımını gerçekleştirmektir. Değerlendirme/tasarım yöntemi olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin Bölüm 4'de yer alan Dayanıma Göre Tasarım (DGT) kullanılır. Eleman boyutlandırması için yine yönetmeliğin Bölüm 7, Bölüm 8 ve/veya Bölüm 9'da verilen esaslar kullanılır.

Mod Birleştirme Yöntemi ve Mod Toplama Yöntemi gibi doğrusal analiz yöntemlerinin kullanılacağı bu tasarım aşamasında deprem hesabı kapsamında DD-2 deprem yer hareketi kullanılır.

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

DGT'ye göre yapılan tasarımda yapı sünekliliğini dikkate almak için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) yönetmelikteki

ilgili tablolardan okunur. Böylelikle azaltılmış iç kuvvetler elde edilir. Fakat bu azaltılmış iç kuvvetler (3.20)'de belirtilen denklemle elde edilen minimum taban kesme kuvvetinin, doğrusal analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetine oranına bağlı olarak büyütülür (3.22).

$$V_{t,min} = 0.04\alpha_H \cdot m_t \cdot S_{DS} \cdot g \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned} \alpha_H &= 1.0 & H_N &\leq 105\text{m} \\ \alpha_H &= 2.05 - 0.01H_N & 105\text{m} &\leq H_N \leq 155\text{m} \\ \alpha_H &= 1.0 & 155\text{m} &\leq H_N \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$\beta_{tE}^{(x)} = \frac{r_E V_{tE}^{(x)}}{V_{tx}^{(x)}} \quad (3.22)$$

3.5.2. Tasarım II Aşaması

Bu tasarım aşamasında hedef, ön tasarımı yapılan taşıyıcı sistem elemanlarının, normal performans hedefi için DD-4 deprem yer hareketi altında DGT yaklaşımıyla Kesintisiz Kullanım (KK) performans hedefini, ileri performans hedefi için ise DD-3 deprem yer hareketi altında ŞGDT yaklaşımıyla Sınırlı Hasar (SH) performans hedefini sağlamak üzere doğrusal veya doğrusal davranışa çok yakın durumda oldukları kanıtlamaktır.

Normal performans hedefi için DGT yaklaşımı uygulanırken betonarme elemanlar için Tablo 3.6 'da belirtilen etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılır. Bu hedef için modal hesap yöntemleriyle doğrusal analiz yapılır.

İleri performans hedefi için ise zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılır. Bu analiz için kritik (kesme) ve kritik olmayan (sünek) iç kuvvetlerin değerlendirilmesi için en az 2x11 deprem ivme kaydı gereklidir.

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
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	1.00	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	1.00
Çubuk eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0.30	1.00
Çerçeve kirişi	0.70	1.00
Çerçeve kolonu	0.90	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.80	1.00

Ek dış merkezlik etkisi dikkate alınmaz. Sönüm oranı %2.5 alınır. Doğrusal analizden elde edilen iç kuvvetlerin hesabında $R/I=1$ ve $D=1$ alınacaktır. Minimum taban kesme kuvveti koşulu uygulanmayacaktır.

3.5.3. Tasarım III Aşaması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Bölüm 13’de belirtildiği üzere analiz yöntemi olarak, DD-1 deprem etkisi altında ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtlara göre “Zaman Tanım Alanında” doğrusal olmayan 3 boyutlu analiz yapılacaktır. Kritik (kesme) ve kritik olmayan (sünek) iç kuvvetlerin değerlendirilmesi için en az 2x11 deprem ivme kaydı gerekli olmasına karşılık teknik imkansızlık nedeniyle bu tez kapsamında 2x3 deprem ivme kaydı dikkate alınmıştır. Bu kayıtlarla ilgili kayıt bilgileri ve şekilleri Tablo 5.6 ve Şekil 5.5’de daha önce belirtilmiştir.

Ek dışmerkezlik etkisi dikkate alınacaktır. Göz önüne alınacak modlarda sönüm oranı %2.5 alınarak Rayleigh orantılı sönüm matrisi oluşturulacaktır.

Hedef performansı olarak; DD-1 deprem yer hareketi altında normal performans hedefi olarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ) veya ileri performans hedefi olarak Kontrollü Hasar (KH) performans hedefleri sağlanacaktır.

İç kuvvet kapasite hesaplarında kullanılmak üzere yönetmelikte verilen ortalama (beklenen) malzeme dayanımları kullanılacaktır (Tablo 3.1).

3.6. Sönüm Matrisi

Türkiye Deprem Yönetmeliğinde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde için hareket denklemlerinde kullanılmak üzere, viskoz sönüm matrisinin oluşturulması istenmektedir. Yönetmeliğin viskoz sönüm matrisi olarak tavsiye ettiği

sönüm matrislerinden ‘Rayleigh Orantılı Sönüm Matrisi’ kullanılmıştır.

Rayleigh sönüm fonksiyonu kütle ve rijitlik matrisi olmak üzere iki parametreden oluşmaktadır (3.23).

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (3.23)$$

α ve β katsayıları denklem (3.24), (3.25) ve (3.26) deki denklemlerin yardımıyla hesaplanacaktır.

$$\alpha = 2\zeta_1 \omega_1 - \beta \omega_1^2 \quad (3.24)$$

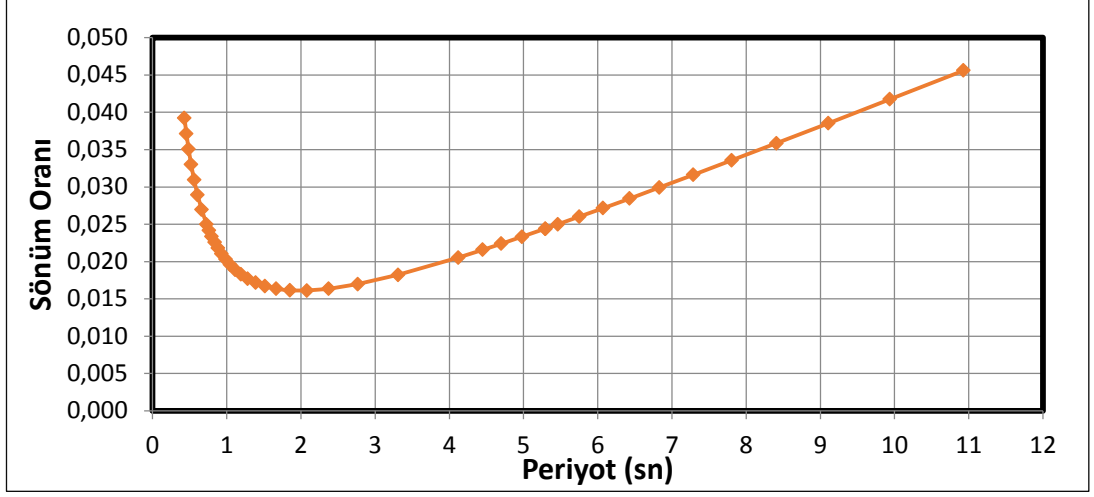
$$\beta = \frac{2\zeta_1 \omega_1 - 2\zeta_2 \omega_2}{\omega_1^2 - \omega_2^2} \quad (3.25)$$

$$\zeta_i = \frac{\alpha}{2\omega_i} + \frac{\beta \omega_i}{2} \quad (3.26)$$

Yukarıdaki bağıntılardan anlaşılacağı üzere kütle ve rijitlik matrislerini etkileyecek kat sayıların belirlenmesinde yapının, titreşim modlarına bağlı olarak hesaplanan açısal frekansları oldukça önemlidir. Yüksek yapılar için yapılacak analizlerde doğru sonuçlar almak için yeteri kadar açısal frekansın doğru tespit edilebilmesi gereklidir. Bunun için sınır titreşim periyotlarının doğru belirlenmesi gerekir. Bu bağlamda inisiyatif kullanılarak, yönetmelikte belirtilen deprem ivme kayıtlarının ölçeklendirilme aralığını tanımlaya sınır periyot katsayıları Rayleigh sönüm fonksiyonu için de kullanılmıştır. Sınır periyotları için alt sınır değer olarak $0.2T_1$, üst sınır değer olarak $1.5T_1$ alınmıştır. Örneğin $T_1=3.636$ sn olan bir yapı için sönüm fonksiyonu sınır değerlerin hesabı ve fonksiyonun grafiği (Şekil 3.14) aşağıda verilmiştir.

$$- \text{Alt sınır değeri} = 0.2 \times 3.636 = 0.727 \text{ sn}$$

$$- \text{Üst sınır değeri} = 1.5 \times 3.636 = 5.454 \text{ sn}$$



Şekil 3.14: Rayleigh sönüm fonksiyonu.

4. SAYISAL UYGULAMA

4.1. Uygulama İle İlgili Ön Bilgiler

Bu bölümde yer alan sayısal uygulamalarda, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği içerisinde ‘Deprem Etkisi Altında Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar’ adıyla yer alan Bölüm 13 esasları izlenecektir. Ön boyutlandırma için analiz yöntemi olarak bu tezin 3.bölümünde detayları verilen Tasarım1 aşamasında belirtilen ve Bölüm4’de yer alan ‘Deprem Etkisi Altında Binaların Dayanıma Göre Tasarım İçin Hesap Esasları’na uygun olarak doğrusal analiz yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemi kullanılacaktır. Analiz sonrası performans kriterleri yine Tasarım1 aşamasına göre değerlendirilecektir. Yapı elemanlarının ön tasarımları Bölüm7 ‘de yer alan ‘Deprem Etkisi Altında Yerinde Dökme Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar’ ve Çelik Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapım Esasları yönetmeliğinde Bölüm 13’te yer alan ‘Kompozit Elemanlar’a göre yapılacaktır. Daha sonra yapının performansa dayalı tasarım ilkeleri doğrultusunda Tasarım3 aşamasında belirtildiği üzere Bölüm 5’de yer alan ‘Deprem Etkisi Altında Binaların Dayanıma Göre Değerlendirme Ve Tasarımı İçin Hesap Esasları’na uygun olarak Zaman tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz yöntemi kullanılacak ve performans değerlendirmeleri yapılacaktır.

Sayısal uygulamaya konu olan yapılar, ofis katlarından oluşan ticari amaçlı yapılardır. Lokasyon olarak İstanbul İli, Ataşehir İlçesi düşünülmüştür.

Bu iki tip yapı modelinde ortak olarak kullanılacak malzeme türlerinin karakteristik özellikleri ve modellemeleri aşağıda verilmiştir. Yine ortak olarak kullanılacak yük türleri aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Kullanılan Malzemeler;

4.1.1.1. Beton

Beton sınıfı olarak C50/60 kullanılmıştır. Bu beton sınıfının doğrusal analizde kullanılmak üzere gerekli olan karakteristik özellikleri Tablo 4.1 ‘de ve sargısız beton olarak ifade edilen gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir. Ayrıca doğrusal olmayan analiz için kullanılacak beklenen değerde belirtilmiştir.

4.1.1.2. Donatı

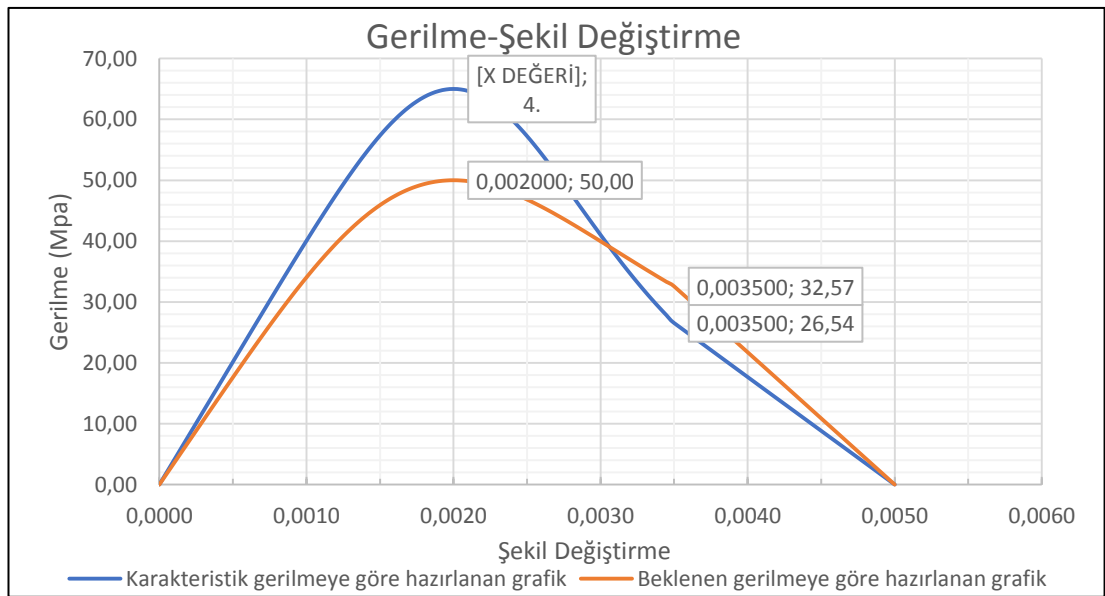
Donatı sınıfı olarak B420C sınıfı çelik kullanılacaktır. Bu çelik sınıfının analizlerde kullanılmak üzere gerekli olan karakteristik özellikleri Tablo 4.2’de ve sargısız beton olarak ifade edilen gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir. Ayrıca doğrusal olmayan analiz için kullanılacak beklenen değerde belirtilmiştir.

4.1.1.3. Çelik

Kompozit kolonlar için S355 çelik sınıfı kullanılacaktır. Bu çelik sınıfının analizlerde kullanılmak üzere gerekli olan karakteristik özellikleri Tablo 4.3’de ve sargısız beton olarak ifade edilen gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir. Ayrıca doğrusal olmayan analiz için kullanılacak beklenen değerde belirtilmiştir.

Tablo 4.1: C50/60 sargısız betonunun mekanik özellikleri.

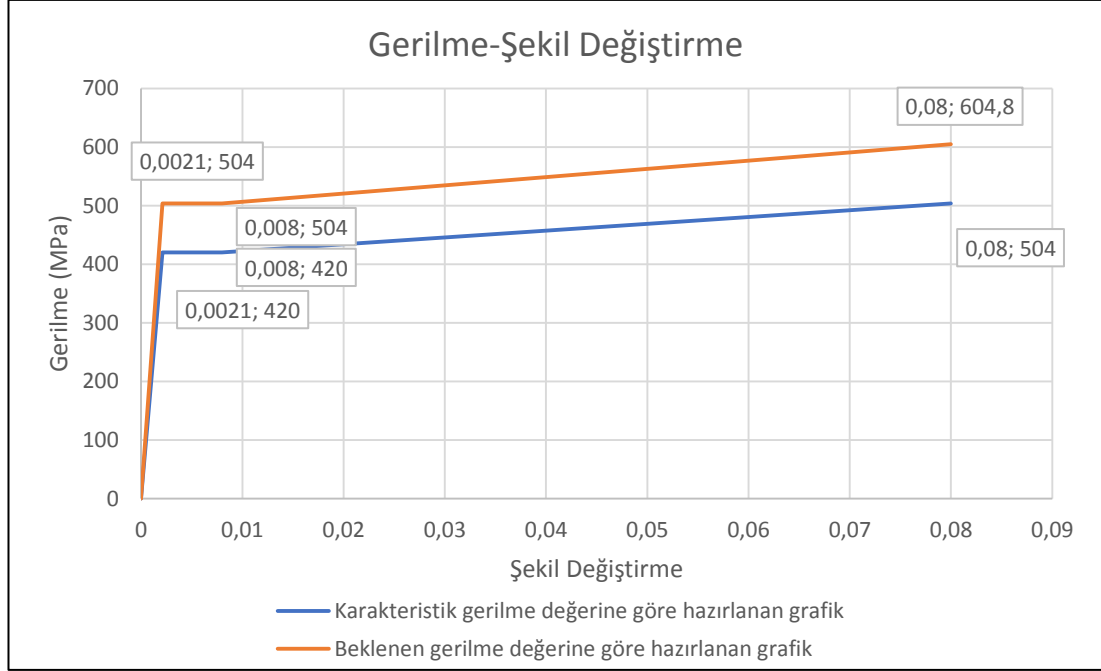
Beton Sınıfı	Karakteristik Dayanım (Mpa)			Tasarım Dayanımı (Mpa)		Eşdeğer Küp (150 mm) Basınç Dayanımı (Mpa)	28 Günlük Elastisite Modülü (Mpa)
	Basınç		Çekme	Basınç	Çekme		
	fck	fce (beklenen)	fctk	fck	fctk		Ec
C50/60	50	65	2.5	33.3	1.65	60	37000



Şekil 4.1: C50/60 sargısız betonunun gerilme-şekil değiştirme grafiği.

Tablo 4.2: B420C donatı çeliğinin mekanik özellikleri.

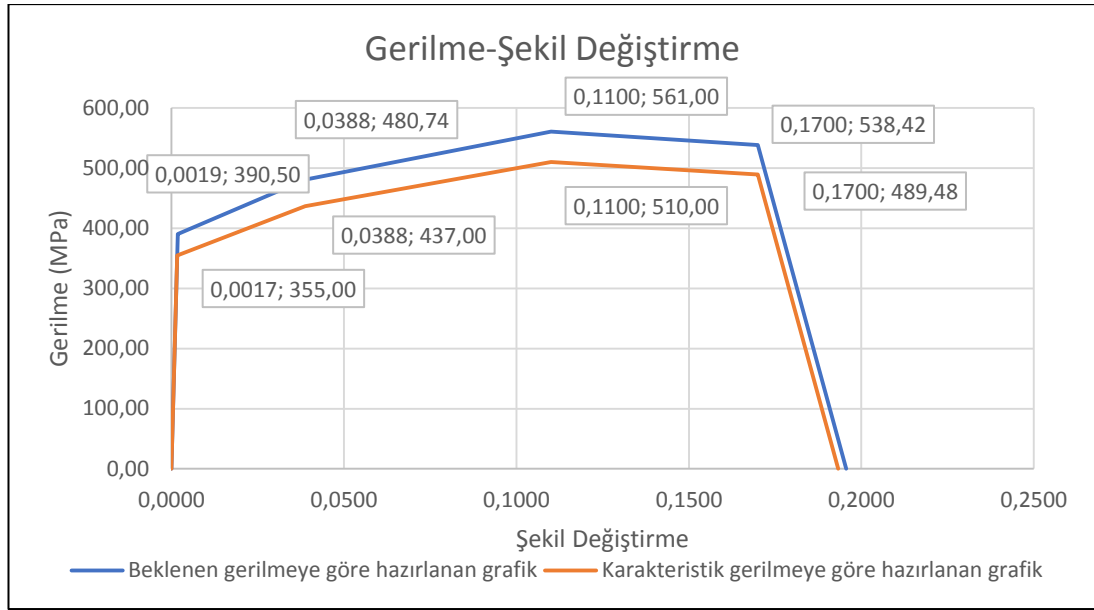
Donatı Sınıfı	f_{sy} (Mpa)	f_{se} (Mpa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su} ($1.2 \times f_{sy}$)	f_{sue} ($1.2 \times f_{sye}$)	E (Mpa)
B420C	420	504	0.0021	0.008	0.08	504	604.8	200000



Şekil 4.2: B420C donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafiği.

Tablo 4.3: S355 profil çeliğinin mekanik özellikleri.

Donatı Sınıfı	f_y (Mpa)	f_{ye} (Mpa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	ϵ_{rap}	f_{su} ($1.2 \times f_{sy}$)	f_{sue} ($1.2 \times f_{sye}$)	E (Mpa)
S355	355	390.5	0.0019	0.015	0.11	0.17	510	561	210000



Şekil 4.3: S355 profil çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafiği.

4.1.2. Yükler

4.1.2.1. Sabit Yükler

Yapı elemanlarının kendi ağırlıkları, döşeme kaplama yükleri ve dış çevre kirişler üzerinde duvar yükleri (Tablo 4.4).

4.1.2.2. Hareketli Yükler

Döşemeler üzerine etkiyen ve TS 498'e göre hesaplanan yükler (Tablo 4.4).

Tablo 4.4: Sabit ve hareketli yükler.

Yük Türleri	Yük adları	Uygulama yeri	Miktarı (KN/m2)
Sabit Yük	G (eleman ağırlıkları)	Tüm yapı elemanları	Değişken
Sabit Yük	G (kaplama yükleri)	Döşemeler üzerine	2.71
Sabit Yük	G (duvar yükleri)	Dış aks kirişleri üzerine	4.00
Hareketli Yük	Q	Hareketli yükler	5.00

4.1.2.3. Deprem Yükleri

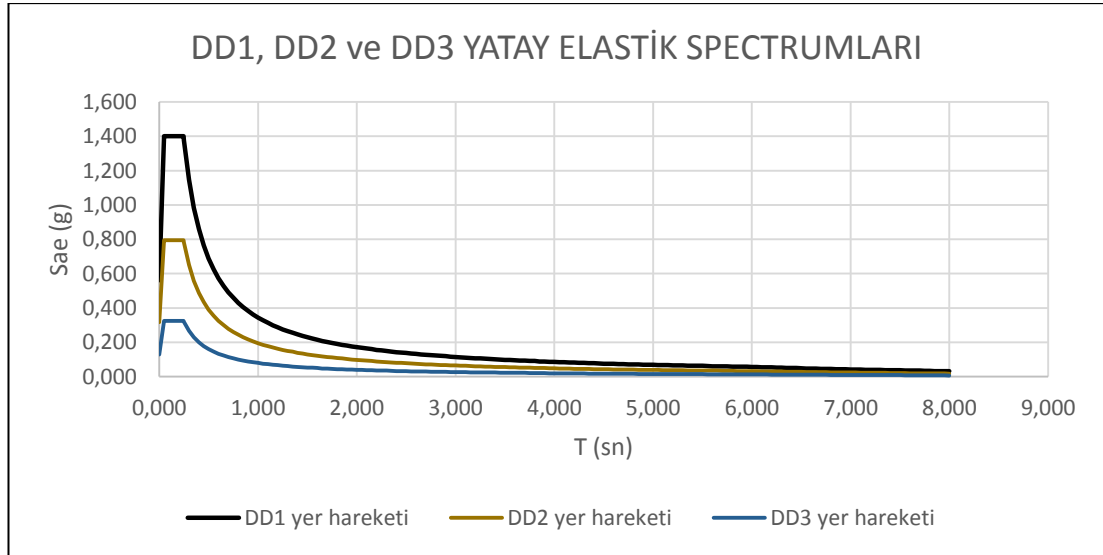
Sismik yer hareketlerinden kaynaklanan ve analiz türüne göre farklı yöntemlerle hesaplanan sismik yüklerdir.

Bu sismik yükler doğrusal analiz yöntemlerinde kullanılmak üzere lokasyona, zemin özelliklerine ve fay hatlarının yapıya olan uzaklıklarına göre oluşturulan DD-2 yatay elastik spektrumları yardımıyla Mod Birleştirme yöntemiyle hesaplanır. Yapının üzerindeki deprem etkisi hesaplamaları yapılırken, Bölüm 3 'de verilen tablolar yardımıyla yapı davranış kat sayıları ve yapı elemanı detaylandırmalarında kullanılmak üzere yük kombinasyonlarından faydalanılır. (Şekil 4.4 ve Tablo 4.5)

Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde ise sismik yükler, zemin özelliklerine, fay türlerine ve mesafelerine bağlı olarak seçilmiş deprem ivme kayıtlarının (Tablo 4.6) DD-1 yatay elastik spektrumlarına göre ölçeklendirilmesiyle, gerçek zamanda etkisi hesaplanır. (Şekil 4.5 - Şekil 4.11 arası)

Tablo 4.5: Tespit edilen DD-1 ve DD-2 yatay elastik spektrumları.

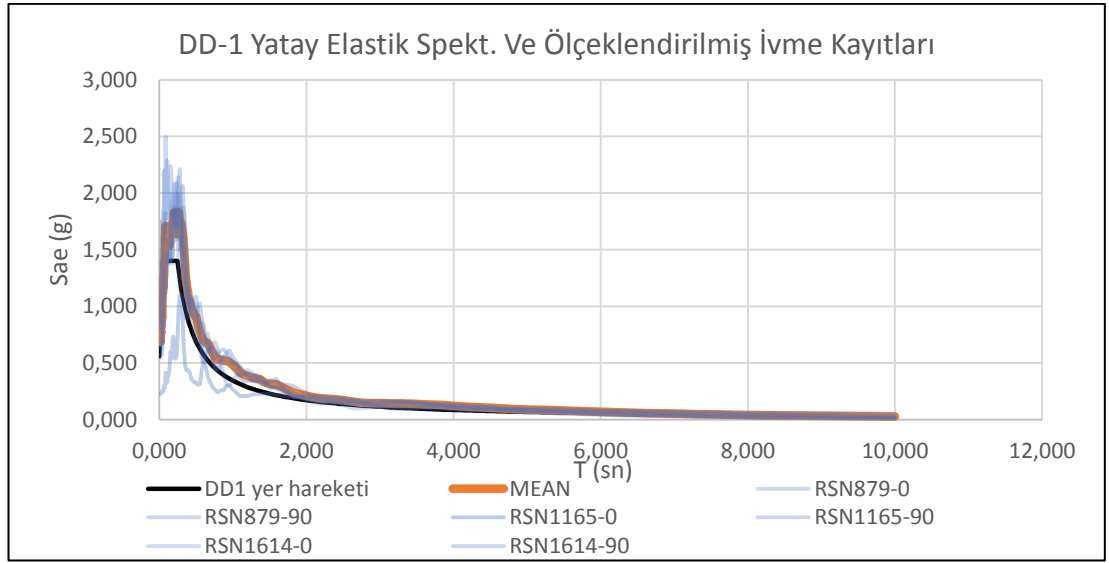
Deprem Yer Hareketi	Yerel Zemin Sınıfı	Lokasyon		S_s (g)	S_1 (g)	PGA (g)	S_{DS} (g)	S_{D1} (g)
		Enlem ($^{\circ}$)	Boylam ($^{\circ}$)					
DD-1	ZB	40.994531	29.125833	1.557	0.430	0.634	1.401	0.344
DD-2	ZB	40.994531	29.125833	0.882	0.244	0.365	0.794	0.195
DD-3	ZB	40.994531	29.125833	0.361	0.100	0.153	0.325	0.080



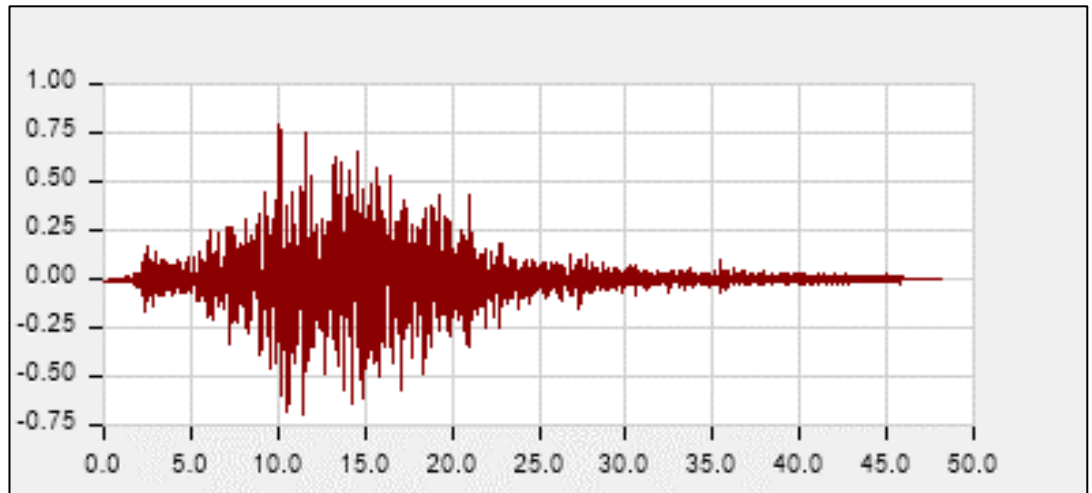
Şekil 4.4: DD-1 ve DD-2 yatay elastik deprem spektrumları.

Tablo 4.6: Seçilen 3 depremin ivme kayıtlarının özellikleri hakkında bilgiler.

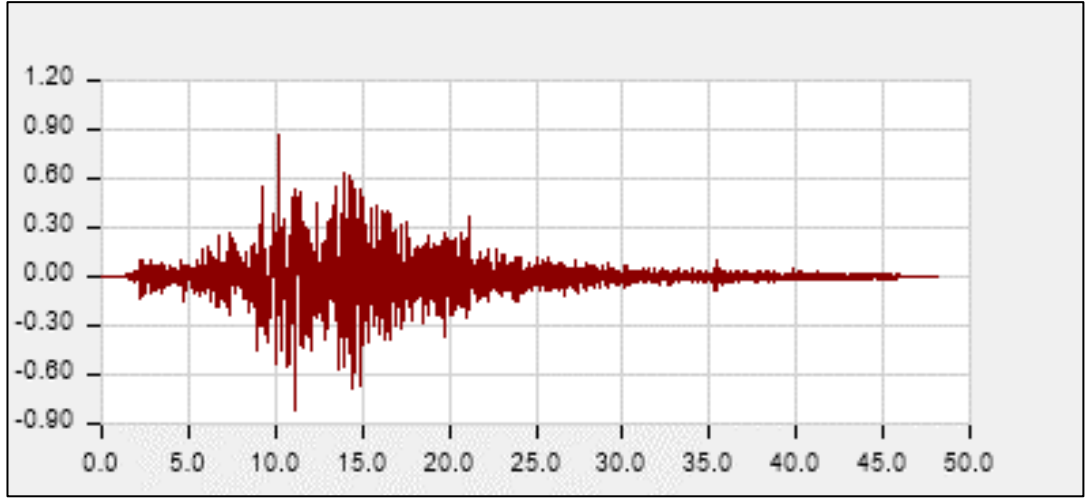
DEPREM	TARİH	İSTASYON	Mw	FAYLANMA MEKANİZMASI	YÖN BİLEŞENİ	FAY UZAKLIĞI, KM	SÜRE (sn)
Landers, USA	1992	"Lucerne"	7.28	Doğrultulu Atımlı	LCN 260 LCN 345	2.19	48.125
Kocaeli, Turkey	1999	"Izmit"	7.51	Doğrultulu Atımlı	IZT 090 IZT 180	3.62	30
Duzce, Turkey	1999	"Lamont 1061"	7.14	Doğrultulu Atımlı	1061-E 1061-N	11.46	42.33



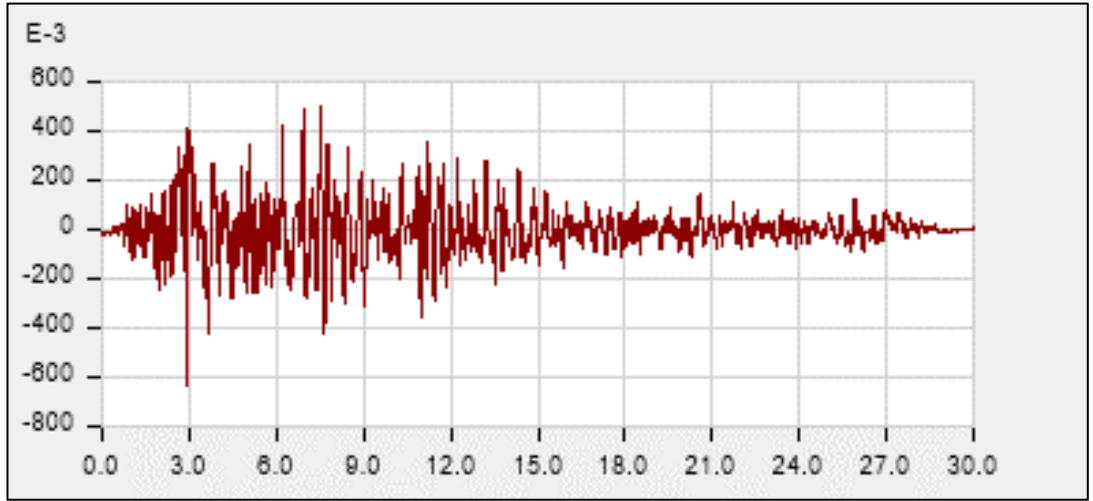
Şekil 4.5: Seçilen depremlerin DD-1 yatay elastik spektruma göre ölçeklendirilmesi.



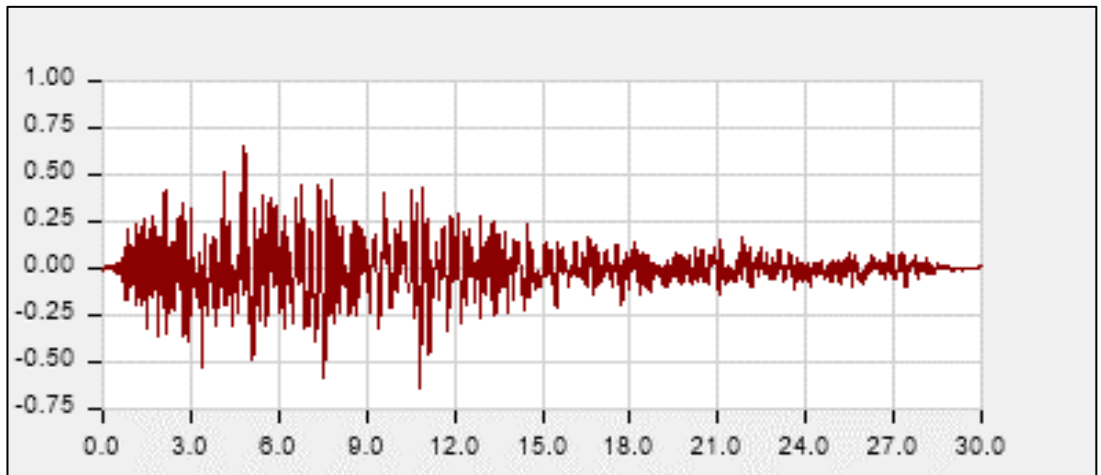
Şekil 4.6: Landers_LCN 260 ölçeklendirilmiş ivme kaydı (RSN879).



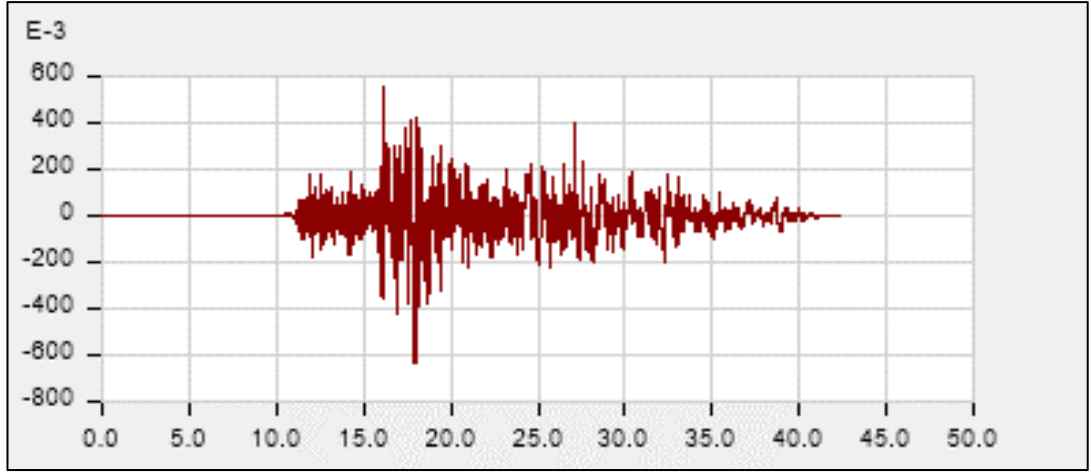
Şekil 4.7: Landers_LCN 345 ölçeklendirilmiş ivme kaydı (RSN879).



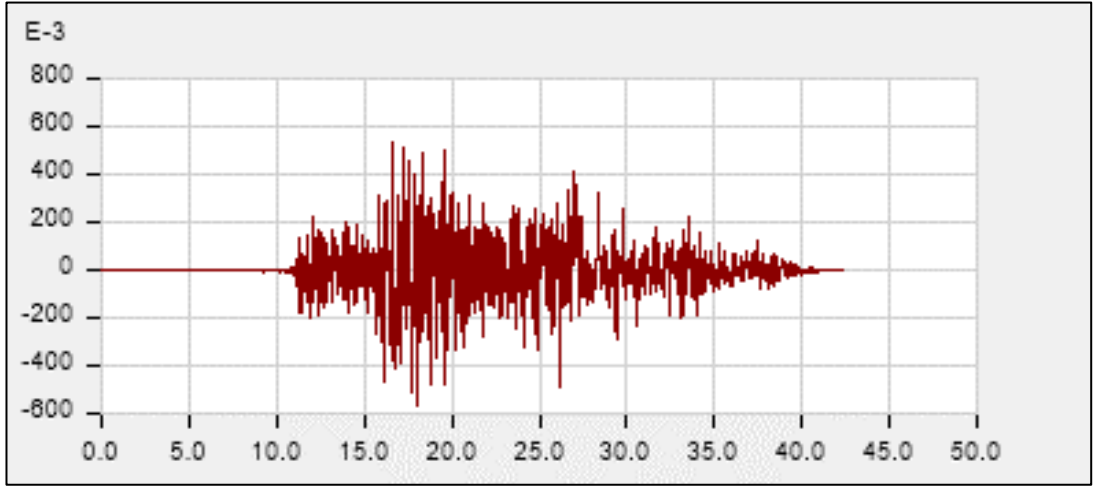
Şekil 4.8: Kocaeli_IZT 090 ölçeklendirilmiş ivme kaydı (RSN1165).



Şekil 4.9: Kocaeli_IZT 180 ölçeklendirilmiş ivme kaydı (RSN1165).



Şekil 4.10: Duzce_1061 E ölçeklendirilmiş ivme kaydı (RSN1614).



Şekil 4.11: Duzce_1061 N ölçeklendirilmiş ivme kaydı (RSN1614).

4.1.2.4. Kullanılan Yük Kombinasyonları

Yapı elemanları için kesit detaylandırmasında kullanılan yük kombinasyonları şunlardır;

$$E_d^{(H)} = \mp E_d^{(X)} \mp 0.3E_d^{(Y)} \quad (4.1)$$

$$E_d^{(H)} = \mp 0.3E_d^{(X)} \mp E_d^{(Y)} \quad (4.2)$$

$$1.4G + 1.6Q \quad (4.3)$$

$$G + Q + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (4.4)$$

$$0.9G + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (4.5)$$

$$1.2G + Q + E_d^{(H)} \text{ (Kompozit kolonlar için)} \quad (4.6)$$

$$E_d^{(Z)} = \left(\frac{2}{3}\right) S_{DS} G \quad (4.7)$$

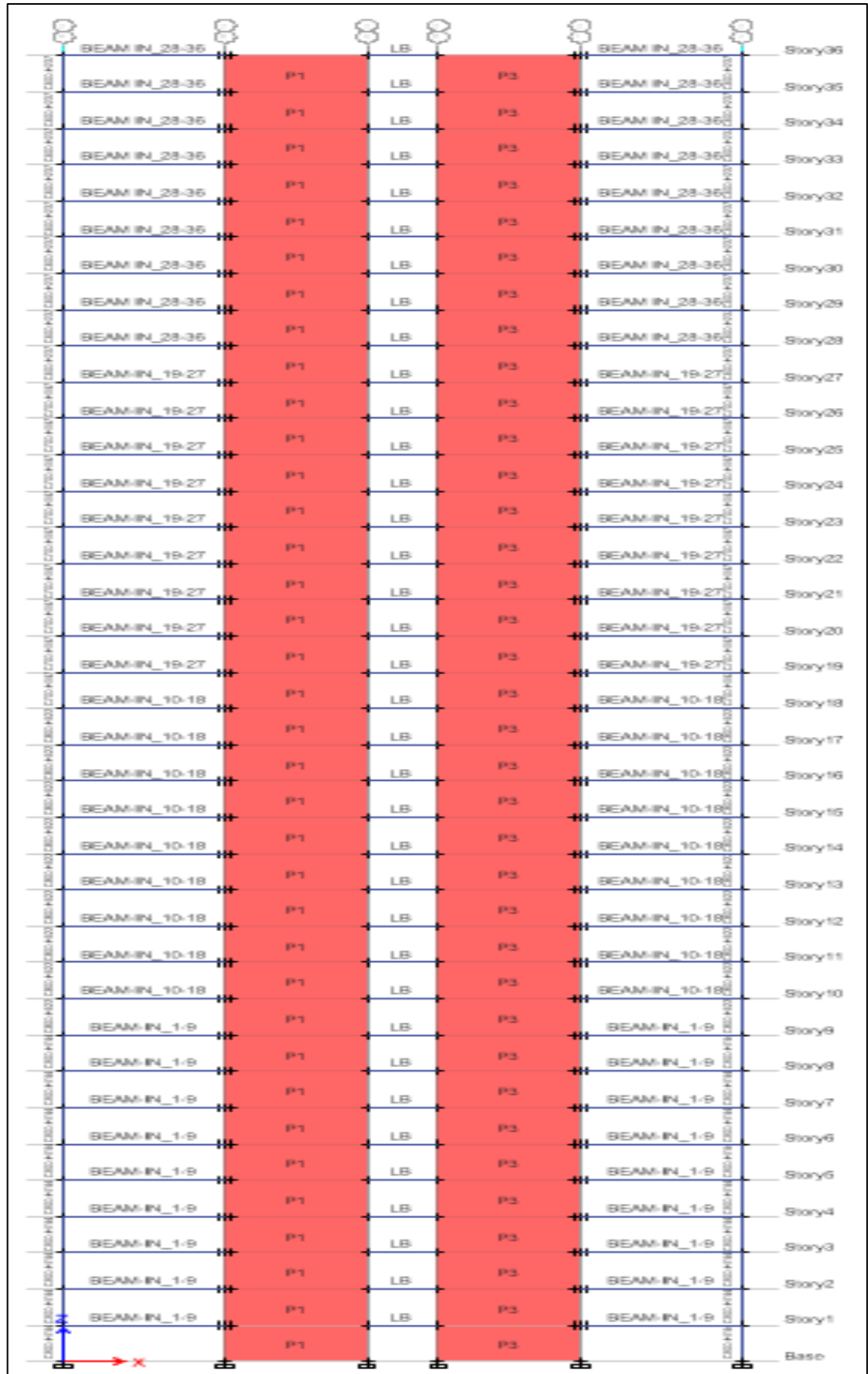
4.2. Yapı Modeli -1'in Sayısal Uygulaması

4.2.1. Yapı Geometrisi;

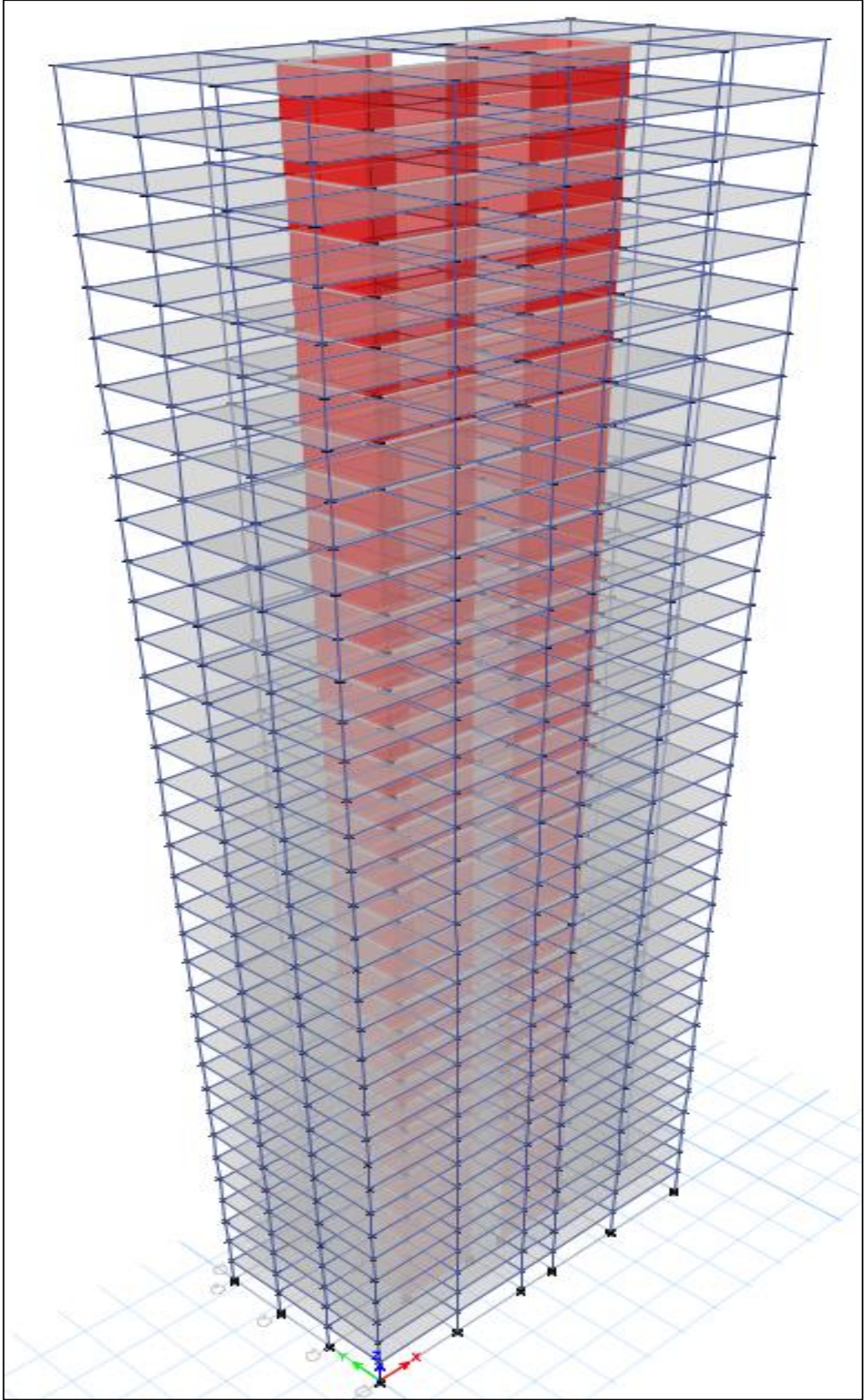
Yapı analizleri basitleştirmek için simetrik olarak tasarlanmıştır. Ayrıca yüksek katlı yapılarda gerekli olan baza katlar ve bodrum katlar göz ardı edilmiştir. Yapı x doğrultusunda 42 m, y doğrultusunda 21 m olup kat alanı 882 m²'dir. Yapının merkezinde U şeklinde iki betonarme perdeden oluşan ve asansör, merdiven, tesisat boşluğu gibi servis hizmetlerin bulunduğu bir çekirdek alanı vardır. Çekirdek alanı 175 m² olup toplam kat alanına oranı $175 \div 882 = 0,20$ ' dir. Kat yükseklikleri 4 m olup, 36 kat olarak düşünülmüştür. Yapının toplam yüksekliği $4 \times 36 = 144$ m'dir. X doğrultusunda yapı narinlik oranı $144 \div 42 = 3,43$, y doğrultusunda narinlik oranı $144 \div 21 = 6,86$ 'dır. Dış akslar üzerinde farklı aralıklarda betonarme kolonlar yerleştirilmiştir. Kolonları birbirine ve perdelere betonarme kirişler bağlamıştır. Yapının kat planı, kesiti ve 3 boyutlu görüntüsü sırasıyla Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 'de verilmiştir.



Şekil 4.12: 1.Katın kat planı.



Şekil 4.13: B aksından alınan kesit.



Şekil 4.14: 3 boyutlu görünüş.

4.2.2. Tasarım I Aşaması

4.2.2.1. Yapı Ön Bilgileri;

Yapıya ait özellikleri bağlı olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin 3. ve 4. Bölümlerinde verilen kurallara bağlı olarak tesbiti yapılan Bina Kullanım Sınıfı (BKS), Deprem Tasarım Sınıfı (DTS), Bina Yükseklik Sınıfı (BYS), Yapı Davranış Katsayısı (R), Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve Sönüm Oranı ile Modal Analiz sonucu elde edilen yapı periyotları (T_n) ve Yapı Kütlesi (M_t) Tablo 4.7'de özet olarak verilmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Bölüm 13'te belirtildiği üzere 1.Tasarım aşamasında ön boyutlandırma için istenen doğrusal analizler Bölüm 4'te kriterleri verilen Dayanım Göre Tasarım (DGT)'ye göre yapılmıştır. Doğrusal analiz yöntemi olarak Mod Birleştirme Yöntemi tercih edilmiştir. Bölüm 13'te istenen minimum taban kesme kuvveti (Tablo 4.8) Mod Birleştirme Yöntemiyle yapılan doğrusal analiz ile elde edilen taban kesme kuvvetine oranında tüm azaltılmış kesit tesirleri (Sünek ve sünek olmayan davranışa karşılık gelen) büyütülmüştür (Tablo 4.9).

Bölüm 4'te verilen perde tabanında deprem kuvvetlerinden meydana gelen devrilme momenti $0.4M_o < \sum M_{DEV} < 0.75M_o$ gereği kontrolleri yapılmış ve Tablo 4.10 'da verilmiştir.

Yapının hakim doğal titreşim periyodu denklem (4.8) 'de verilen ampirik hakim doğal titreşim periyodunun 1.4 katını geçmediği aşağıda gösterilmiştir.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (4.8)$$

- $C_t=0.1$ (Betonarme yapılar için)
- $H_N=144$ m
- $T_{pA}=0.1 \times 144^{3/4} = 4,15$
- $T_y = 3.636 \text{ sn} < 1.4.T_{pA} = 4.15 \times 1.4 = 5.81 \text{ sn}$

Tablo 4.7: Yapı ön bilgileri.

KAT YÜKSEKLİĞİ (m)=	4
KAT ADETİ=	36
YAPI YÜKSEKLİĞİ, H _n (m)=	144
BKS(bina kul.sınıfı)=	3
DTS(deprem ta.sınıfı)=	1
BYS(bina yüks.sınıfı)=	1
R _x (X yönü taşıyıcı sistem davranış katsayısı)=	6.4
R _y (Y yönü taşıyıcı sistem davranış katsayısı)=	7
D=	2.5
T _x (sn)=	2.853
T _y (sn)=	3.636
T _z (sn)=	2.537
M _t (ton)=	46952
SÖNÜM ORANI=	5%

Tablo 4.8: Minimum taban kesme kuvveti.

M _t (ton)=	56820
I=	1
S _{ds} (m/sn ²)=	1
g (m/sn ²)=	9.807
H _n (m)=	144
a _h =0.5	1
V _{t,min} =0.04α _H m _t S _{DS} g(KN)	10796

Tablo 4.9: Sünek olmayan davranışlar için dinamik büyütme katsayıları.

Δ _E =	1
V _{tE} ^(X,Y) =	10796
V _{tE} ^(X) =	8286
V _{tE} ^(Y) =	5953
$\beta_{tE}^{(x)} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(x)}}{V_{tx}^{(x)}}$	1.30
$\beta_{tE}^{(Y)} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(Y)}}{V_{tY}^{(Y)}}$	1.81
D=	2.50
V _{x_kat} sayı(B*D) (x yönü kesme kuvveti büyütme kat sayısı) =	3.26
V _{y_kat} sayı(B*D) (Y yönü kesme kuvveti büyütme kat sayısı) =	4.53

Tablo 4.10: Perdelerin devrilme momentlerini karşılama oranı hesabı.

Toplam Perde Devrilme Momenti, ΣM_{dev-x} (KNm) =	174051
Toplam Perde Devrilme Momenti, ΣM_{dev-y} (KNm) =	290238
Toplam Taban Devrilme Momenti, M_{o-x} (KNm) =	322784
Toplam Taban Devrilme Momenti, M_{o-y} (KNm) =	519539
$0.4M_{o-x}$ (KNm) =	129114
$0.75M_{o-x}$ (KNm) =	242088
$0.4M_{o-y}$ (KNm) =	207816
$0.75M_{o-y}$ (KNm) =	389654
$0.4M_{o-x} < \Sigma M_{dev-x} < 0.75M_{o-x}$; 129114 KN < 174051 KN < 242088 KN	
$0.4M_{o-y} < \Sigma M_{dev-y} < 0.75M_{o-y}$; 207816 KN < 290238 KN < 389654 KN	

4.2.2.2. Yapı Elemanları

4.2.2.2.1. Kolonlar

Yapıda kullanılan betonarme kolonların detayları ve enkesitleri Tablo 4.11 ve Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18’de verilmiştir. Kolonların ebatları belirlenirken Türkiye Deprem Yönetmeliği Bölüm7’de yer alan minimum kesit alanı hesabı (4.8) bağıntısı yardımıyla yapılan hesaplamalar özet olarak Tablo 4.12’de verilmiştir. Ayrıca bu kolonların P-M-M grafikleri, Sap2000 programından elde edilerek Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22’de verilmiştir.

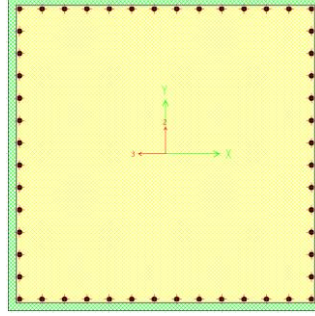
Tablo 4.11: Yapıda kullanılan kolonların detayları.

Kolon Adı	Uygulama Katı	Boyutları (mm)	Kullanılan Boy Donatı Çapı (mm)	Kullanılan Boy Donatı Adeti	Kullanılan Etriye Donatı Çapı(mm)	Kullanılan Etriye Donatı Aralığı(mm)	Boy Donatı Oranı
C70	28 - 36	700/700	22	16	10	50	1.24%
C90	19 - 27	900/900	22	24	10	50	1.13%
C115	10 - 18	1150/1150	22	36	10	50	1.03%
C140	1 - 9	1400/1400	22	52	10	70	1.01%

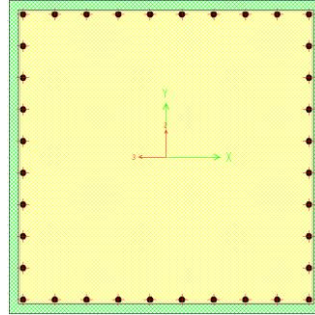
$$A_c \geq N_{dm} / (0.35f_{ck}) \quad (4.9)$$

Tablo 4.12: Yapıda kullanılan kolonların detayları.

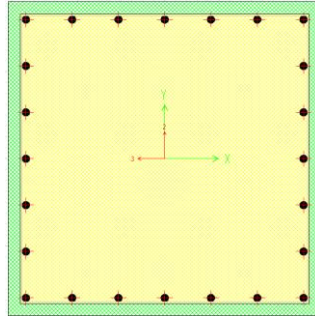
Kolon Adı	Ac (m ²)	Ndm (KN)	0.35*fck (KN/m ²)	Ndm/(0.35*fck) (m ²)	Ac > Ndm/(0.35*fck)
C70	0.49	5524	17500	0.32	Sağlıyor
C90	0.81	12228	17500	0.70	Sağlıyor
C115	1.32	20211	17500	1.15	Sağlıyor
C140	1.96	29379	17500	1.68	Sağlıyor



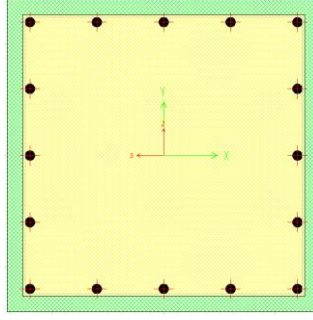
Şekil 4.15: C140 betonarme kolonu.



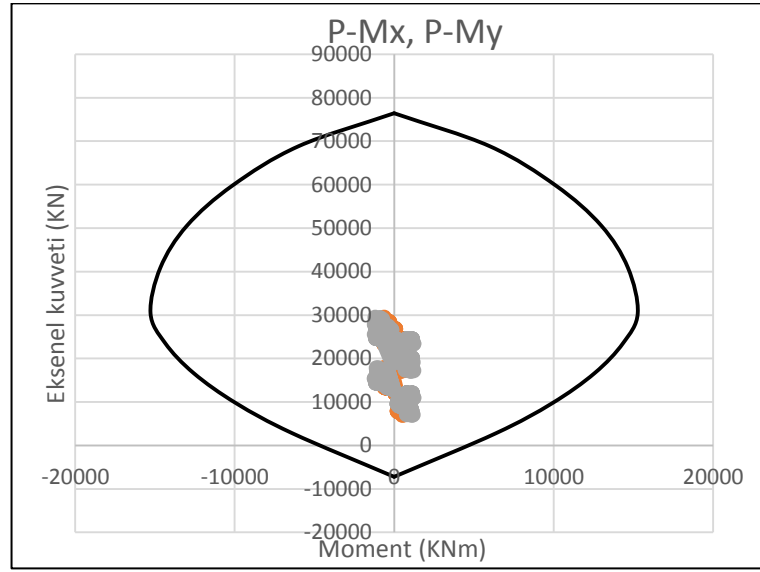
Şekil 4.16: C115 betonarme kolonu.



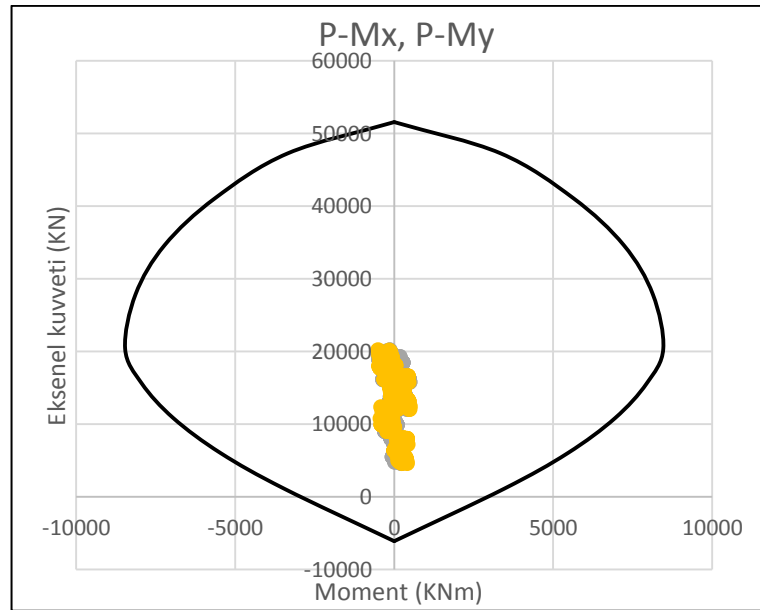
Şekil 4.17: C90 betonarme kolonu.



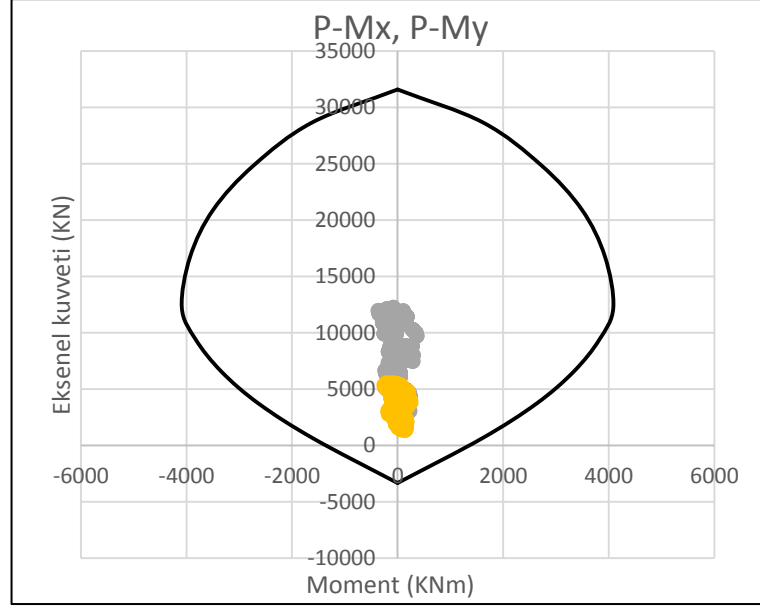
Şekil 4.18: C70 betonarme kolonu.



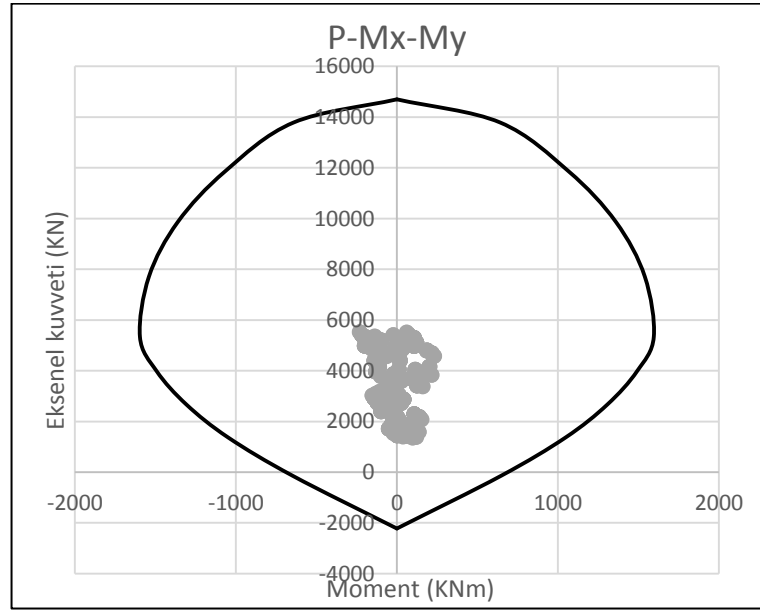
Şekil 4.19: C140 kompozit kolonu P-Mx, P-My diyagramları.



Şekil 4.20: C115 betonarme kolonu P-Mx, P-My diyagramları.



Şekil 4.21: C90 betonarme kolonu P-Mx, P-My diyagramları.



Şekil 4.22: C70 betonarme kolonu P-Mx, P-My diyagramları.

Büyütme katsayılarıyla artırılmış kesme tasarım kuvveti (V_d) ve TS500-2000'e göre (4.9) denklemiyle hesaplanan kesme dayanımı (V_r) hesabı Tablo 4.13 özet olarak verilmiştir.

– V_d = Analiz sonucunda elde edilen tasarım kuvveti

$$V_r = V_c + V_w \quad (\text{Kesme Dayanımı}) \quad (4.9)$$

Tablo 4.13: Betonarme kolonların kesme dayanım ve kontrolü.

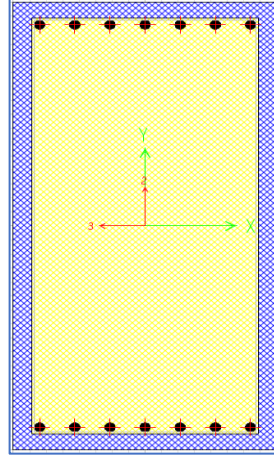
Kolon Adı	V_d (KN)	V_e (KN)	V_r (KN)	$0.85A_w\sqrt{f_{ck}}$	$\text{Max}(V_d, V_e) < (V_r)$	$V_e \leq 0.85A_w\sqrt{f_{ck}}$
C70	301	1064	2508	2832	Sağlanıyor	Sağlanıyor
C90	525	2725	4666	4041	Sağlanıyor	Sağlanıyor
C115	625	5641	7925	6881	Sağlanıyor	Sağlanıyor
C140	757	10187	10423	10473	Sağlanıyor	Sağlanıyor

4.2.2.2.2. Kirişler;

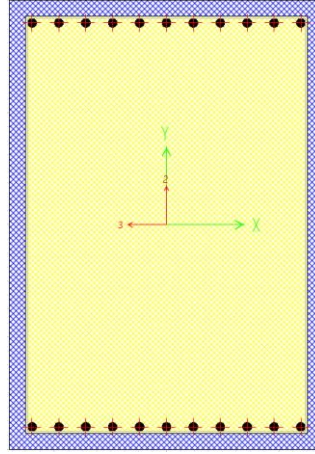
Yapıda kullanılan betonarme kiriş detayları ve en kesitleri Tablo 4.14 ve Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25 'de verilmiştir. Kirişlerin eğilme ve kesme dayanımları TS500'e göre hesaplanarak özet olarak Tablo 4.15 ve Tablo 4.16 'de gösterilmiştir.

Tablo 4.14: Kiriş detayları ve enkesitleri.

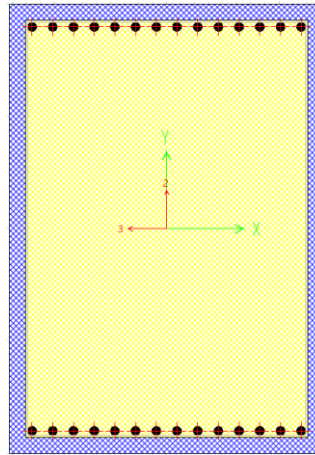
Kiriş Adı	Ebat (B/H) (mm)	Bulunduğu Kat Aralığı	Donatı çapı (mm)	Mesnet Donatıları (Alt ve Üst) (adet)	Toplam Donatı alanı (mm ²)	Donatı oranı	$\rho \geq 0.80f_{ctd}/f_{yd}$
Beam_out	500 / 1000	1 - 36	20	7	2199	0.0044	$0.0044 \geq 0.0036$
Beam_in_1-9	500 / 1000	1 - 9	20	7	2199	0.0044	$0.0044 \geq 0.0036$
Beam_in_10-18	700 / 1000	10 - 18	20	11	3456	0.0069	$0.0069 \geq 0.0036$
Beam_in_19-27	700 / 1000	19 - 27	20	11	3456	0.0069	$0.0069 \geq 0.0036$
Beam_in_28-36	700 / 1000	28 - 36	20	14	4398	0.0088	$0.0088 \geq 0.0036$
LB	700 / 1000	1 - 36	20	11	3456	0.0069	$0.0069 \geq 0.0036$



Şekil 4.23: Beam out, Beam_in_1-9 kirişlerinin kesit detayları.



Şekil 4.24: Beam in_10-18, Beam in_19-27, LB(bağ kirişi) kirişlerinin kesit detayları.



Şekil 4.25: Beam in_28-36 kirişinin kesit detayları.

Tablo 4.15: Kiriş moment dayanımları ve kontrolleri.

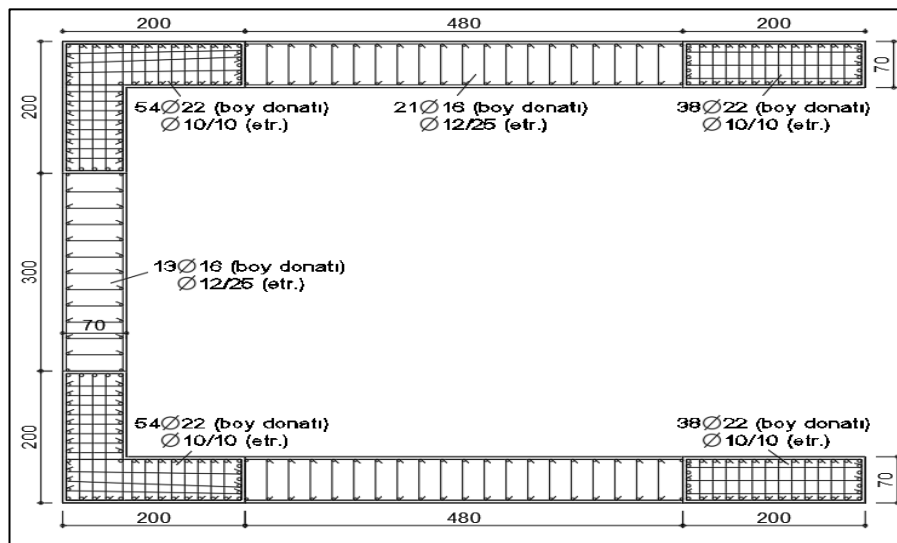
Kiriş Adı	Md (KNm)	Mr (KNm)	Md < Mr
Beam out	706	729	Sağlıyor
Beam in_1-9	718	729	Sağlıyor
Beam in_10-18	1079	1141	Sağlıyor
Beam in_19-27	1152	1141	Sağlıyor
Beam in_28-36	1431	1444	Sağlıyor
LB	1023	1141	Sağlıyor

Tablo 4.16: Kirişlerin kesme dayanımları ve kontrolleri.

Kiriş Adı	Bulundu- ğu Kat Aralığı	V_e (KN)	V_r (KN)	$V_e \leq V_r$	$0,85 \cdot b_w \cdot d \sqrt{f_{ck}}$ (KN)	$V_e \leq 0,85 \cdot b_w \cdot d \sqrt{f_{ck}}$
Beam_out	1 - 36	835	1513	Sağlıyor	2885	Sağlıyor
Beam_in_1-9	1 - 9	635	1513	Sağlıyor	2885	Sağlıyor
Beam_in_10-18	10 - 18	914	1677	Sağlıyor	4039	Sağlıyor
Beam_in_19-27	19 - 27	921	1677	Sağlıyor	4039	Sağlıyor
Beam_in_28-36	28 - 36	1030	1677	Sağlıyor	4039	Sağlıyor
LB	1 - 36	850	1677	Sağlıyor	4039	Sağlıyor

4.2.2.2.3. Perdeler;

Perdeler U şeklinde olup, geometrik şekli, boyutları ve donatı detayları Şekil 4.26’da verilmiştir. Oluşturulan uç bölgelerinde sargılı beton, gövde bölgelerinde sargısız beton dikkate alınmıştır. Perde kalınlıkları 70 cm’dir.



Şekil 4.26: Betonarme perdenin kesit dizaynı.

Türkiye Deprem Yönetmeliği Bölüm 7’de perdelerin tasarımıyla ilgili ilk kriter eksenel yük taşıma sınırır. Ön tasarımı yapılan perdenin bu kriterle ilgili kontrol (4.11) bağıntısıyla aşağıda verilmiştir.

$$A_C \geq N_{dm} / (0.35f_{ck}) \quad (4.11)$$

- $A_C = 16,24 \text{ m}^2$
- $N_{dm} = 222882,595 \text{ KN}$
- $f_{ck} = 50000 \text{ KN/m}^2$
- $16,24 \text{ m}^2 \geq 222882,595 / (0,35 \times 50000)$
- $16,24 \text{ m}^2 \geq 12,74 \text{ m}^2$

Perde tasarımı, en olumsuz etkilerin söz konusu olduğu kat olan zemin kata göre yapılmış olup, tüm katlar için aynı tasarım kullanılmıştır. Perdelerin tasarımı yapılırken dikkate alınan ikinci kriter; her iki yönde perdelerin devrilme momentinin en az %40’nı karşılamasıdır. Tasarlanan perdelerin bu kriteri sağladığı Tablo 4.10 ‘da daha önce verilen hesap tablosunda gösterilmiştir.

Perdelerin tasarım kesme kuvvetleri ilgili hesaplamalar Türkiye Deprem Yönetmeliği’nin Bölüm 7’de 7.6.6 alt başlığında verilmiştir. Ayrıca 7.6.7 alt başlığında kesme güvenliği kriterleri verilmiştir. İlgili denklem ve bağlantılar (4.12), (4.13), (4.14), (4.15), (4.16)’de verilmiştir.

$$V_e = \beta_V \frac{(M_P)_t}{(M_d)_t} V_d \quad (4.12)$$

$$V_r = A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{ywd}) \quad (4.13)$$

$$V_e \leq V_r \quad (4.14)$$

$$V_e \leq 0.85A_{ch}\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{Boşluksuz perdeler}) \quad (4.15)$$

$$V_e \leq 0.65A_{ch}\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{Bağ kirişli perdeler}) \quad (4.16)$$

Bu denklem ve bağlantılara göre hesaplanan kesme kuvvetleri, analiz sonucu elde edilen kesme kuvvetleri, kesme dayanımları ve karşılaştırmaları Tablo 4.17 ve Tablo 4.18’de özet olarak verilmiştir.

Tasarım eğilme moment tesirleri doğrusal analizin sonuçlarından alınmıştır.

Eğilme momenti dayanımı, eksen takımının ağırlık merkezinde olduğu var sayılarak başlıklarda ve gövdelerde bulunan beton ve donatıların eğilmeye katkıları dikkate alınarak x ve y eksenlerine göre hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucu elde edilen dayanım, analizden elde edilen tesirler ve karşılaştırılmaları Tablo 4.19’da özet olarak verilmiştir.

Tablo 4.17: Perde kesme dayanımları ve kontrolleri.

Kat Seviyesi	Yön	Vd (KN)	Ve (KN)	V _{tasarım} =min(Vd;Ve) (KN)	Vr (KN)	Ve < Vr
Zemin Kat	X yönü	12325	40900	12563	32236	Sağlıyor
Zemin Kat	Y yönü	13257	88007	13257	32236	Sağlıyor

Tablo 4.18: Perde kesme dayanımları ve kontrolleri.

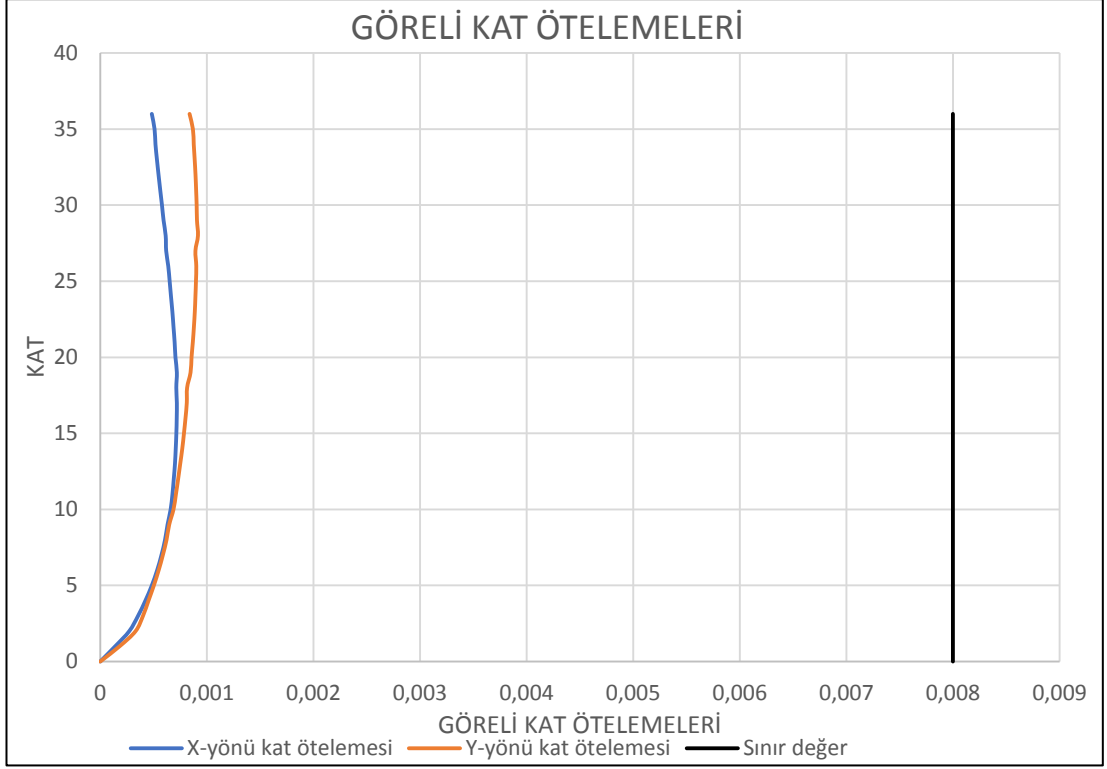
Kat Seviyesi / Yön	$0.65A_{ch}\sqrt{f_{ck}}$ Bağ kirişli perdeler (KN)	$0.85A_{ch}\sqrt{f_{ck}}$ Boşluksuz perdeler (KN)	$V_e \leq 0.65A_{ch}\sqrt{f_{ck}}$	$V_e \leq 0.85A_{ch}\sqrt{f_{ck}}$
Zemin Kat / X yönü	74642		Sağlıyor	
Zemin Kat / Y yönü		97609		Sağlıyor

Tablo 4.19: Perde moment dayanımları ve kontrolleri.

Kat Seviyesi	M _{dx} (KNm)	M _{dy} (KNm)	M _{rx} (KNm)	M _{ry} (KNm)	M _{dx} < M _{rx}	M _{dy} < M _{ry}
Zemin Kat	243163	386123	860934	166067	Sağlıyor	Sağlıyor

4.2.2.3. Görelî Kat Öteleme Hesabı;

Yapılan analizler sonucunda elde edilen görelî kat ötelemeleri, λ (DD-3 deprem yer hareketiyle elde edilen elastik tasarım spektral ivmenin DD-2 deprem yer hareketinden elde edilen elastik tasarım spektral ivmeye oranı) ile çarpılarak elde edilen değerler ve sınır koşulları Şekil 4.27 ‘da gösterilmiştir.



Şekil 4.27: Analiz sonucu elde edilen görelî kat ötelemeleri.

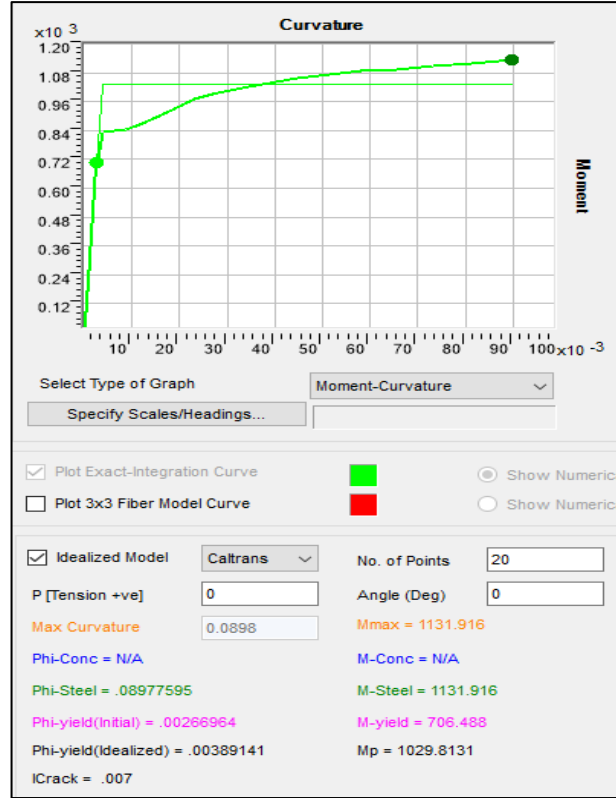
4.2.3. Tasarım III Aşaması

4.2.3.1. Yapı Eleman Modelleri

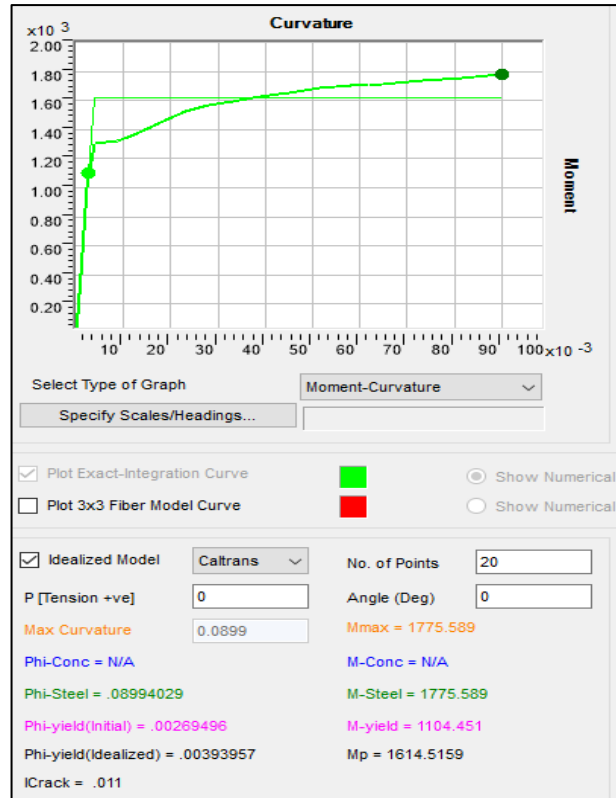
Sünek davranışa sahip elemanlar için “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği “Bölüm 5’ de belirtilen “Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞGDT)” ilkeleri doğrultusunda şekil değiştirme talepleri hesaplanarak, yüksek yapılar için hedeflenen performans kriterlerinin ön gördüğü sınırlara göre değerlendirilmiştir. Sünek yapı elemanlarında şekil değiştirme taleplerini hesaplamak için kullanılacak doğrusal olmayan davranış modelleri oluşturulmuştur.

4.2.3.1.1. Kirişlerin Doğrusal Olmayan Davranış Modeli

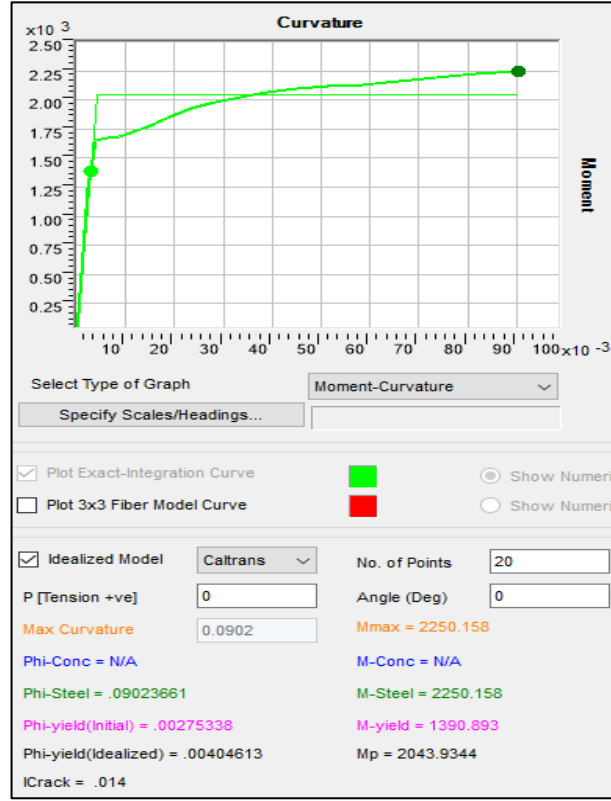
Betonarme kirişlerin doğrusal olmayan davranış modelleri için yığılı plastik mafsallı modeliyle tanımlanmıştır. Bu yığılı plastik mafsallı modellerini oluştururken kullanacağımız M_y etkin akma momenti, ϕ_y etkin akma eğriliği ve ϕ_u göçme öncesi toplam eğrilik verileri SAP2000 programından alınmıştır (Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30).



Şekil 4.28: Beam_out, Beam_in_1-9 kirişlerinin Moment-Eğrilik ilişkisi (SAP2000).



Şekil 4.29: Beam_in_10-18, Beam_in_19-27, LB bağ kirişi Moment-Eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.30: Beam_in_28-36 bağ kirişi Moment-Eğrilik ilişkisi (SAP2000).

Yığılı plastik mafsal modelinin omurga eğrisi, yapı elemanlarının enerji tüketimleri bu tezde dikkate alınmayacağı için basit bir model olan iki doğrultulu bir omurga eğrisi olarak tanımlanmıştır. Bu eğri oluşturulurken M_y akma momenti olarak, SAP2000 programındaki idealize edilmiş değer olan M_p momenti tercih edilmiştir.

θ_y plastik mafsal akma dönmesi Türkiye Deprem Bina Yönetmeliği Bölüm 5’de verilen ve (4.17) ’de belirtilen denklem yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\theta_p = \frac{\phi_y \cdot L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y \cdot d_b \cdot f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (4.17)$$

Yine bu programdan alınan ϕ_y akma başlangıç eğriliği ve ϕ_u göçme öncesi toplam eğriliği ile en büyük plastik dönme (4.18)’da verilen denklem yardımıyla hesaplanarak Tablo 4.20 ‘de verilmiştir.

$$\theta_u = (\phi_u - \phi_y)L_p \quad (4.18)$$

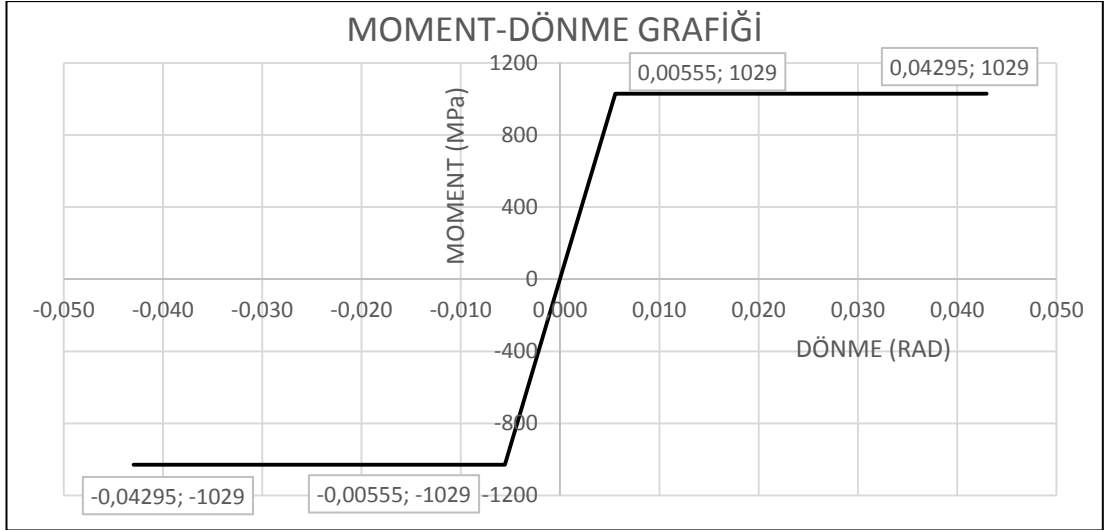
Tablo 4.20: Kirişlerin eğrilikleri ve hesaplanan en büyük plastik dönmeler.

Kiriş Adı	Φ_y (Etkin akma Eğriliği) (1/m)	Φ_u (Göçme öncesi toplam eğrilik) (1/m)	Plastik Eğrilik (1/m)	L_p (Plastik Mafsal Boyu) (m)	θ_u (En Büyük Plastik Dönme) (rad)
Beam out	0.003891	0.0898	0.08591	0.5	0.04295
Beam in_1-9	0.003891	0.0898	0.08591	0.5	0.04295
Beam in_10-18	0.003940	0.0899	0.08596	0.5	0.04298
Beam in_19-27	0.003940	0.0899	0.08596	0.5	0.04298
Beam in_28-36	0.004046	0.0902	0.08615	0.5	0.04308
LB	0.003940	0.0899	0.08596	0.5	0.04298

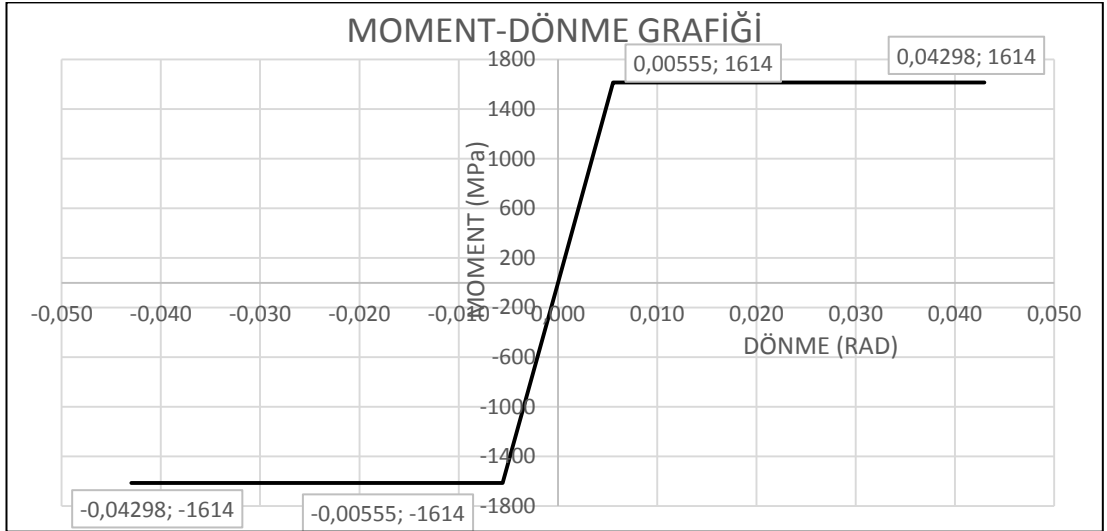
Kirişler için kullanılacak yığılı plastik mafsalın omurga eğrisi için gerekli bilgiler ve kesit rijitlik oranları Tablo 4.21’de verilmiştir. Bu eğrilerin grafiksel gösterimi Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33 ‘de verilmiştir.

Tablo 4.21: Kirişlerin plastik mafsal omurga eğri değerleri ve etkin kesit rijitlik oranları.

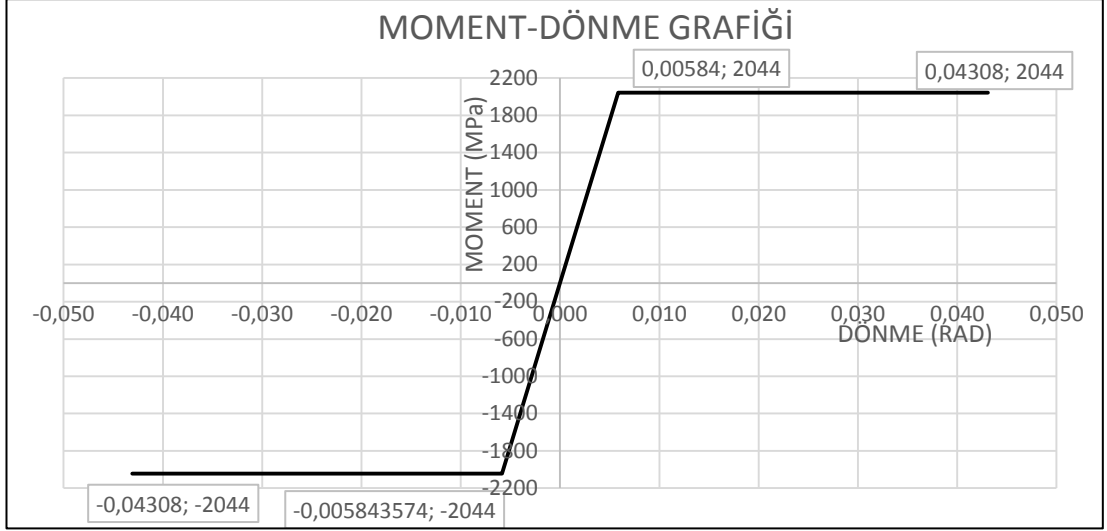
Kiriş Adı	M_y (Plastik Akma Momenti) (KNm)	θ_y (Plastik mafsal akma dönmesi) (rad)	θ_u (En Büyük Plastik Dönme) (rad)	$(EI)_c / (EI)_o$ etkin kesit rijitlik oranı
Beam out	1029	0.00555	0.04295	6%
Beam in_1-9	1029	0.00555	0.04295	6%
Beam in_10-18	1614	0.00563	0.04298	7%
Beam in_19-27	1614	0.00563	0.04298	7%
Beam in_28-36	2044	0.00584	0.04308	10%
LB	1614	0.00563	0.04298	7%



Şekil 4.31: Beam_out, Beam_in_1-9 kirişlerinin Moment-Dönme eğrisi.



Şekil 4.32: Beam_in_10-18, Beam_in_19-27, LB (bağ kirişi) kirişinin Moment-Dönme eğrisi.



Şekil 4.33: Beam_in_28-36 kirişinin Moment-Dönme eğrisi.

4.2.3.1.2. Kolonların Doğrusal Olmayan Davranış Modeli

Kolonların doğrusal olmayan davranış modeli olarak, yığılı plastik mafsalları tanımlanmıştır. Çevrim modeli olarak ‘Takeda modeli’ kullanılmıştır. Moment-Eğrilik ilişkisi, basınç kuvvetine bağlı olarak sürekli değişir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz esnasında kolon kesitlerine etkiyen eksenel kuvvetler sürekli değiştiği için ETABS programı üzerinden 11 eksenel yük seviyesinde tanımlama yapılmıştır. Daha hızlı çözümün gerçekleşmesi için programın P-M2-M3 Parametrik Hinge modeli kullanılmıştır. Programa tanımlama yaparken Section Designer’da tanımlanan kesitlerin PMM değerleri kullanılmıştır. Omurga eğrisi bu tez kapsamında rijitlik kaybı ve enerji tüketimi dikkate alınmadığı iki doğrulu elastik eğri olarak tanımlanmıştır. C140 için tanımlanan yığılı plastik mafsalları ETABS ekran görüntüsü Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da verilmiştir.

Kolonlara atanacak yığılı plastik mafsalların Moment- Dönme ilişkisini belirlerken kullanılacak sargılı C50/60 betonunun mander metoduyla hazırlanan doğrusal olmayan malzeme modelinin gerilme- şekil değiştirme grafiği Şekil 4.37 ‘de verilmiştir. Kullanılan S420 donatı çeliği için gerilme- şekil değiştirme grafiği Şekil 4.2 ‘de verilmiştir.

Hinge Property Data for a Parametric Concrete P-M2-M3 Hinge (C140)

Hinge Specification Type

☒ Moment - Rotation
☐ Moment - Curvature

☐ Relative Hinge Length Hinge Length:

Force Scale Factors

☐ Use Yield Forces

Tension	76440	kN
Compression	7218	kN
Bending, Axis 2	15280	kN-m
Bending, Axis 3	15280	kN-m

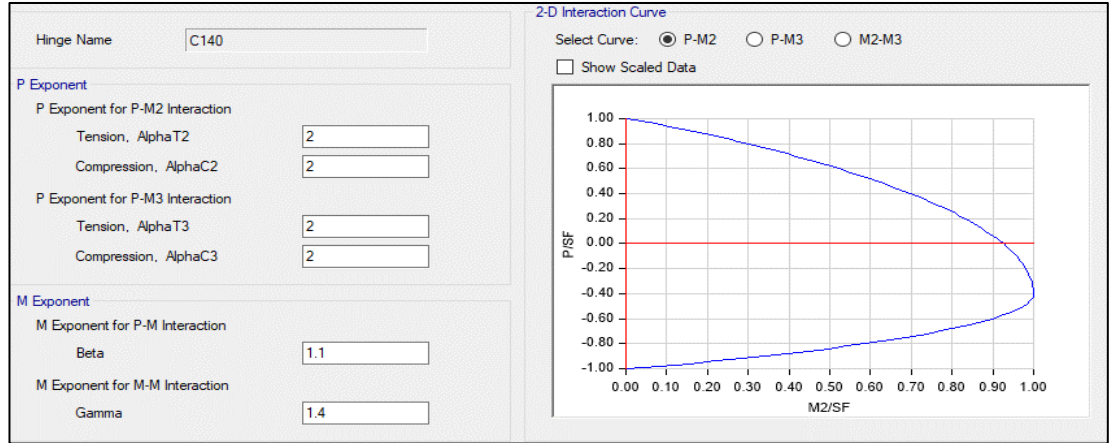
Deformation Scale Factors

Tension	0.001	m
Compression	0.001	m
Bending, Axis 2	1	rad
Bending, Axis 3	1	rad

Modify/Show Yield Surface Shape Parameters...
Modify/Show Force-Deformation Relationship...

OK Cancel

Şekil 4.34: C140 kolonun parametrik PMM akma yüzeyi eğrisinde kullanılması için girilen eksenel kuvvet ve eğilme moment değerleri.



Şekil 4.35: C140 kolonu parametrik PMM akma yüzeyi eğrisi.

Curve Shape
☒ Elastic Perfectly Plastic ☐ Trilinear
☐ Include Strength Loss (M2 and M3 only)

Force/SF
Ratio Point U/Point B:
Ratio Point D/Point B: Axial
 Bending
Axial Force at Balance Point/Comp SF:

Deformation/SF
Point U: Tension Compression
Bending, Axis 2:
Bending, Axis 3:
Point C: Bending, Axis 2:
Bending, Axis 3:
Point E: Tension Compression
Bending, Axis 2: Bending, Axis 3:

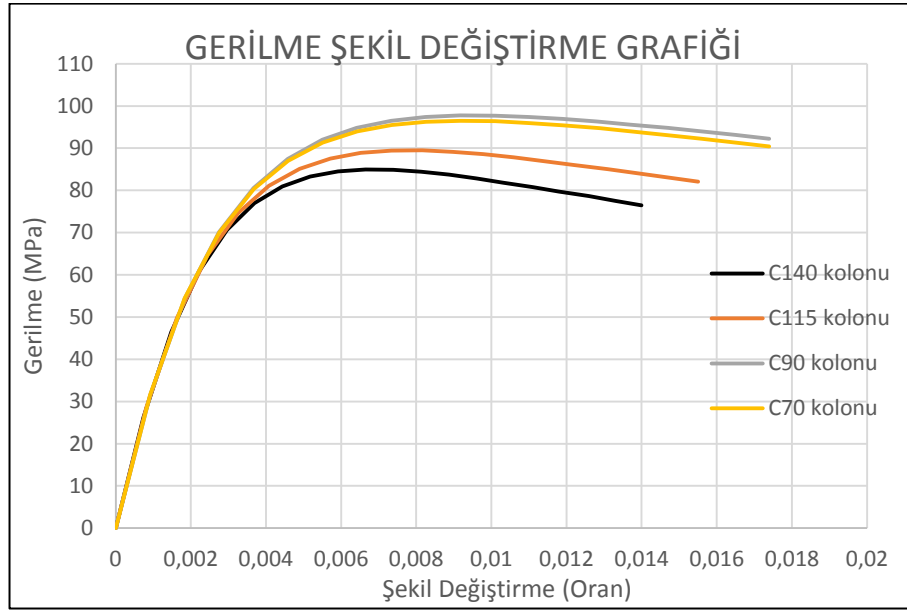
Hinge Name:

Force - Deformation Data (For Information Only - Not Editable - Edit Parameters on Left Side of Form)
Select Curve: ☒ P ☐ M2 ☐ M3 ☐ Show Scaled Data

Point	Force/SF Unitless	Deformation/SF Unitless
E	-1	-9
B	-1	0
A	0	0
B	1	0
E	1	9

Modify/Show Cyclic Degradation Parameters...
Modify/Show Deformation Capacities...

Şekil 4.36: C140 kolonunun omurga eğrisi.

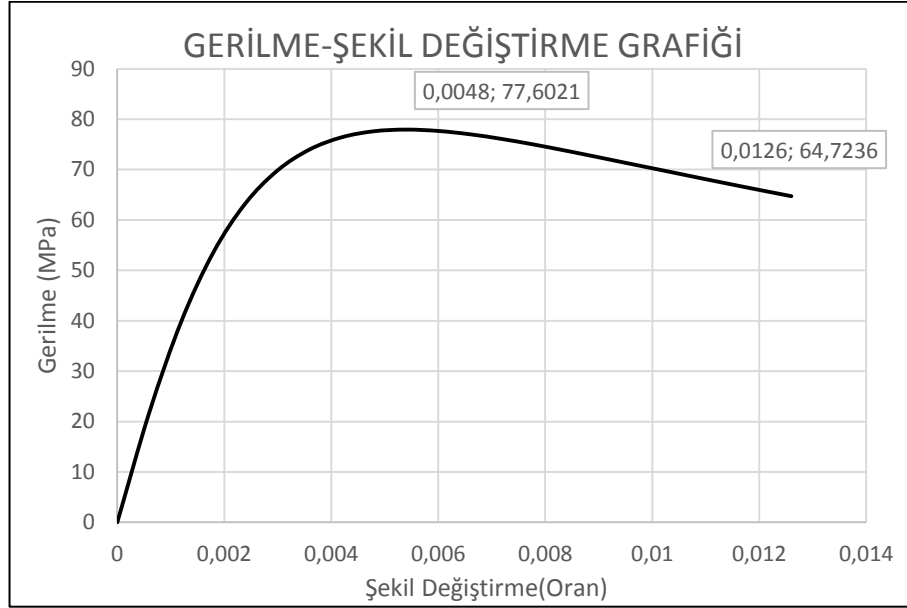


Şekil 4.37: Betonarme kolonlarda sargılanmış C50/60 betonunun Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.

4.2.3.1.3. Perdelerin Doğrusal Olmayan Davranış Modeli

Perdelerde doğrusal olmayan davranışı modellemek için kesit hücresi (lif) modeli kullanılacağı için hem betonun hem de donatı çeliğinin doğrusal olmayan malzeme modellerinin oluşturulması gereklidir. Başlık kolonlar için kullanılacak C50/60 sargılı betonun mander metodu ile hesaplanan gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.38 'de verilmiştir. Gövde kısmı için sargısız beton modeli kullanılacak

olup daha önce Şekil 4.1 'de gerilme- şekil değiştirme grafiği verilmiştir. S420 donatı çeliği için gerilme- şekil değiştirme grafiği daha önce Şekil 4.2 verilmiştir.



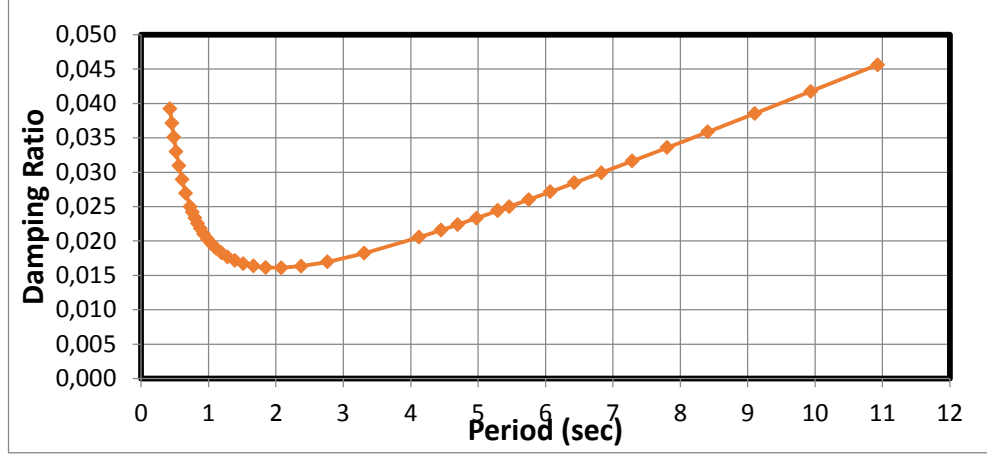
Şekil 4.38: Perde başlık kolonları için sargılanmış C50/60 betonunun Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.

4.2.3.2. Rayleigh Sönüm Fonksiyonu

T1 periyodu için alt sınır değer olarak 0.2T1, üst sınır değer olarak 1.5T1 alınmıştır;

- Alt sınır değeri = $0.2 \times 3.636 = 0.727$ sn
- Üst sınır değeri = $1.5 \times 3.636 = 5.454$ sn

Yapının doğrusal olmayan analizinde kullanılmak üzere oluşturulan sönüm matrisinin fonksiyon grafiği Şekil 4.39 'da verilmiştir.



Şekil 4.39: Rayleigh sönüm fonksiyonu.

4.2.3.3. Performans Hedefleri

Türkiye deprem yönetmeliğinde Bölüm 13 'de belirtilen Tasarım III aşamasında yüksek yapılarda kullanılan yapı elemanları için performans hedefleri ve yapı taşıyıcı sisteminin göreceli kat ötelemeleri sınırlarını belirtilen değerler verilmiştir.

Sünek davranışa sahip ve yığılı plastik mafsallarla modellenen yapı elemanlarında şekil değiştirmeye bağlı olarak hesaplanan dönmeler, DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında normal performans hedefi olarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ), ileri performans hedefi olarak ise Kontrollü Hasar (KH) performans hedefinin sağlanması istenmiştir. Perde elemanlarda doğrusal olmayan davranış modellemek için kesit hücresi (lif) modeli kullanıldığı için bu elemanların performans değerlendirmesinde kesit hücrelerin birim uzamalarına bağlı olarak hesaplanan birim şekil değiştirmeler dikkate alınmıştır. Yine bu elemanlar için DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında normal performans hedefi olarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ), ileri performans hedefi olarak ise Kontrollü Hasar (KH) performans hedefinin sağlanması istenmiştir. Kirişlerde dönme performans düzeylerinin sınır durumları Tablo 4.22' de , perdelerde başlık kolonları için malzeme sınır durumları Tablo 4.23' de verilmiştir. Kolonlarda plastik mafsallarla oluşmadığı için sınır durumları hesaplanmadı.

Tablo 4.22: Kirişlerin dönme değerleri için performans düzeyi sınır durumları.

Kiriş Adı	$\theta_p(SH)$ sınır durumu	$\theta_p(KH)$ sınır durumu	$\theta_p(GÖ)$ sınır durumu
Beam out	0.0001	0.02194	0.02925
Beam in_1-9	0.0001	0.02194	0.02925
Beam in_10-18	0.0001	0.02223	0.02964
Beam in_19-27	0.0001	0.02223	0.02964
Beam in_28-36	0.0001	0.02269	0.03025
LB	0.0001	0.02223	0.02964

Tablo 4.23: Perdelerde başlık kolonları için sargılanmış C50/60 betonu ve S420 donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri için performans düzeyi sınır durumları.

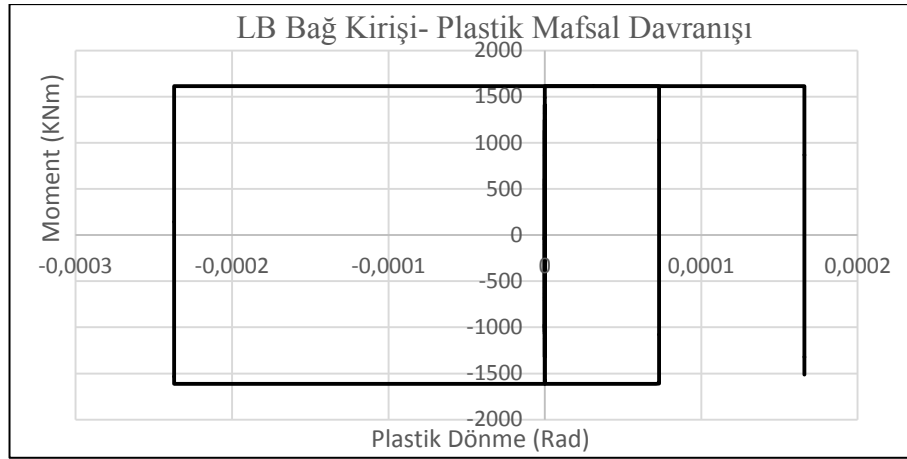
$\epsilon_c^{(SH)}$	0.0025	$\epsilon_s^{(SH)}$	0.0075
$\epsilon_c^{(KH)}$	0.0092	$\epsilon_s^{(KH)}$	0.024
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	0.0122	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	0.032

Yönetmelikte yapı taşıyıcı sisteminin DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında dikkate alınan $2 \times 11 = 22$ depremden elde edilen ortalama görelî kat öteleme oranının 0.03'ü, tek bir depremden elde edilen en büyük kat öteleme oranının ise 0.045'i geçmemesi istenmektedir.

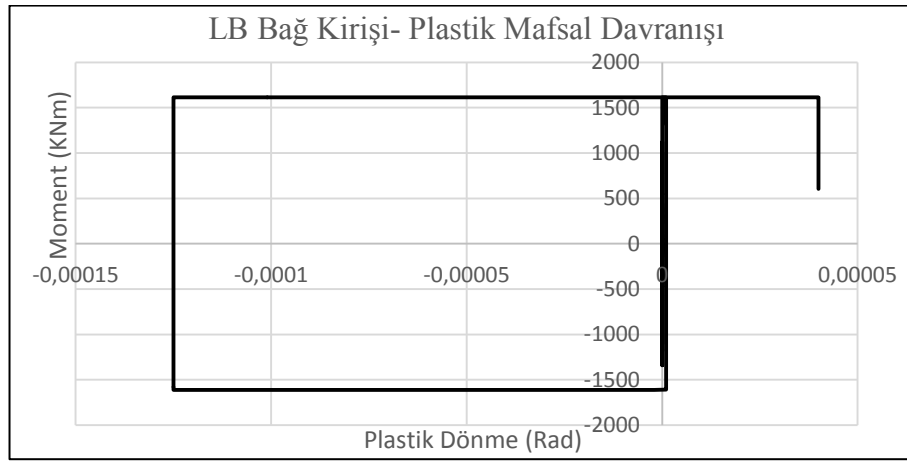
4.2.3.4. Analiz Sonuçları

4.2.3.4.1. Kirişlerin Değerlendirilmesi

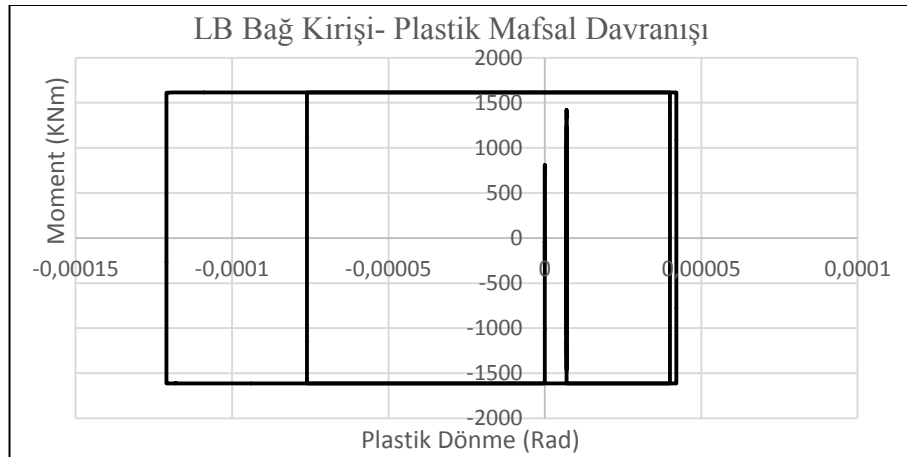
Atanan kiriş kesitlerinin DD-1 yer hareketi düzeyine göre ölçeklendirilmiş deprem yükleri altında en çok zorlanan ve plastikleşen kesitlerin plastik mafsalları davranışları grafik olarak Şekil 40 - Şekil 49 arasında verilmiştir. Bu grafiklerde de gözüktüğü gibi plastik dönmeler KH sınır değerlerinin oldukça altında kalmıştır.



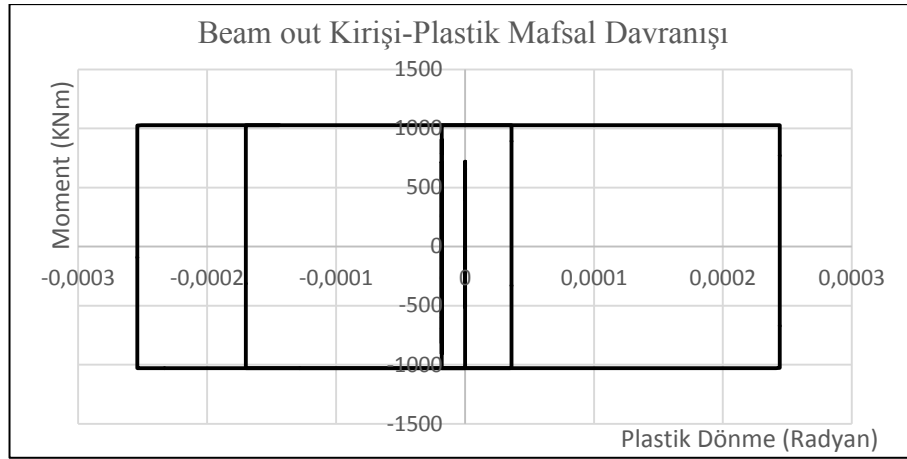
Şekil 4.40: LB bağ kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).



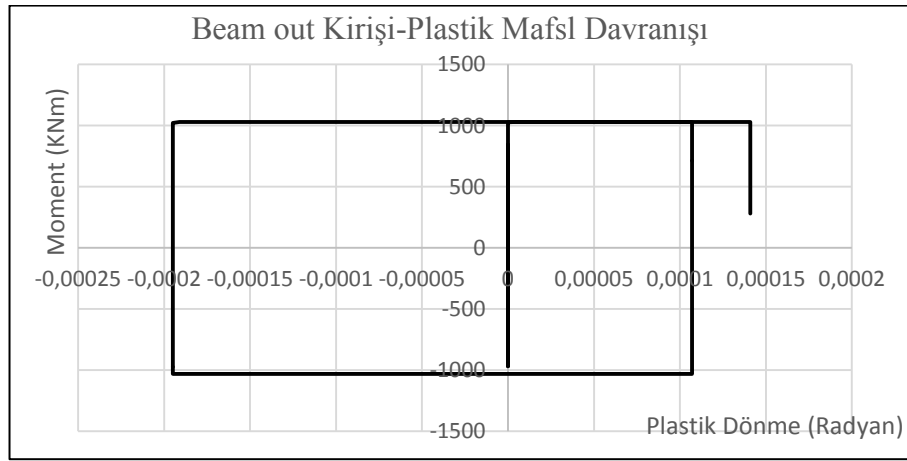
Şekil 4.41: LB bağ kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1614DUZCE).



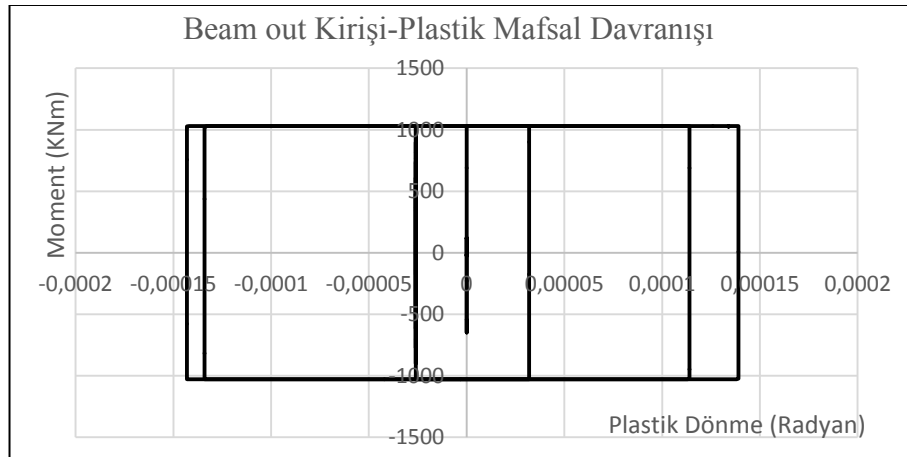
Şekil 4.42: LB bağ kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).



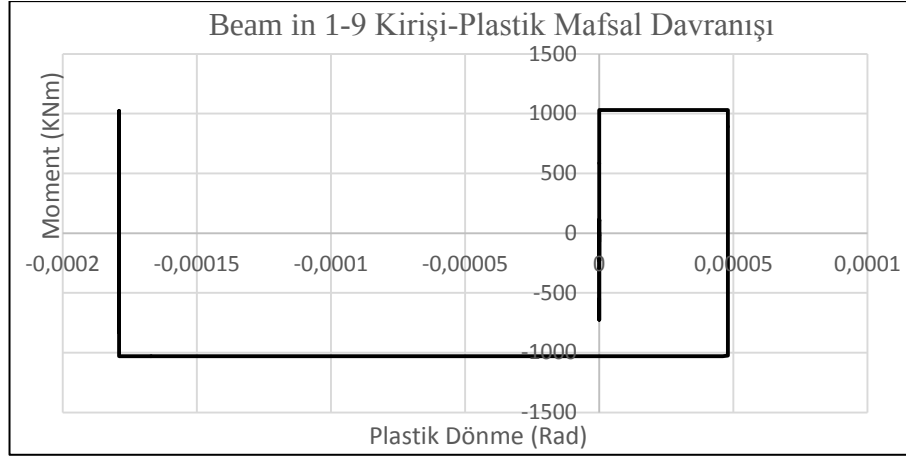
Şekil 4.43: Beam out kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).



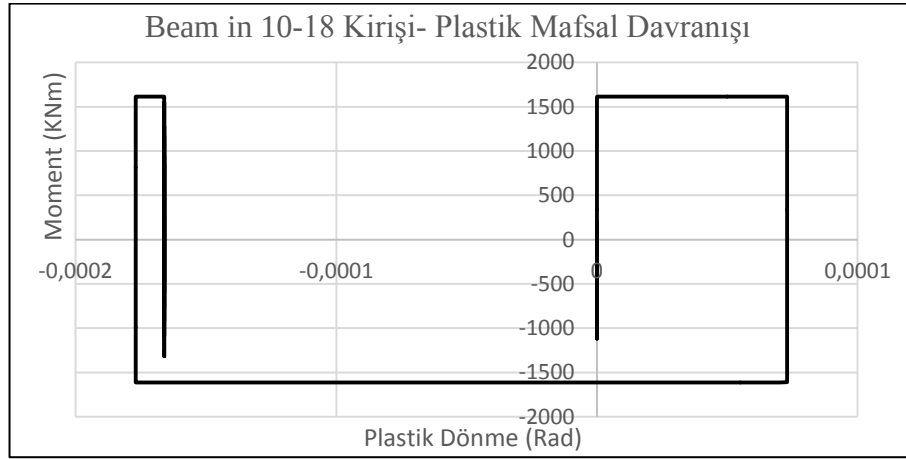
Şekil 4.44: Beam out kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1614DUZCE).



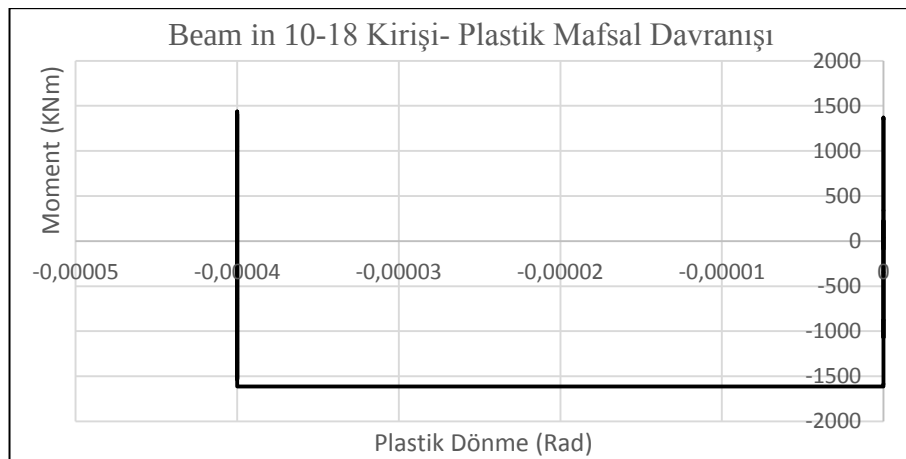
Şekil 4.45: Beam out kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).



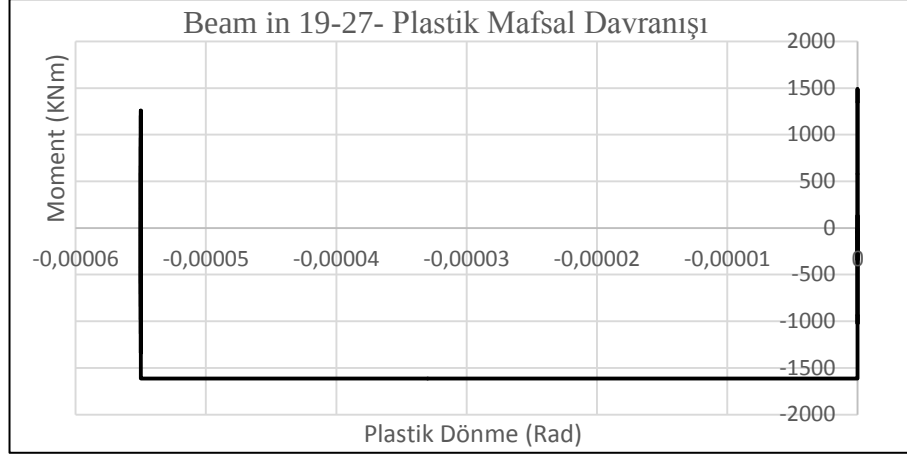
Şekil 4.46: Beam in 1-9 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).



Şekil 4.47: Beam in 10-18 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).



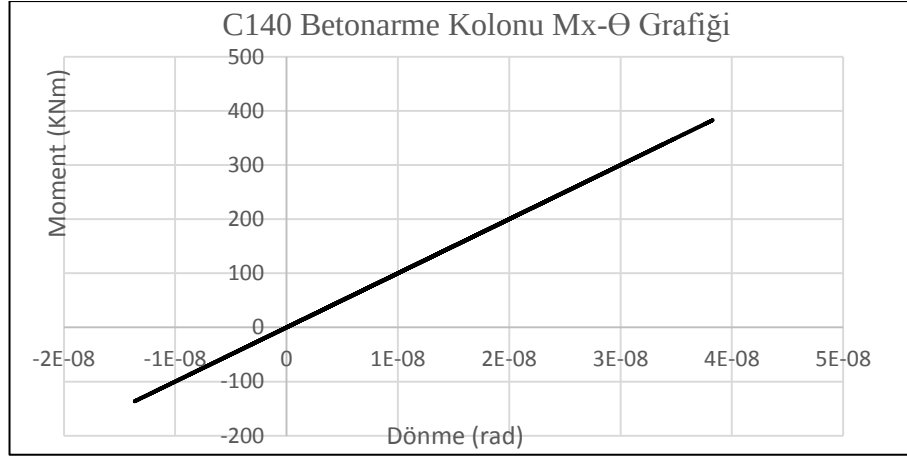
Şekil 4.48: Beam in 10-18 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCELİ).



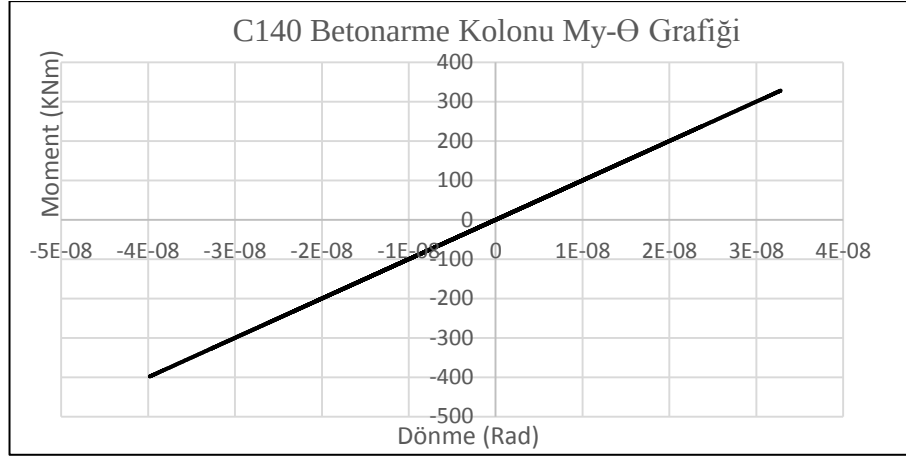
Şekil 4.49: Beam in 19-27 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).

4.2.3.4.2. Kolonların Değerlendirilmesi

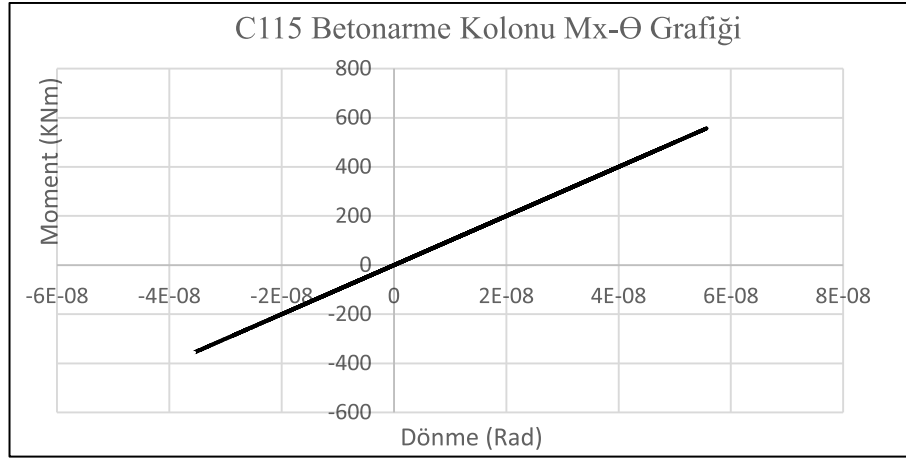
Kolon olarak atanan kesitlerde DD-1 yer hareketi düzeyine göre ölçeklendirilmiş deprem yükleri altında en fazla zorlanan kolon kesitlerinin Moment-Dönme grafikleri Şekil 4.50-Şekil 4.57 arasında gösterilmiştir. Bu grafiklerde görüldüğü üzere kolonlarda plastik mafsall oluşumu gerçekleşmemiştir.



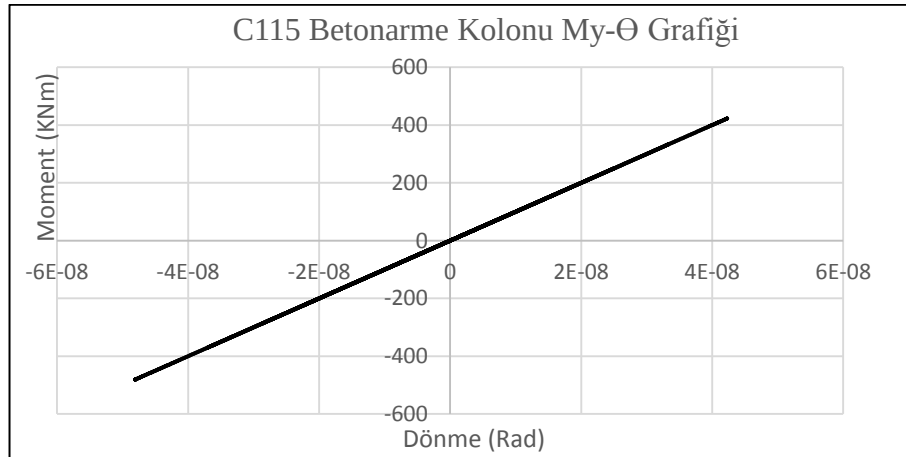
Şekil 4.50: C140 Kolonu Mx-Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).



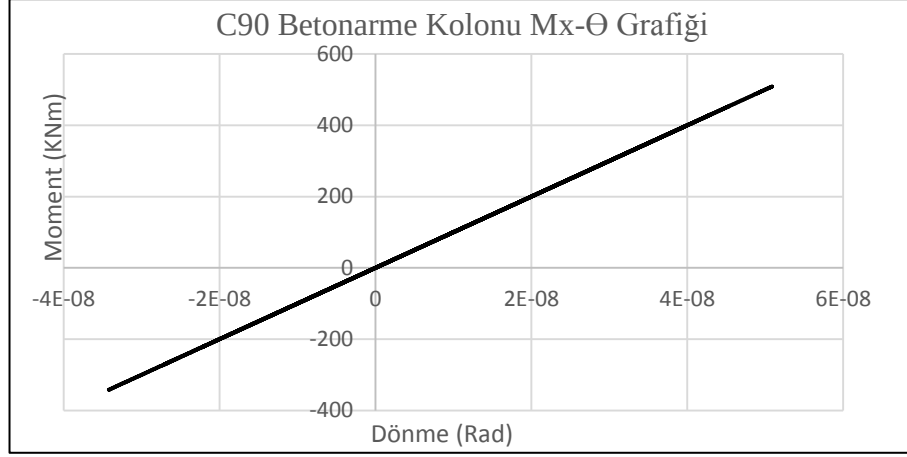
Şekil 4.51: C140 Kolonu My-Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).



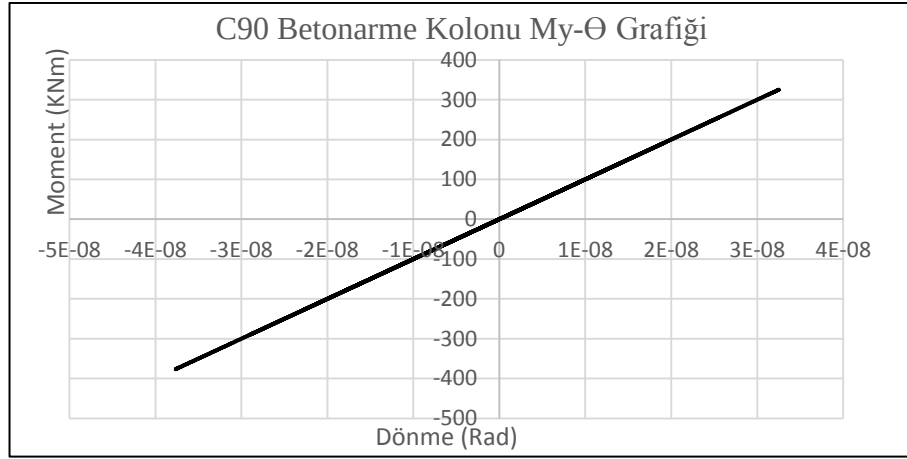
Şekil 4.52: C115 Kolonu Mx-Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).



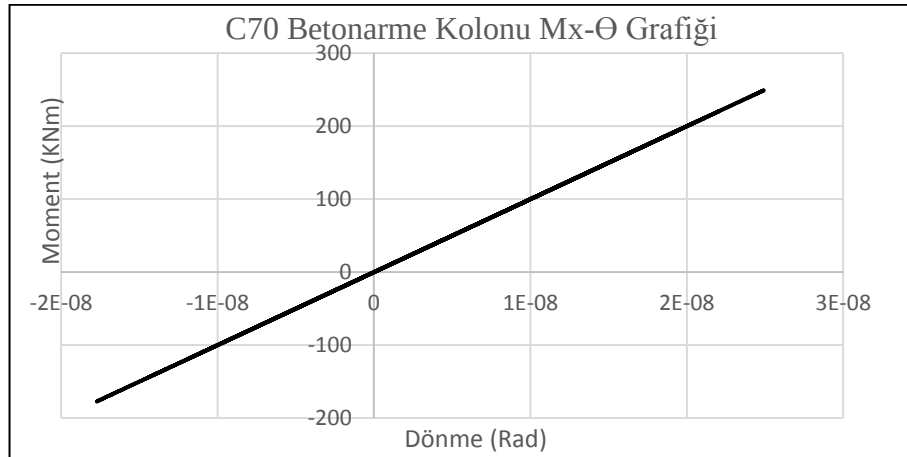
Şekil 4.53: C115 Kolonu My-Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).



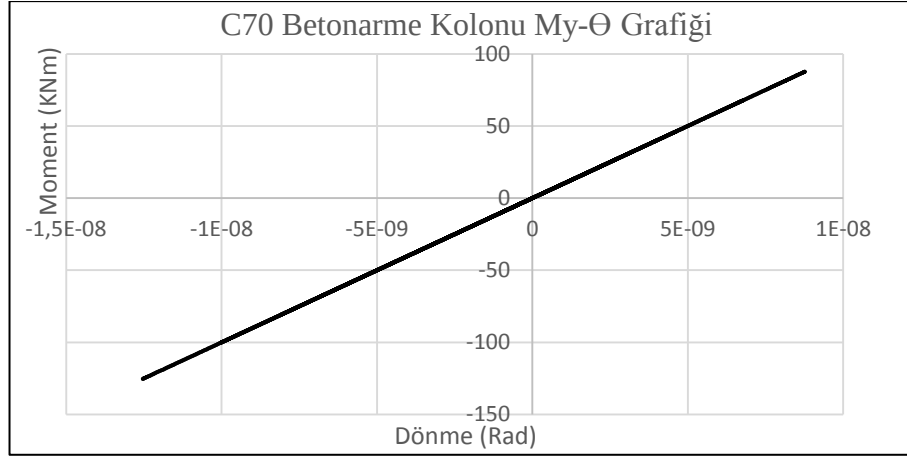
Şekil 4.54: C90 Kolonu Mx-Θ çevrimsel grafiği (RSN1165KOCAELİ).



Şekil 4.55: C90 Kolonu My-Θ çevrimsel grafiği (RSN1165KOCAELİ).



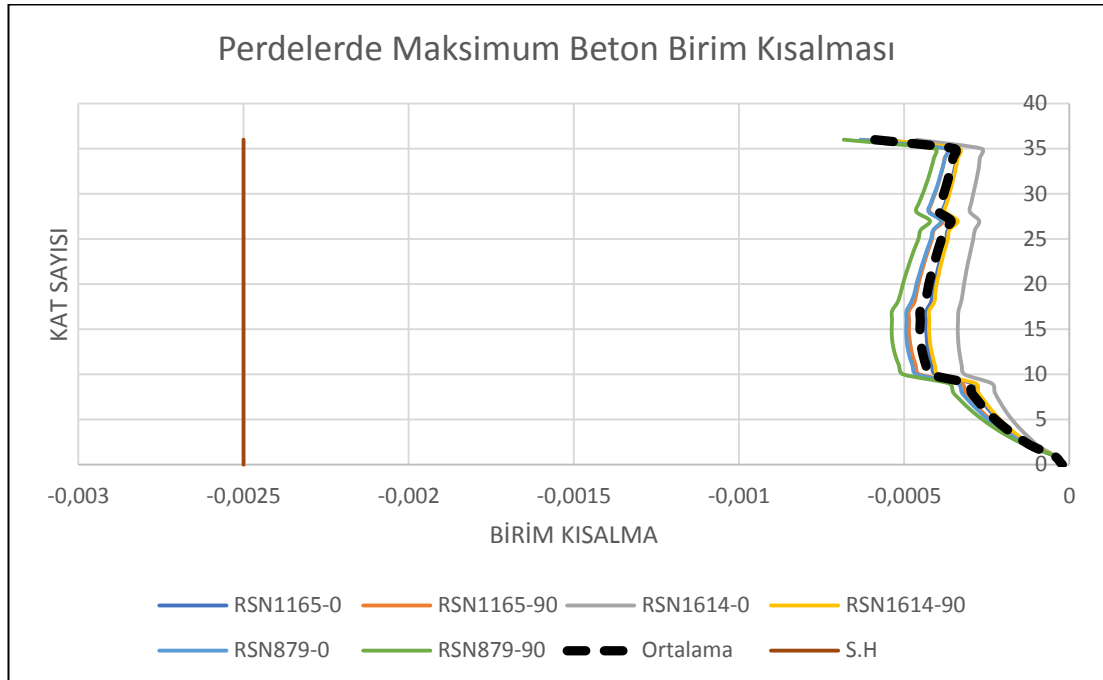
Şekil 4.56: C70 Kolonu Mx-Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).



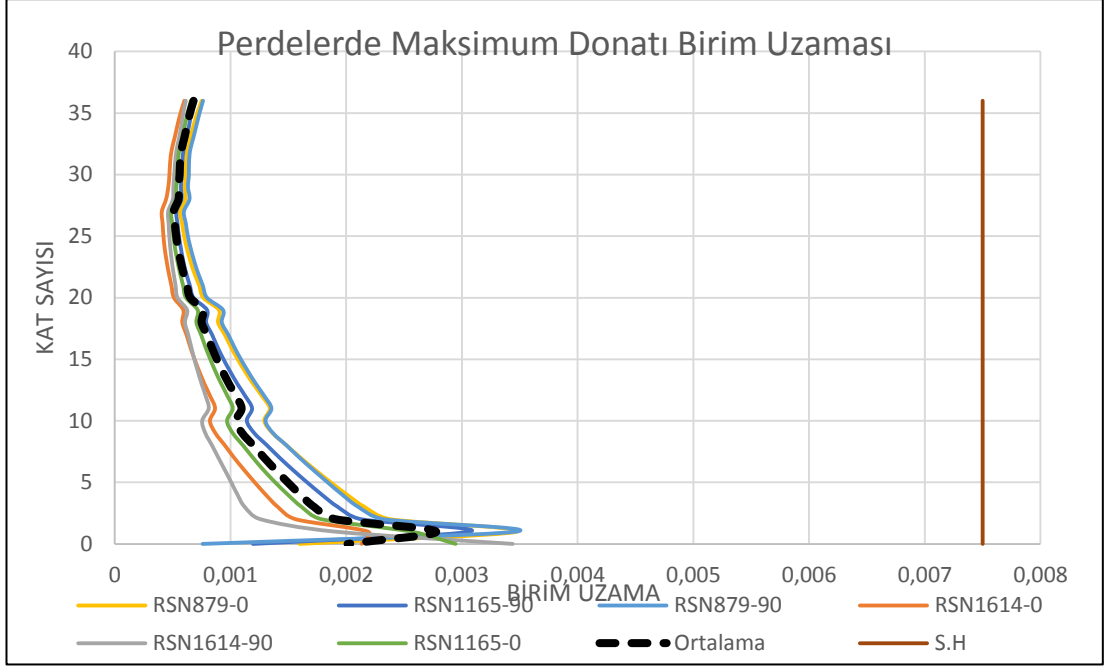
Şekil 4.57: C70 Kolonu My-Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).

4.2.3.4.3. Perdelerin Değerlendirilmesi

Perdelerde başlık kolonlarında DD-1 yer hareketi düzeyine göre ölçeklendirilmiş deprem yükleri altında donatı ve sargılanmış beton üzerinde meydana gelen maksimum gerilmeler güvenlik sınır değerleriyle birlikte Şekil 4.58 ve Şekil 4.59 'da gösterilmiştir.



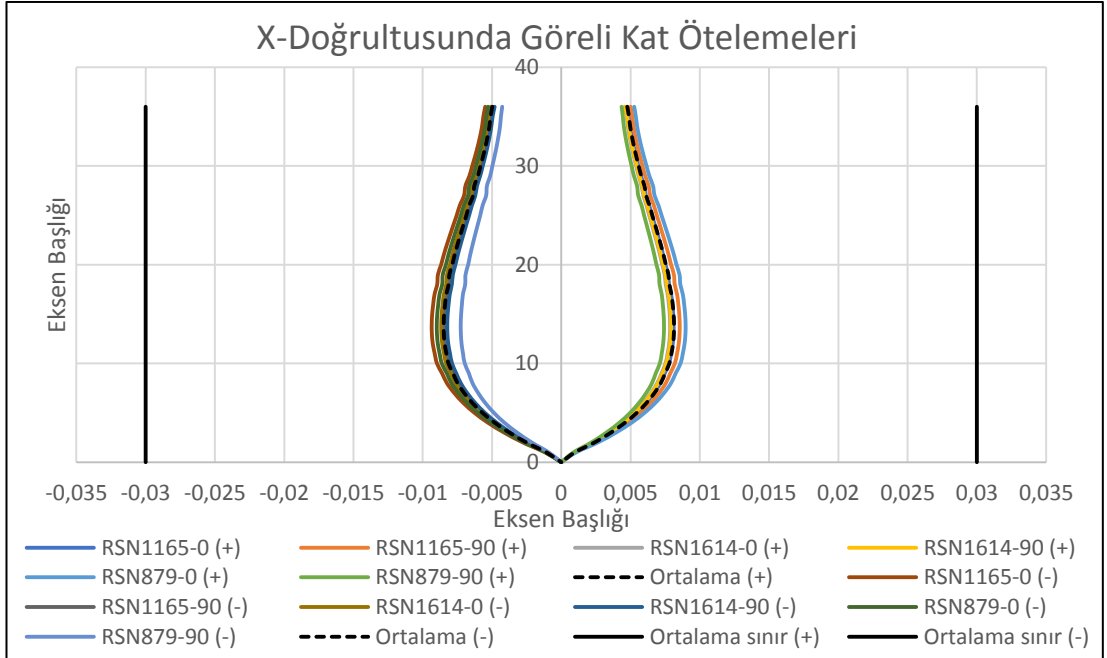
Şekil 4.58: Sargılanmış C50/60 betonunun katlara göre birim kısılması.



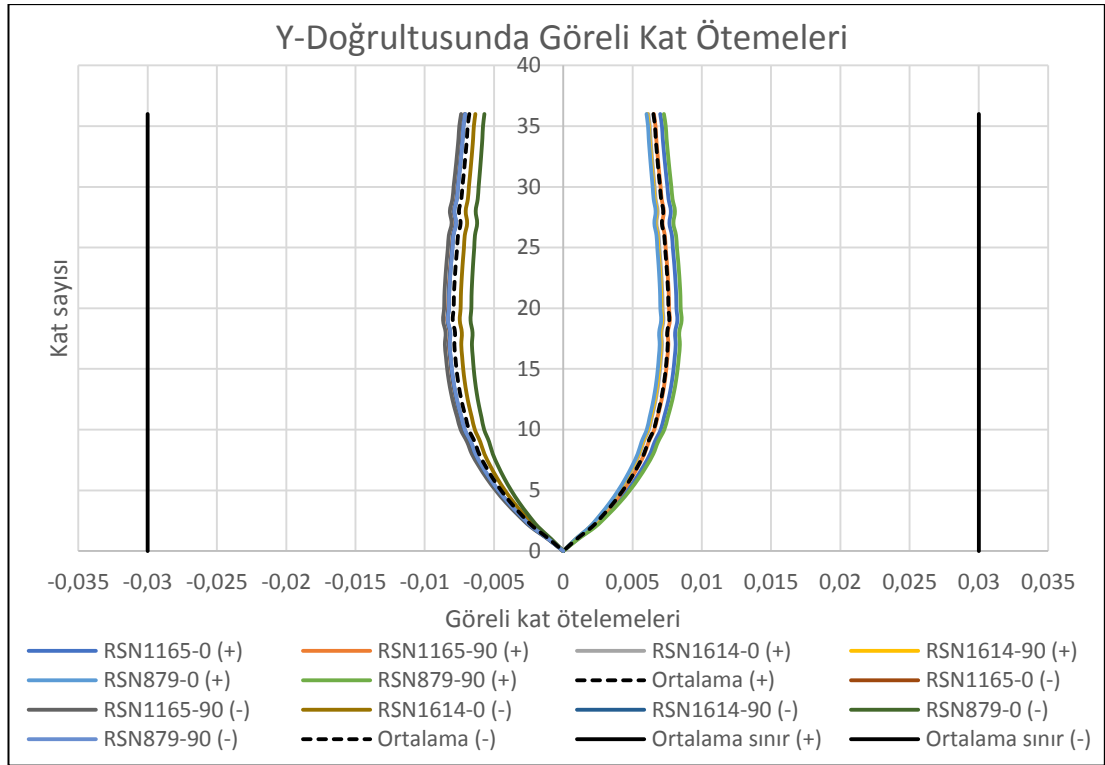
Şekil 4.59: S420 donatı çeliğinin katlara göre birim uzamaları.

4.2.3.4.4. Görelî Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi

DD-1 yer hareketi düzeyine göre ölçeklendirilmiş deprem yükleri altında X ve Y doğrultularında meydana gelen görelî kat ötelemeleri Tasarım III aşaması için istenen sınır değerleriyle birlikte Şekil 4.60 ve Şekil 4.61 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.60: X-doğrultusunda görelî kat ötelemeleri.



Şekil 4.61: Y-doğrultusunda göreli kat ötelemeleri.

4.3. Yapı Modeli -2'nin Sayısal Uygulaması

4.3.1. Yapı Geometrisi;

Yapı analizleri basitleştirmek için simetrik olarak tasarlanmıştır. Ayrıca yüksek katlı yapılarda gerekli olan baza katlar ve bodrum katlar göz ardı edilmiştir. Yapı x doğrultusunda 42 m, y doğrultusunda 21 m olup kat alanı 882 m²'dir. Yapının merkezinde U şeklinde 2 betonarme perdeden oluşan ve asansör, merdiven, tesisat boşluğu gibi servis hizmetlerin bulunduğu bir çekirdek alanı vardır. Çekirdek alanı 175 m² olup toplam kat alanına oranı $175 \div 882 = 0,20$ ' dir. Kat yükseklikleri 4 m olup, 36 kat olarak düşünülmüştür. Yapının toplam yüksekliği $4 \times 36 = 144$ m'dir. X doğrultusunda yapı narinlik oranı $144 \div 42 = 3,43$, y doğrultusunda narinlik oranı $144 \div 21 = 6,86$ 'dır. Dış akslar üzerinde farklı aralıklarda çelik gömme kompozit kolonlar yerleştirilmiştir. Kolonları birbirine ve perdelere betonarme kirişler bağlamıştır. Yapının kat planı, kesiti ve 3 boyutlu görüntüsü sırasıyla Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 'de verilmiştir.

4.3.2. Tasarım I Aşaması

4.3.2.1. Yapı Ön Bilgileri

Yapıya ait özellikleri bağlı olarak Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin 3. ve 4. Bölümlerinde verilen kurallara bağlı olarak tesbiti yapılan Bina Kullanım Sınıfı (BKS), Deprem Tasarım Sınıfı (DTS), Bina Yükseklik Sınıfı (BYS), Yapı Davranış Katsayısı (R), Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve Sönüm Oranı ile Modal Analiz sonucu elde edilen yapı periyotları (T_n) ve Yapı Kütlesi (M_t) Tablo 4.24'de özet olarak verilmiştir.

Türkiye Deprem Yönetmeliği Bölüm 13 'te belirtildiği üzere 1.Tasarım aşamasında ön boyutlandırma için istenen doğrusal analizler Bölüm 4'te kriterleri verilen Dayanıma Göre Tasarım (DGT)'ye göre yapılmıştır. Doğrusal analiz yöntemi olarak Mod Birleştirme Yöntemi tercih edilmiştir. Bölüm 13'te istenen minimum taban kesme kuvveti (Tablo 4.25) Mod Birleştirme Yöntemiyle yapılan doğrusal analiz ile elde edilen taban kesme kuvvetine oranında tüm azaltılmış kesit tesirleri (Sünek ve sünek olmayan davranışa karşılık gelen) büyütülmüştür (Tablo 4.26).

Bölüm 4'te verilen perde tabanında deprem kuvvetlerinden meydana gelen devrilme momenti $0.4M_o < \sum M_{DEV} < 0.75M_o$ gereği kontrolleri yapılmış ve Tablo 4.27 'da verilmiştir.

Yapının hakim doğal titreşim periyodu denklem (4.8) 'de verilen ampirik hakim doğal titreşim periyodunun 1.4 katını geçmediği aşağıda gösterilmiştir.

- $C_t=0.1$ (Betonarme yapılar için)
- $H_N=144$ m
- $T_{pA}=0.1 \times 144^{3/4} = 4,15$
- $T_y = 3.855 \text{ sn} < 1.4.T_{pA} = 4.15 \times 1.4 = 5.81 \text{ sn}$

Tablo 4.24: Yapı ön bilgileri.

KAT YÜKSEKLİĞİ (m)=	4
KAT ADETİ=	36
YAPI YÜKSEKLİĞİ, H _n (m)=	144
BKS(bina kul.sınıfı)=	3
DTS(deprem ta.sınıfı)=	1
BYS(bina yüks.sınıfı)=	1
R _x (X yönü taşıyıcı sistem davranış katsayısı)=	4.6
R _y (Y yönü taşıyıcı sistem davranış katsayısı)=	6
D=	2.5
T _x (sn)=	2.638
T _y (sn)=	3.855
T _z (sn)=	2.463
M _t (ton)=	56902
SÖNÜM ORANI=	5%

Tablo 4.25: Minimum taban kesme kuvveti.

M _t (ton)=	56902
I=	1
S _{ds} (m/sn ²)=	1
g (m/sn ²)=	9.807
H _n (m)=	144
a _h =0.5	1
V _{t,min} =0.04α _H m _t S _{DS} g(KN)	10811

Tablo 4.26: Sünek olmayan davranışlar için dinamik büyütme katsayıları.

α _E =	1
V _{tE} ^(X,Y) =	10811
V _{tE} ^(X) =	8430
V _{tE} ^(Y) =	6045
$\beta_{tE}^{(x)} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(x)}}{V_{tx}^{(x)}}$	1.28
$\beta_{tE}^{(y)} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(y)}}{V_{ty}^{(y)}}$	1.79
D=	2.50
V _{x_kat} sayı(B*D) (x yönü kesme kuvveti büyütme kat sayısı) =	3.21
V _{y_kat} sayı(B*D) (Y yönü kesme kuvveti büyütme kat sayısı) =	4.47

Tablo 4.27: Perdelerin devrilme momentlerini karşılama oranı hesabı.

Toplam Perde Devrilme Momenti, ΣM_{dev-x} (KNm) =	287903
Toplam Perde Devrilme Momenti, ΣM_{dev-y} (KNm) =	358491
Toplam Taban Devrilme Momenti, M_{o-x} (KNm) =	581589
Toplam Taban Devrilme Momenti, M_{o-y} (KNm) =	655070
$0.4M_{o-x}$ (KNm) =	232636
$0.75M_{o-x}$ (KNm) =	436192
$0.4M_{o-y}$ (KNm) =	262028
$0.75M_{o-y}$ (KNm) =	491303
$0.4M_{o-x} < \Sigma M_{dev-x} < 0.75M_{o-x}$; 232636 KN < 287903 KN < 436192 KN	
$0.4M_{o-y} < \Sigma M_{dev-y} < 0.75M_{o-y}$; 262028 KN < 358491 KN < 491303 KN	

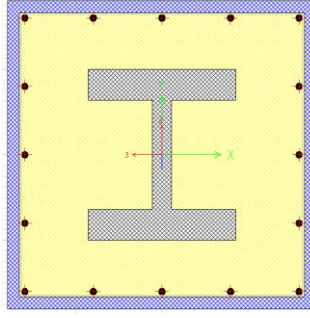
4.3.2.2. Yapı Elemanları

4.3.2.2.1. Kolonlar

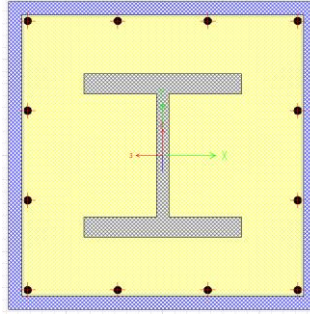
Yapıda kullanılan çelik gömme kompozit kolonların detayları ve enkesitleri Tablo 4.28 ve Şekil 4.62, Şekil 4.63, Şekil 4.64, Şekil 4.65’de verilmiştir. Ayrıca bu kolonların P-M-M grafikleri ‘Çelik Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapım Esasları’ yönetmeliğinde Bölüm 12’de verilen Tablo 12.2 ve Tablo 12.3’teki yöntemle göre oluşturulmuş ve doğrusal analiz sonucu elde edilen Eksenel kuvvet – Moment değerleri işlenmiştir (Şekil 4.66 - Şekil 4.73 arası).

Tablo 4.28: Yapıda kullanılan çelik gömme kompozit kolonların detayları.

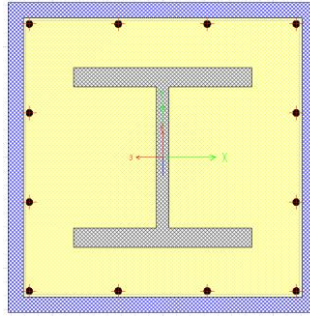
Kolon Adı	Uygulama Katı	Boyutları (mm)	Kullanılan Profil	Kullanılan Boy Donatı Çapı (mm)	Kullanılan Boy Donatı Adeti	Kullanılan Etriye Donatı Çapı (mm)	Kullanılan Etriye Donatı Aralığı (mm)
C60	28 - 36	600/600	H400X237	20	16	10	300
C70	19 - 27	700/700	H400X347	20	12	10	300
C80	10 - 18	800/800	H400X422	20	12	10	300
C90	1 - 9	900/900	H400X744	20	12	10	300



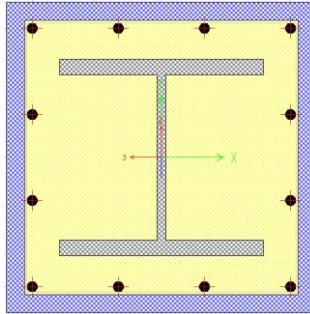
Şekil 4.62: C90 kompozit kolonu.



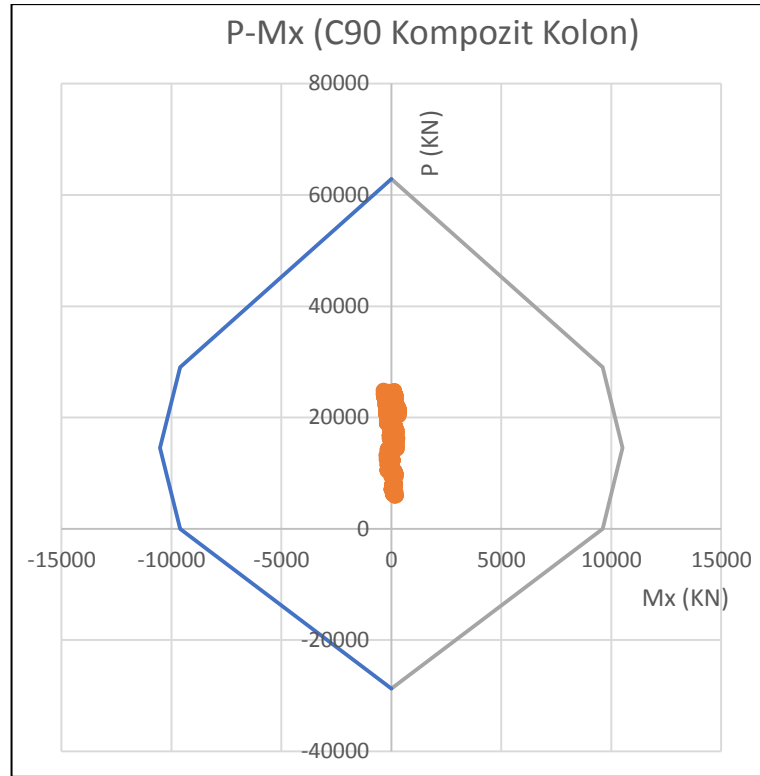
Şekil 4.63: C80 kompozit kolonu.



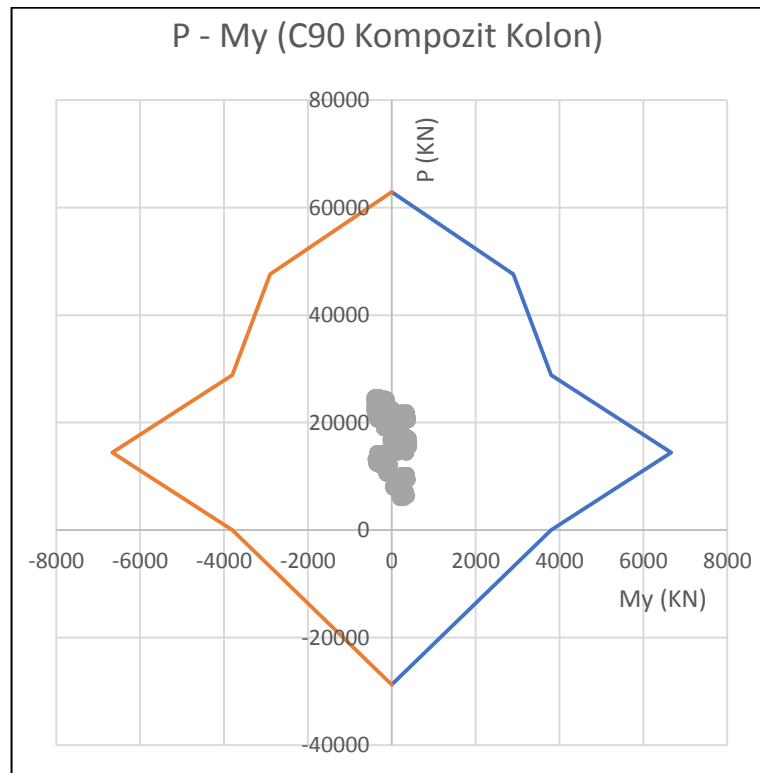
Şekil 4.64: C70 kompozit kolonu.



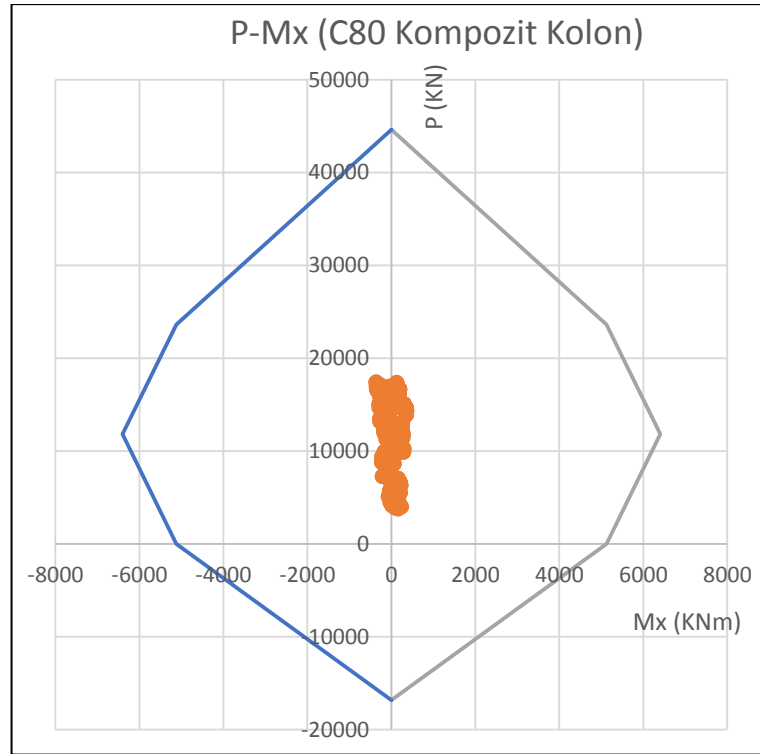
Şekil 4.65: C60 kompozit kolonu.



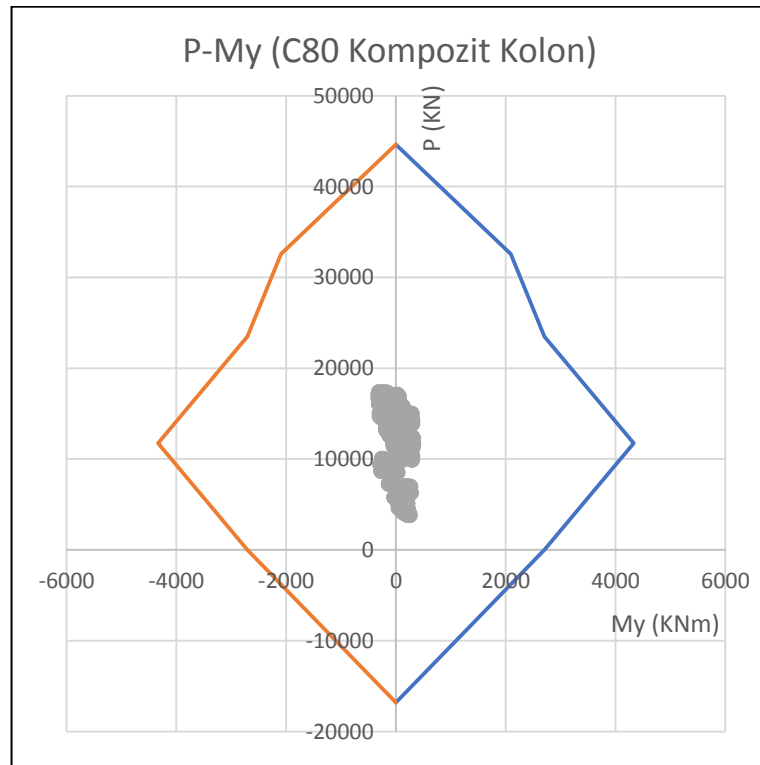
Şekil 4.66: C90 kompozit kolonu P-M_x diyagramı.



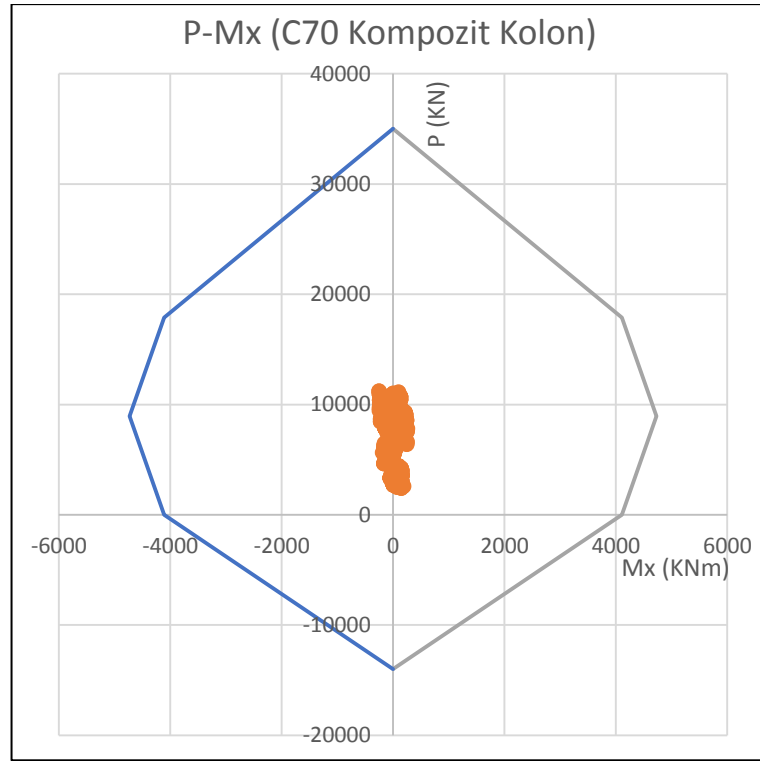
Şekil 4.67: C90 kompozit kolonu P-M_y diyagramı.



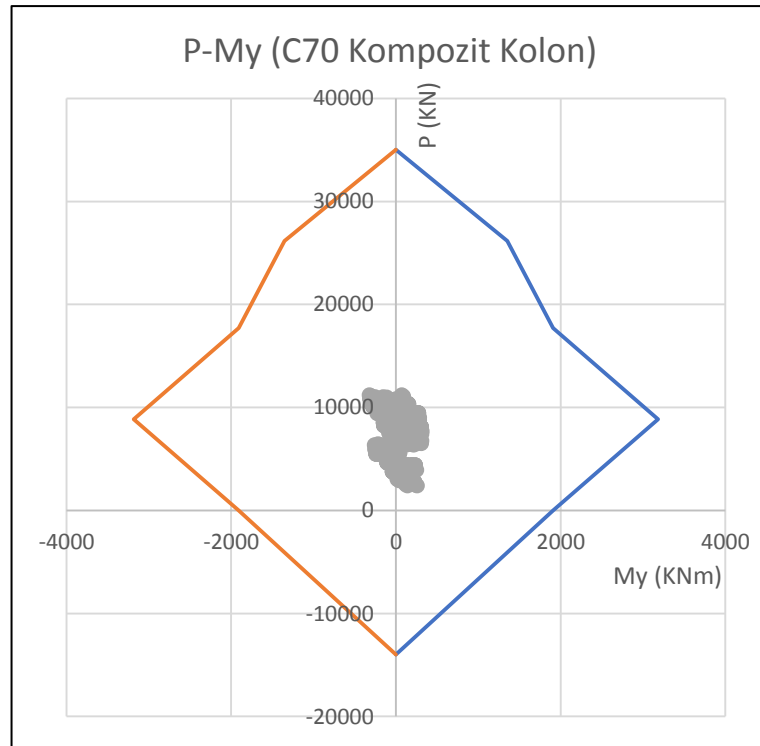
Şekil 4.68: C80 kompozit kolonu P-My diyagramı.



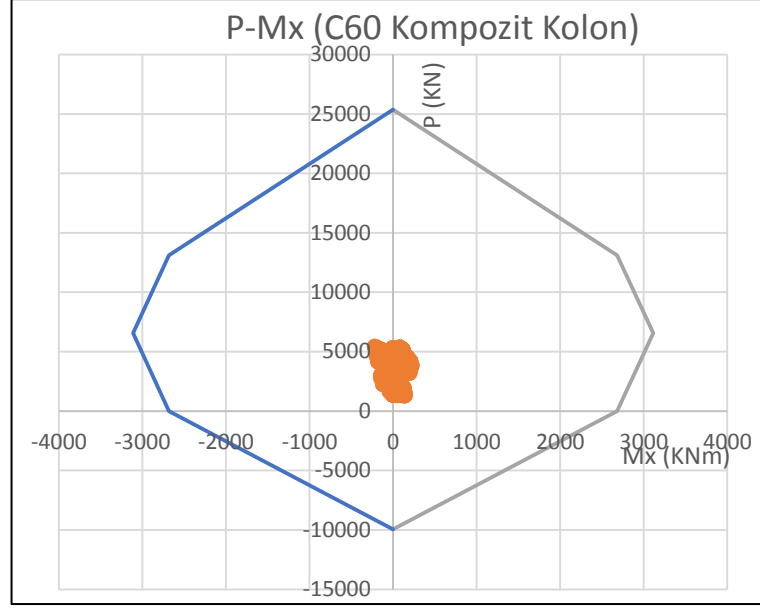
Şekil 4.69: C80 kompozit kolonu P-My diyagramı.



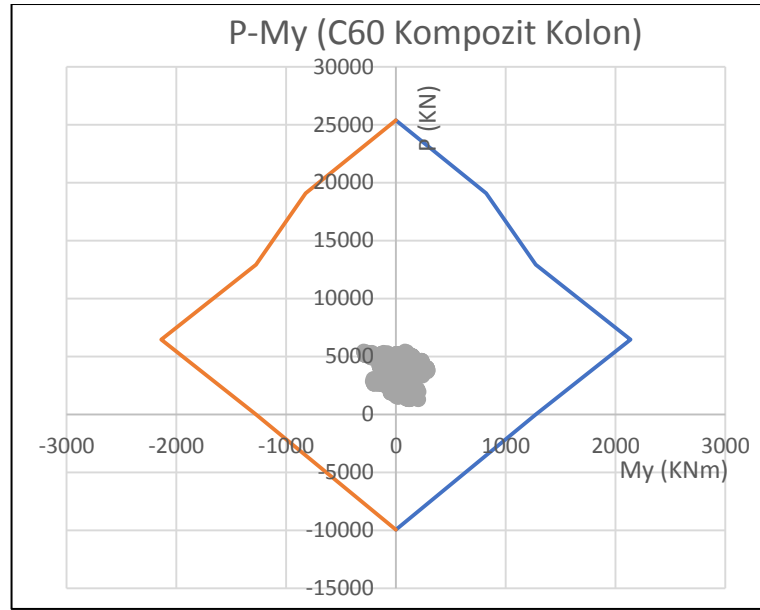
Şekil 4.70: C70 kompozit kolonu P-Mx diyagramı.



Şekil 4.71: C70 kompozit kolonu P-My diyagramı.



Şekil 4.72: C60 kompozit kolonu P-Mx diyagramı.



Şekil 4.73: C60 kompozit kolonu P-Mx diyagramı.

Büyütme katsayılarıyla artırılmış kesme tasarım kuvveti (V_d), ‘Çelik Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapım Esasları’ yönetmeliğinde Kesme Kuvveti Etkisi başlığı altında Bölüm 10’da verilen kurallara göre hesaplanan kesme dayanımı (V_n) ve TS500’e göre hesaplanan kesme dayanımı (V_r) hesabı Tablo 4.29 özet olarak verilmiştir.

– V_d = Analiz sonucunda elde edilen tasarım kuvveti.

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \text{ (Kesme Dayanımı)} \quad (4.19)$$

$$V_r = V_c + V_w \text{ (Kesme Dayanımı)} \quad (4.20)$$

Tablo 4.29: Kompozit kolonların kesme dayanım ve kontrolü.

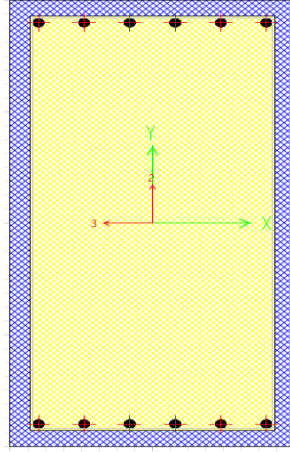
Kolon Adı	V _{d_max} (KN)	V _n (KN)	V _r (KN)	V _d < (V _r , V _n)
C60	338	1626	481	Sağlanıyor
C70	418	2583	653	Sağlanıyor
C80	448	3236	851	Sağlanıyor
C90	386	6275	1075	Sağlanıyor

4.3.2.2.2. Kirişler

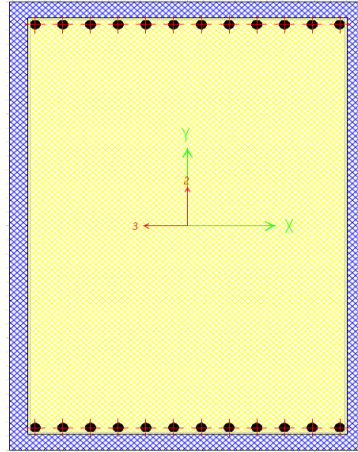
Yapıda kullanılan betonarme kiriş detayları ve enkesitleri Tablo 4.30 ve Şekil 4.74, Şekil 4.75, Şekil 4.76 'da verilmiştir. Kirişlerin eğilme ve kesme dayanımları TS500'e göre hesaplanarak özet olarak Tablo 4.31 ve Tablo 4.32 'de gösterilmiştir. Doğrusal analiz sonrası kirişler için elde edilen gerekli donatı miktarı yerine, minimum donatı oranının altına düşmeyecek şekilde azaltılmıştır. Bunun nedeni; kiriş kesitlerinin daha fazla zorlanmasını sağlamaktır.

Tablo 4.30: Kiriş detayları ve enkesitleri.

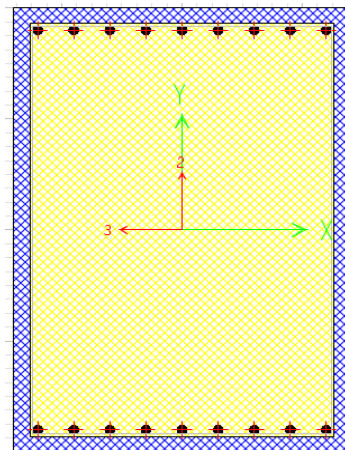
Kiriş Adı	Boyut- lar (B/H) (mm)	Bulunduğu Kat Aralığı	Donatı çapı (mm)	Mesnet Donatıları (Alt ve Üst) (adet)	Toplam Donatı alanı (mm ²)	Donatı oranı	$\rho \geq 0.80f_{ctd}/f_{yd}$
Beam_out	500 / 1000	1 - 36	20	6	1885	0.0038	$0.0038 \geq 0.0036$
Beam_in_1-9	500 / 1000	1 - 9	20	6	1885	0.0038	$0.0038 \geq 0.0036$
Beam_in_10-18	700 / 1000	10 - 18	20	12	3770	0.0075	$0.0075 \geq 0.0036$
Beam_in_19-27	500 / 1000	19 - 27	20	6	1885	0.0038	$0.0038 \geq 0.0036$
Beam_in_28-36	500 / 1000	28 - 36	20	6	1885	0.0038	$0.0038 \geq 0.0036$
LB	700 / 1000	Oca.36	20	9	2827	0.0057	$0.0057 \geq 0.0036$



Şekil 4.74: Beam out, Beam_in_1-9, Beam_in_19-27, Beam_in_28-36 kirişlerinin kesit detayları.



Şekil 4.75: Beam_in_10-18 kirişlerinin kesit detayları.



Şekil 4.76: Beam_in_10-18 kirişlerinin kesit detayları.

Tablo 4.31: Kiriş moment dayanımları ve kontrolleri.

Kiriş Adı	M _d (KNm)	M _r (KNm)	M _d < M _r
Beam out	707	628	Sağlamıyor
Beam in_1-9	1035	628	Sağlamıyor
Beam in_10-18	2009	1242	Sağlamıyor
Beam in_19-27	1290	628	Sağlamıyor
Beam in_28-36	1345	628	Sağlamıyor
LB	1822	940	Sağlamıyor

Tablo 4.32: Kirişlerin kesme dayanımları ve kontrolleri.

Kiriş Adı	Bulundu- ğu Kat Aralığı	V _d (KN)	V _r (KN)	V _e ≤ V _r	0,85. b _w . d√f _{ck} (KN)	V _e ≤ 0,85. b _w . d√f _{ck}
Beam_out	1 - 36	533	1513	Sağlıyor	2885	Sağlıyor
Beam_in_1-9	1 - 9	547	1513	Sağlıyor	4039	Sağlıyor
Beam_in_10-18	10 - 18	955	1677	Sağlıyor	4039	Sağlıyor
Beam_in_19-27	19 - 27	654	1513	Sağlıyor	4039	Sağlıyor
Beam_in_28-36	28 - 36	625	1513	Sağlıyor	3462	Sağlıyor
LB	1 - 36	1621	1677	Sağlıyor	6143	Sağlıyor

4.3.2.2.3. Perdeler

Perdeler U şeklinde olup, geometrik şekli, boyutları ve donatı detayları Şekil 4.26’da verilmiştir. Oluşturulan uç bölgelerinde sargılı beton, gövde bölgelerinde sargısız beton dikkate alınmıştır. Perde kalınlıkları 70 cm’dir.

Türkiye Deprem Yönetmeliği Bölüm 7’de perdelerin tasarımıyla ilgili ilk kriter (4.11)’da belirtildiği üzere, eksenel yük taşıma sınırıdır. Ön tasarımı yapılan perdenin bu kriterle ilgili kontrolü aşağıda verilmiştir.

- $A_c = 16,24 \text{ m}^2$
- $N_{dm} = 256785,40 \text{ KN}$
- $f_{ck} = 50000 \text{ KN/m}^2$
- $16,24 \text{ m}^2 \geq 256785,40 / (0,35 \times 50000)$
- $16,24 \text{ m}^2 \geq 14,67 \text{ m}^2$

Perde tasarımı, en olumsuz etkilerin söz konusu olduğu kat olan zemin kata göre yapılmış olup, tüm katlar için aynı tasarım kullanılmıştır. Perdelerin tasarımı yapılırken dikkate alınan ikinci kriter; her iki yönde perdelerin devrilme momentinin

en az %40'nı karşılamasıdır. Tasarlanan perdelerin bu kriteri sağladığı Tablo 4.10'da daha önce verilen hesap tablosunda gösterilmiştir.

Perdelerin tasarım kesme kuvvetleri ilgili hesaplamalar Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin Bölüm 7'de 7.6.6 alt başlığında verilmiştir. Ayrıca 7.6.7 alt başlığında kesme güvenliği kriterleri verilmiştir. İlgili denklem ve bağlantılar (4.12), (4.13), (4.14), (4.15), (4.16)'de verilmiştir.

Bu denklem ve bağlantılara göre hesaplanan kesme kuvvetleri, analiz sonucu elde edilen kesme kuvvetleri, kesme dayanımları ve karşılaştırmaları Tablo 4.33 ve Tablo 4.34'de özet olarak verilmiştir.

Tasarım eğilme moment tesirleri doğrusal analizin sonuçlarından alınmıştır. Eğilme momenti dayanımı, eksen takımının ağırlık merkezinde olduğu var sayılarak başlıklarda ve gövdelerde bulunan beton ve donatıların eğilmeye katkıları dikkate alınarak x ve y eksenlerine göre hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucu elde edilen dayanım, analizden elde edilen tesirler ve karşılaştırmaları Tablo 4.35'de özet olarak verilmiştir.

Tablo 4.33: Perde kesme dayanımları ve kontrolleri.

Kat Seviyesi	Yön	V_d (KN)	V_e (KN)	$V_{tasarım} = \min(V_d; V_e)$ (KN)	V_r (KN)	$V_e < V_r$
Zemin Kat	X yönü	12563	40900	12563	32236	Sağlıyor
Zemin Kat	Y yönü	14612	88007	14612	32236	Sağlıyor

Tablo 4.34: Perde kesme dayanımları ve kontrolleri.

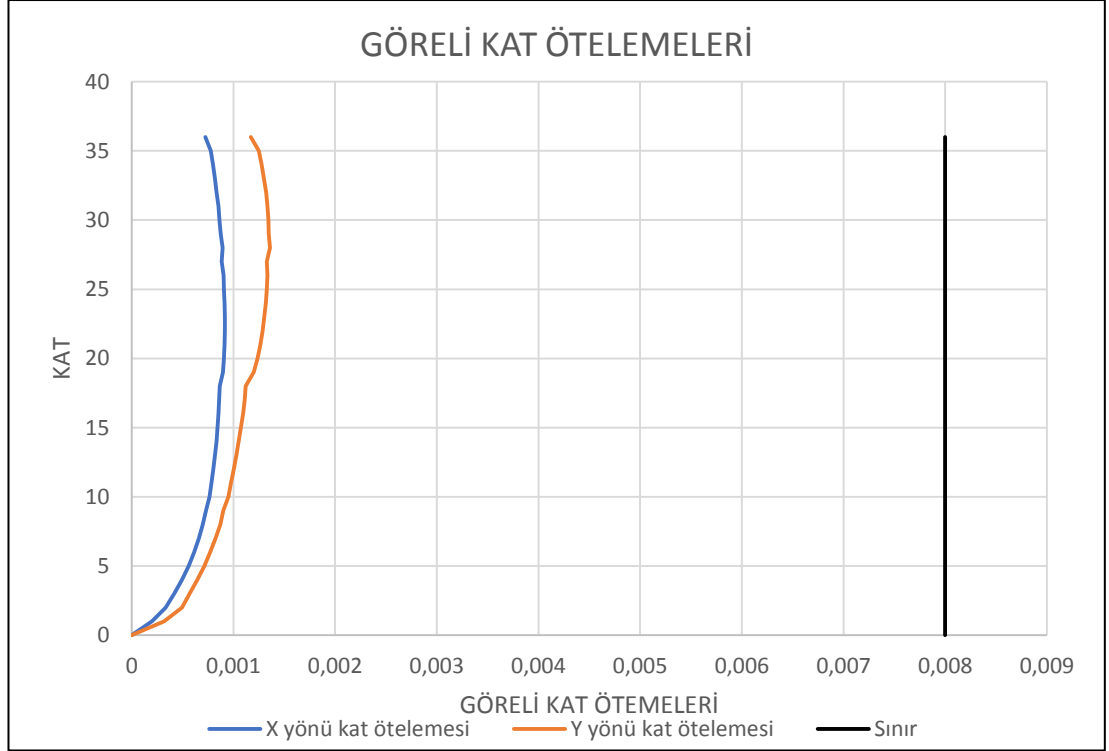
Kat Seviyesi / Yön	$0.65A_{ch}\sqrt{f_{ck}}$ Bağ kirişli perdeler (KN)	$0.85A_{ch}\sqrt{f_{ck}}$ Boşluksuz perdeler (KN)	$V_e \leq 0.65A_{ch}\sqrt{f_{ck}}$	$V_e \leq 0.85A_{ch}\sqrt{f_{ck}}$
Zemin Kat / X yönü	74642		Sağlıyor	
Zemin Kat / Y yönü		97609		Sağlıyor

Tablo 4.35: Perde moment dayanımları ve kontrolleri.

Kat Seviyesi	M_{dx} (KNm)	M_{dy} (KNm)	M_{rx} (KNm)	M_{ry} (KNm)	$M_{dx} < M_{rx}$	$M_{dy} < M_{ry}$
Zemin Kat	152525	95647	860934	166067	Sağlıyor	Sağlıyor

4.3.2.3. Görelî Kat Öteleme Hesabı

Yapılan analizler sonucunda elde edilen görelî kat ötelemeleri, λ (DD-3 deprem yer hareketiyle elde edilen elastik tasarım spektral ivmenin DD-2 deprem yer hareketinden elde edilen elastik tasarım spektral ivmeye oranı) ile çarpılarak elde edilen değerler ve sınır koşulları Şekil 4.77’de gösterilmiştir.



Şekil 4.77: Analiz sonucu elde edilen görelî kat ötelemeleri.

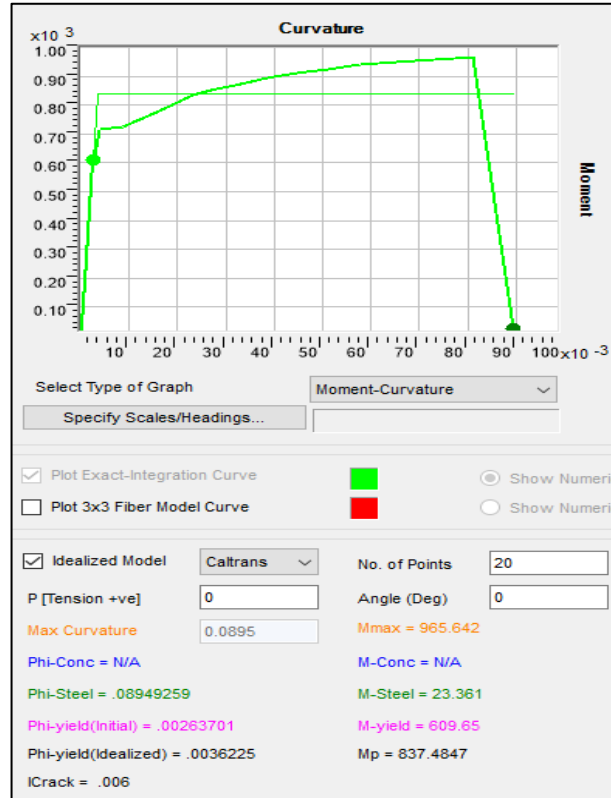
4.3.3. Tasarım III Aşaması

4.3.3.1. Yapı Eleman Modelleri

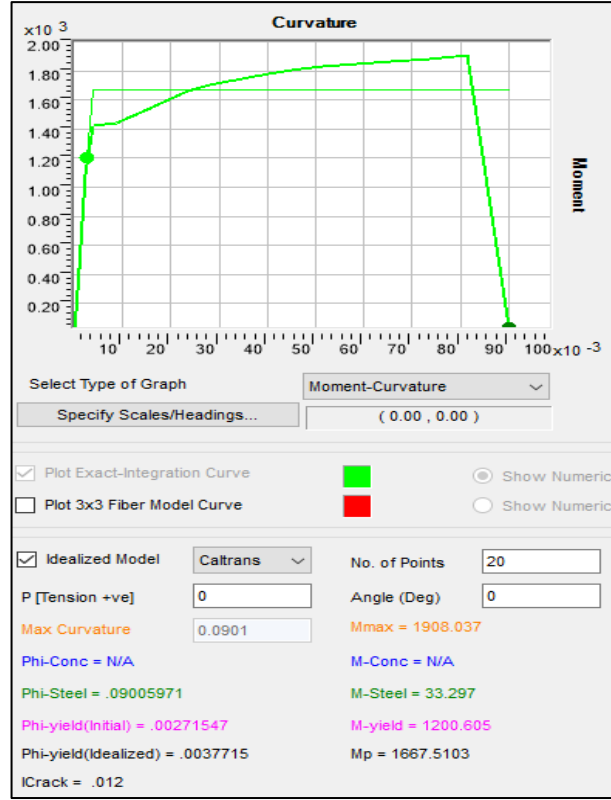
Sünek davranışa sahip elemanlar için “Türkiye Deprem Yönetmeliği “Bölüm 5’de belirtilen “Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞGDT) “ ilkeleri doğrultusunda şekil değiştirme talepleri hesaplanarak, yüksek yapılar için hedeflenen performans kriterlerinin ön gördüğü sınırlara göre değerlendirilmiştir. Sünek yapı elemanlarında şekil değiştirme taleplerini hesaplamak için kullanılacak doğrusal olmayan davranış modelleri oluşturulmuştur.

4.3.3.1.1. Kirişlerin Doğrusal Olmayan Davranış Modeli

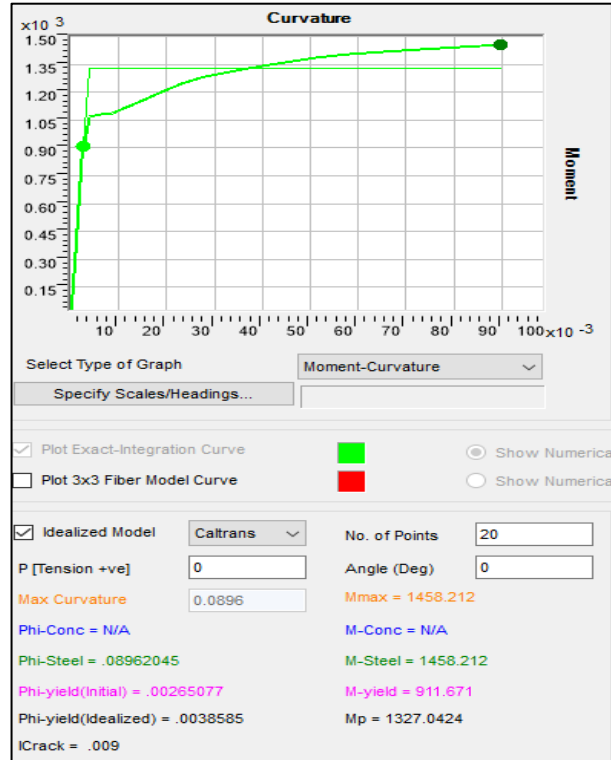
Betonarme kirişlerin doğrusal olmayan davranış modelleri için yığılı plastik mafsalları tanımlanmıştır. Bu yığılı plastik mafsalları oluştururken kullanacağımız M_y etkin akma momenti, ϕ_y etkin akma eğriliği ve ϕ_u göçme öncesi toplam eğrilik verileri SAP2000 programından alınmıştır (Şekil 4.78, Şekil 4.79 ve Şekil 4.80).



Şekil 4.78: Beam_out, Beam_in_1-9, Beam_in_19-27, Beam_in_28-36 kirişlerinin Moment-Eğrilik ilişkisi (SAP2000).



Şekil 4.79: Beam_in_10-18 kirişi Moment-Eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.80: LB bağ kirişi Moment-Eğrilik ilişkisi (SAP2000).

Yıgılı plastik mafsal modelinin omurga eğrisi, yapı elemanlarının enerji

tüketimleri bu tezde dikkate alınmayacağı için basit bir model olan iki doğrultulu bir omurga eğrisi olarak tanımlanmıştır. Bu eğri oluşturulurken M_y akma momenti olarak, SAP2000 programındaki idealize edilmiş değer olan M_p momenti tercih edilmiştir.

θ_y plastik mafsalsal akma dönmesi Türkiye deprem yönetmeliği Bölüm 5’de verilen ve denklem (4.17)’de belirtilen bağlantı yardımıyla hesaplanmıştır.

Yine bu programdan alınan Φ_y akma başlangıç eğriliği ve Φ_u göçme öncesi toplam eğriliği ile en büyük plastik dönme denklem (4.18) yardımıyla hesaplanarak Tablo 4.36 ‘de verilmiştir.

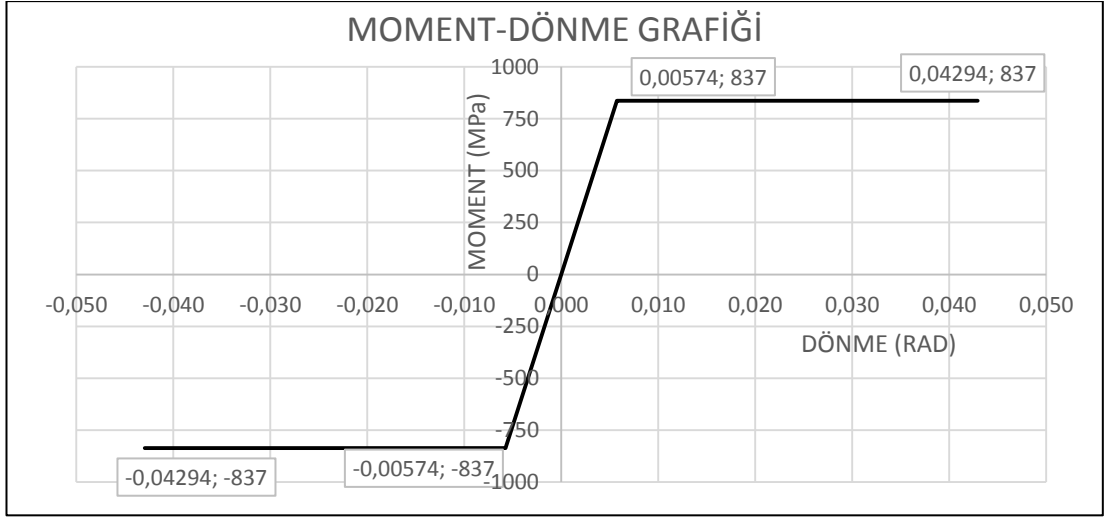
Tablo 4.36: Kirişlerin eğrilikleri ve hesaplanan en büyük plastik dönme.

Kiriş Adı	Φ_y (Etkin akma Eğriliği) (1/m)	Φ_u (Göçme öncesi toplam eğrilik) (1/m)	Plastik Eğrilik (1/m)	L_p (Plastik Mafsalsal Boyu) (m)	θ_u (En Büyük Plastik Dönme) (rad)
Beam out	0.003622	0.0895	0.0859	0.5	0.04294
Beam in_1-9	0.003622	0.0895	0.0859	0.5	0.04294
Beam in_10-18	0.003771	0.0901	0.0863	0.5	0.04316
Beam in_19-27	0.003622	0.0895	0.0859	0.5	0.04294
Beam in_28-36	0.003622	0.0895	0.0859	0.5	0.04294
LB	0.003858	0.0896	0.0857	0.5	0.04287

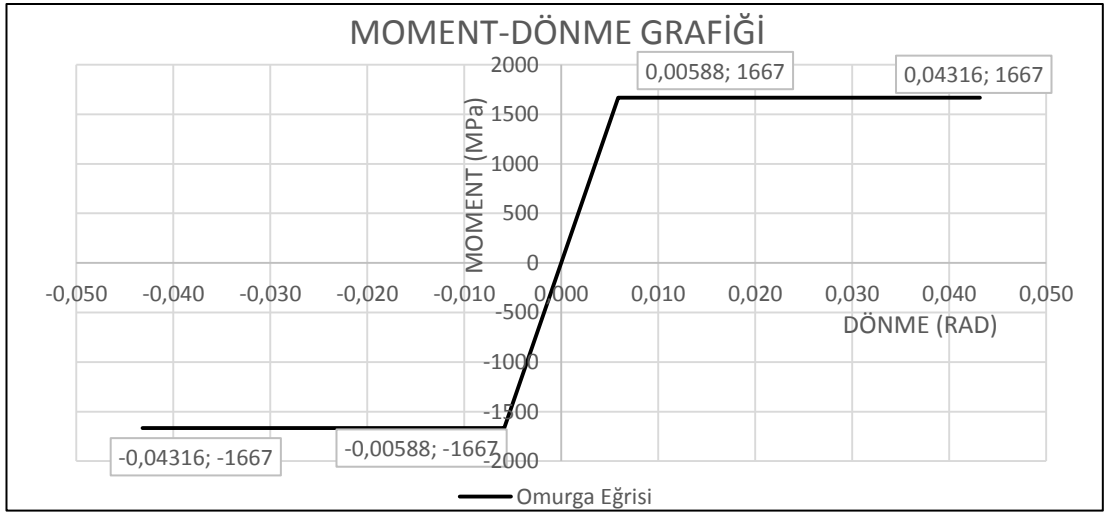
Kirişler için kullanılacak yığılı plastik mafsalsal omurga eğrisi için gerekli bilgiler ve kesit rijitlik oranları Tablo 4.37’de verilmiştir. Bu eğrilerin grafiksel gösterimi Şekil 4.81, Şekil 4.82 ve Şekil 4.83 ‘de verilmiştir.

Tablo 4.37: Kirişlerin plastik mafsalsal omurga eğri değerleri ve etkin kesit rijitlik oranları.

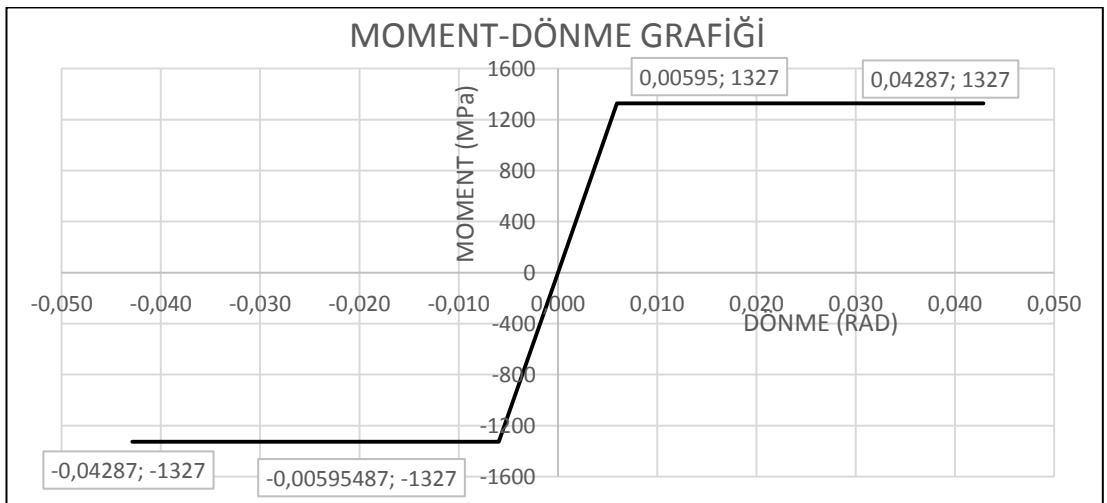
Kiriş Adı	M_y (Plastik Akma Momenti) (KNm)	θ_y (Plastik mafsalsal akma dönmesi) (rad)	θ_u (En Büyük Plastik Dönme) (rad)	$(EI)_c / (EI)_o$ etkin kesit rijitlik oranı
Beam out	837	0.00574	0.04294	7%
Beam in_1-9	837	0.00574	0.04294	7%
Beam in_10-18	1667	0.00588	0.04316	9%
Beam in_19-27	837	0.00574	0.04294	7%
Beam in_28-36	837	0.00574	0.04294	7%
LB	1327	0.00595	0.04287	7%



Şekil 4.81: Beam_out, Beam_in_1-9, Beam_in_19-27, Beam_in_28-36 kirişlerinin Moment-Dönme eğrisi.



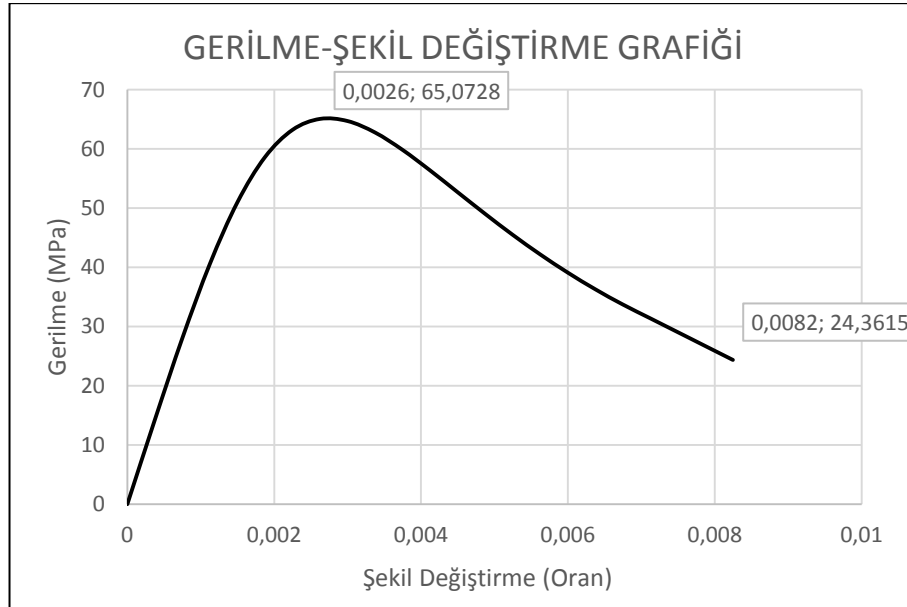
Şekil 4.82: Beam_in_10-18 kirişinin Moment-Dönme eğrisi.



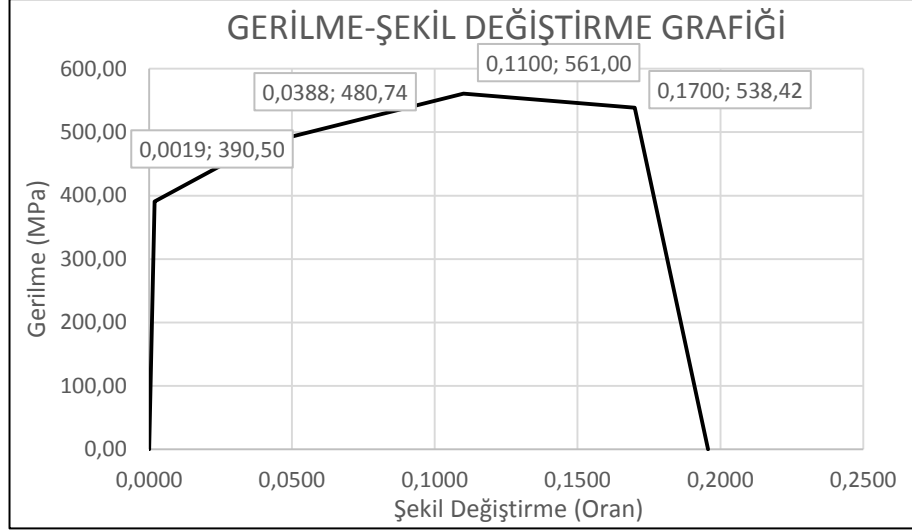
Şekil 4.83: LB bağ kirişinin Moment-Dönme eğrisi.

4.3.3.1.2. Kolonların Doğrusal Olmayan Davranış Modeli

Çelik gömme kompozit kolonlarının doğrusal olmayan davranışını modellemek ve değerlendirmek için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde herhangi bir kriter olmadığı için yığılı plastik mafsal modelini oluştururken, kesiti oluşturan farklı malzemeleri dikkate alarak kesit, hücrelere bölünmüştür. Bu kesitlerin davranışlarından yola çıkarak, moment-dönme değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucu elde edilen değerlerin karşılaştırılmasını yapmak için kolonların PMM akma yüzeyleri kullanılmıştır. Kompozit kolonlarda bulunan C50/60 betonunun mander metoduyla hazırlanan doğrusal olmayan malzeme modelinin gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.84 'de verilmiştir. Kullanılan S420 donatı çeliği için gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.2 'de, S355 çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.85'de verilmiştir.



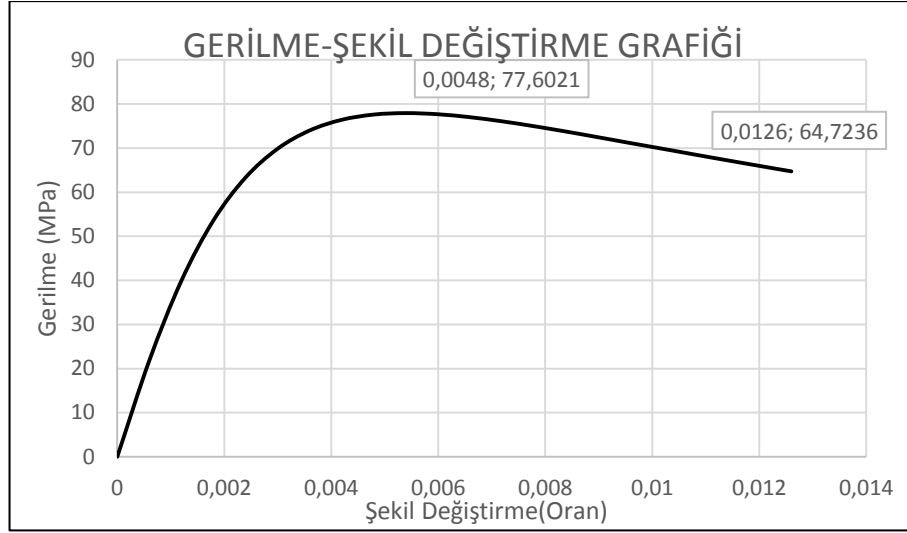
Şekil 4.84: Kompozit kolonlarda sargılanmış C50/60 betonunun Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.



Şekil 4.85: S355 çeliği Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.

4.3.3.1.3. Perdelerin Doğrusal Olmayan Davranış Modeli

Perdelerde doğrusal olmayan davranışı modellemek için kesit hücresi (lif) modeli kullanılacağı için hem betonun hem de donatı çeliğinin doğrusal olmayan malzeme modellerinin oluşturulması gereklidir. Başlık kolonlar için kullanılacak C50/60 sargılı betonun mander metodu ile hesaplanan gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.86 'da verilmiştir. Gövde kısmı için sargısız beton modeli kullanılacak olup daha önce Şekil 4.1 'de gerilme-şekil değiştirme grafiği verilmiştir. S420 donatı çeliği için gerilme-şekil değiştirme grafiği daha önce Şekil 4.2 verilmiştir.



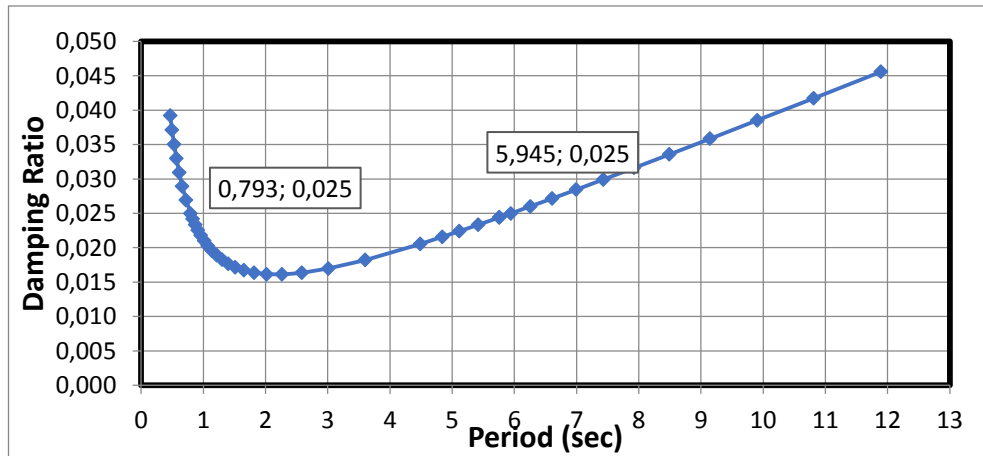
Şekil 4.86: Perde başlık kolonları için sargılanmış C50/60 betonunun Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.

4.3.3.2. Rayleigh Sönüm Fonksiyonu

T1 periyodu için alt sınır değer olarak 0.2T1, üst sınır değer olarak 1.5T1 alınmıştır;

- Alt sınır değeri = $0.2 \times 3.964 = 0.793$ sn
- Üst sınır değeri = $1.5 \times 3.964 = 5.946$ sn

Yapının doğrusal olmayan analizinde kullanılmak üzere oluşturulan sönüm matrisinin fonksiyon grafiği Şekil 4.87’de verilmiştir.



Şekil 4.87: Rayleigh sönüm fonksiyonu.

4.3.3.3. Performans Hedefleri

Türkiye deprem yönetmeliğinde Bölüm13’de belirtilen Tasarım III aşamasında yüksek yapılarda kullanılan yapı elemanları için performans hedefleri ve yapı taşıyıcı sisteminin görelî kat ötelemeleri sınırlarını belirtilen değerler verilmiştir.

Sünek davranışa sahip ve yığılı plastik mafsal ile modellenene yapı elemanlarında şekil değiştirmeye bağılı olarak hesaplanan dönmeler, DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında normal performans hedefi olarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ), ileri performans hedefi olarak ise Kontrollü Hasar (KH) performans hedefinin sağlanması istenmiştir. Perde elemanlarda doğrusal olmayan davranışı modellemek için kesit hücresi (lif) modeli kullanıldığı için bu elemanların performans değerlendirmesinde kesit hücrelerin birim uzamalarına bağılı olarak hesaplanan birim şekil değiştirmeler dikkate alınmıştır. Yine bu elemanlar için DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında normal performans hedefi olarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ), ileri performans hedefi olarak ise Kontrollü Hasar (KH) performans hedefinin sağlanması istenmiştir. Kirişlerde dönme performans düzeylerinin sınır durumları Tablo 4.38’de, perdelerde başlık kolonları için malzeme sınır durumları Tablo 4.39’da verilmiştir. Kolonlarda plastik mafsal oluşmadığı için sınır durumlar hesaplanmamıştır.

Tablo 4.38: Kirişlerin dönme değerleri için performans düzeyi sınır durumları.

Kiriş Adı	$\theta_p(SH)$ sınır durumu	$\theta_p(KH)$ sınır durumu	$\theta_p(GÖ)$ sınır durumu
Beam out	0.0001	0.02306	0.03074
Beam in_1-9	0.0001	0.02306	0.03074
Beam in_10-18	0.0001	0.02318	0.03091
Beam in_19-27	0.0001	0.02306	0.03074
Beam in_28-36	0.0001	0.02306	0.03074
LB	0.0001	0.02303	0.03071

Tablo 4.39: Perdelerde başlık kolonları için sargılanmış C50/60 betonu ve S420 donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri için performans düzeyi sınır durumları.

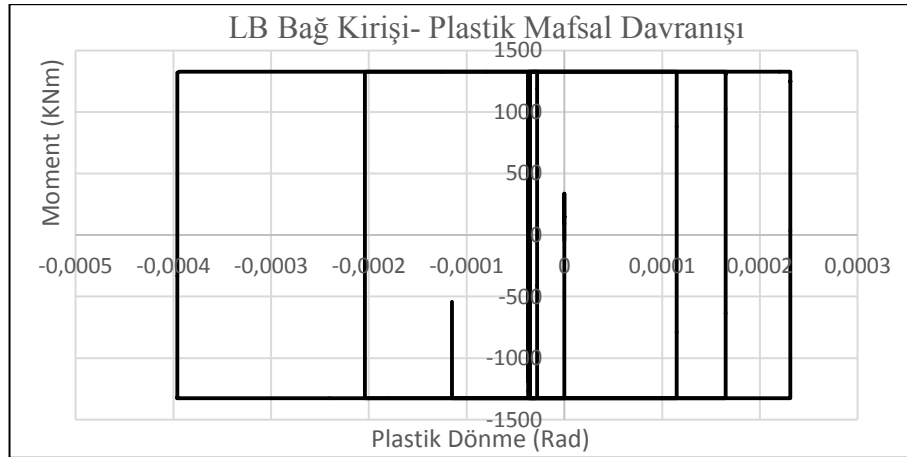
$\epsilon_c^{(SH)}$	0.0025	$\epsilon_s^{(SH)}$	0.0075
$\epsilon_c^{(KH)}$	0.0092	$\epsilon_s^{(KH)}$	0.024
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	0.0122	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	0.032

Yönetmelikte yapı taşıyıcı sisteminin DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında dikkate alınan $2 \times 11 = 22$ depremden elde edilen ortalama görelî kat öteleme oranının 0.03'ü, tek bir depremden elde edilen en büyük kat öteleme oranının ise 0.45'i geçmemesi istenmektedir.

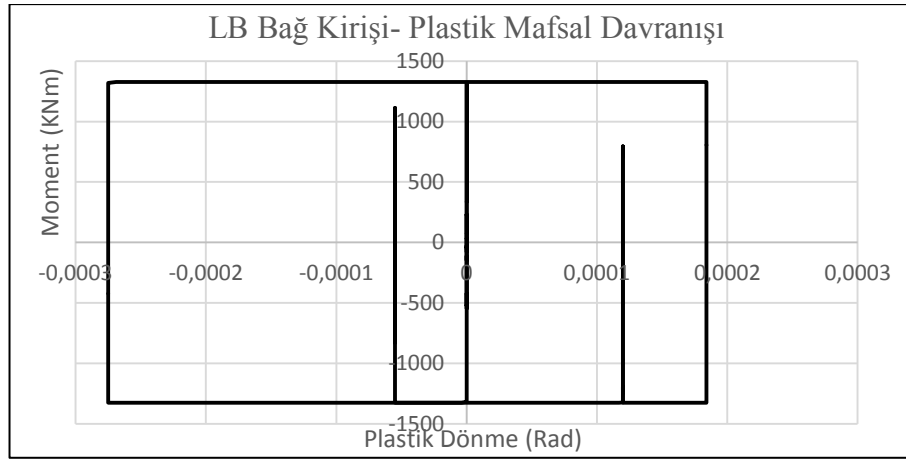
4.3.3.4. Analiz Sonuçları

4.3.3.4.1. Kirişlerin Değerlendirilmesi

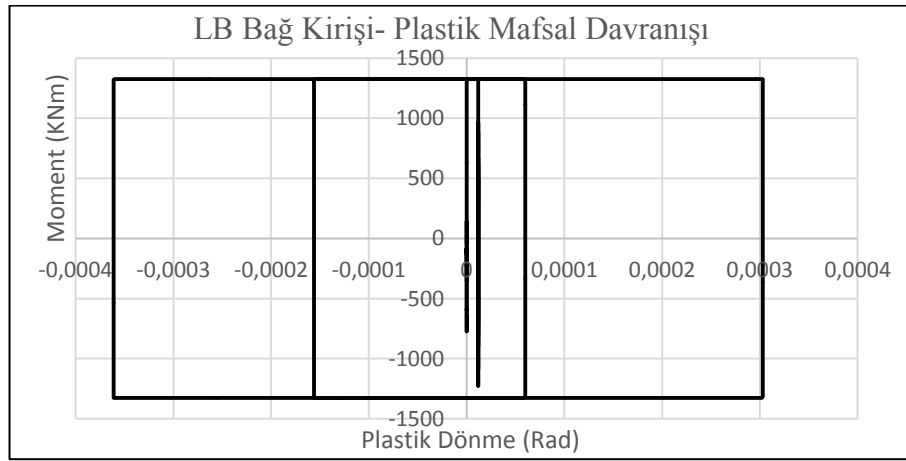
Atanan kiriş kesitlerinin DD-1 yer hareketi düzeyine göre ölçeklendirilmiş deprem yükleri altında en çok zorlanan ve plastikleşen kesitlerin plastik mafsalları davranışları grafik olarak Şekil 4.88 - Şekil 4.102 arasında verilmiştir. Bu grafiklerde de gözüktüğü gibi plastik dönmeler KH sınır değerlerinin oldukça altında kalmıştır.



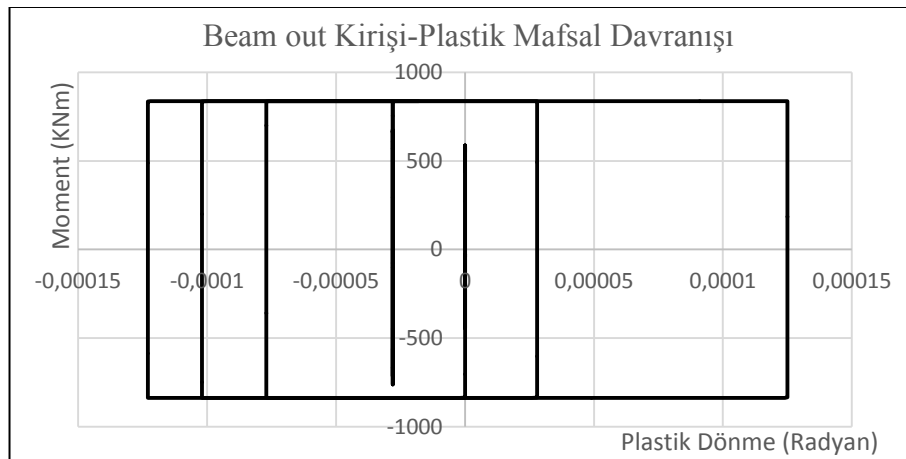
Şekil 4.88: LB bağ kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).



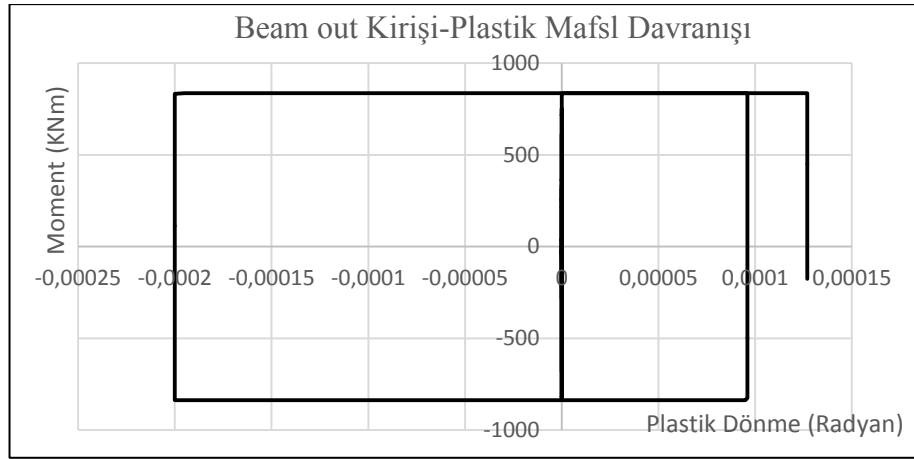
Şekil 4.89: LB bağ kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1614DUZCE).



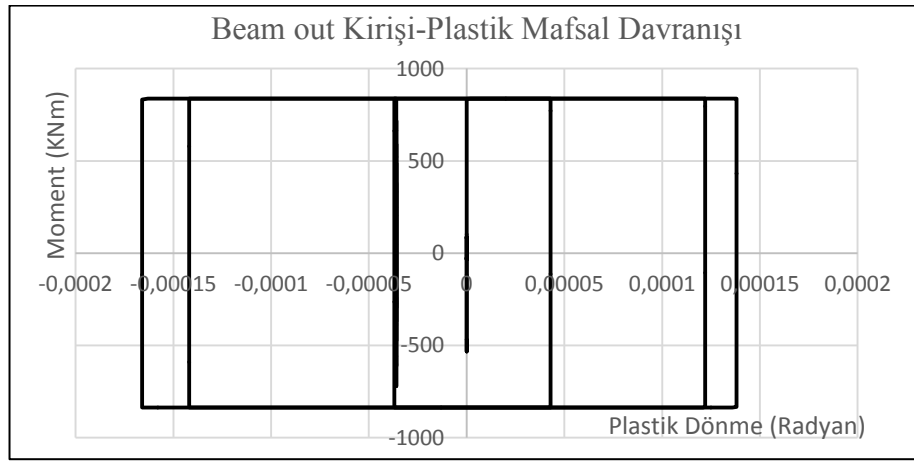
Şekil 4.90: LB bağ kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).



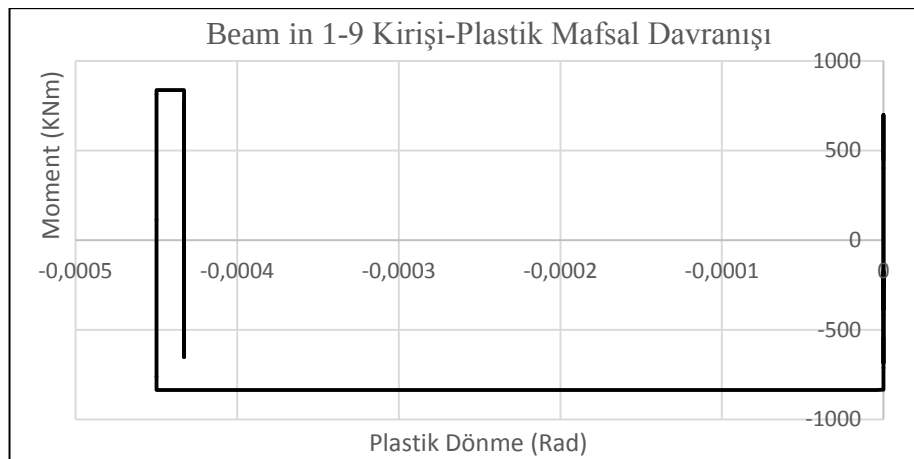
Şekil 4.91: Beam out kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).



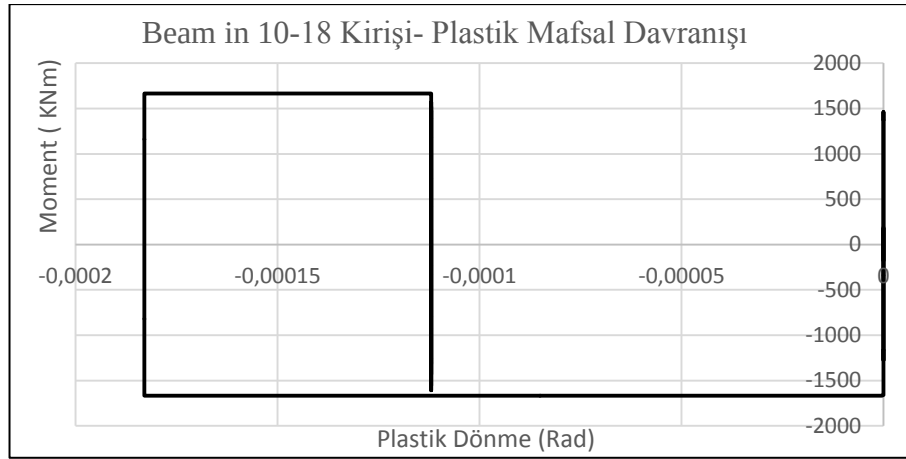
Şekil 4.92: Beam out kirişı Moment-Dönme grafiği (RSN1614DUZCE).



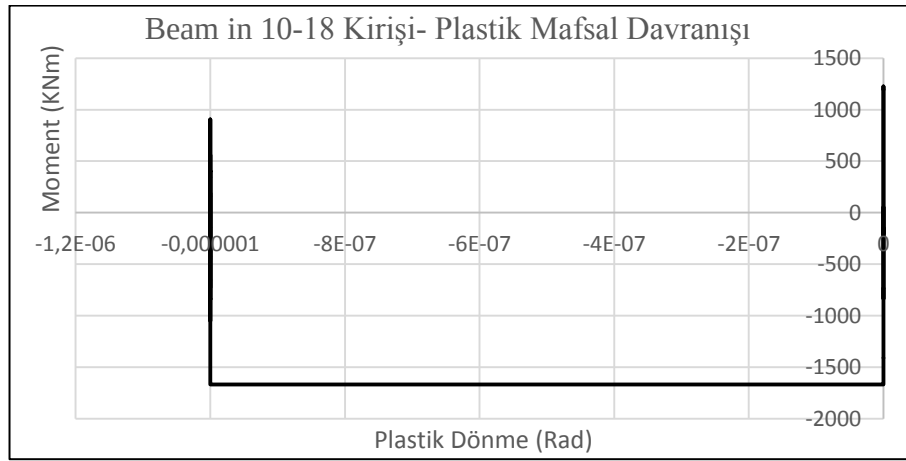
Şekil 4.93: Beam out kirişı Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).



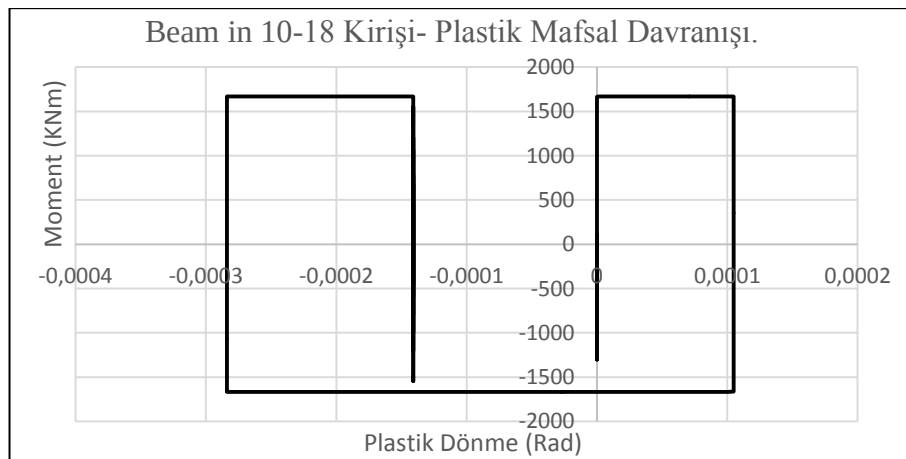
Şekil 4.94: Beam in 1-9 kirişı Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).



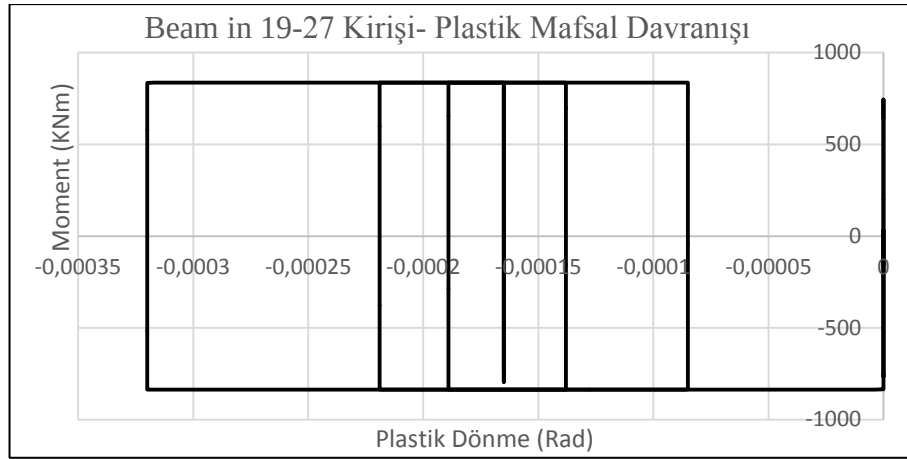
Şekil 4.95: Beam in 10-18 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).



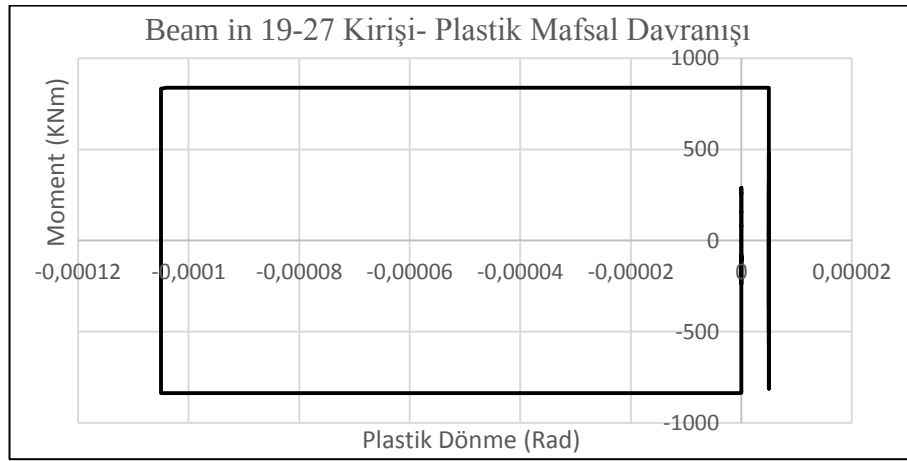
Şekil 4.96: Beam in 10-18 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1614DUZCE).



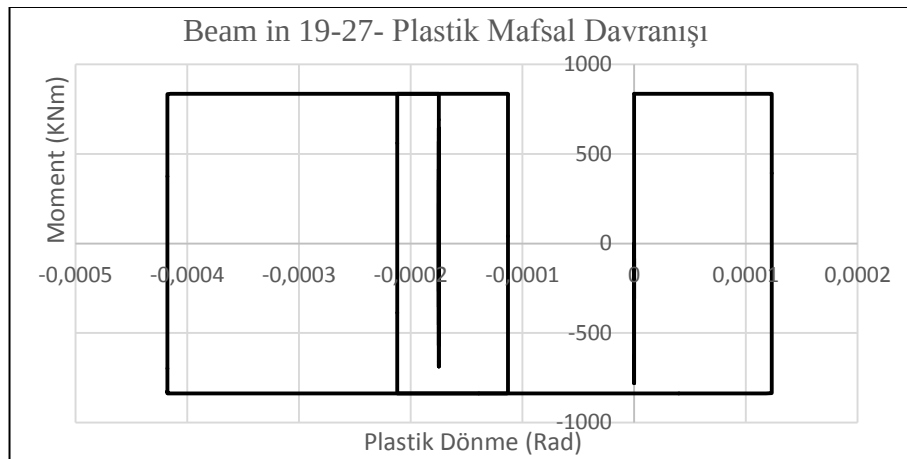
Şekil 4.97: Beam in 10-18 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).



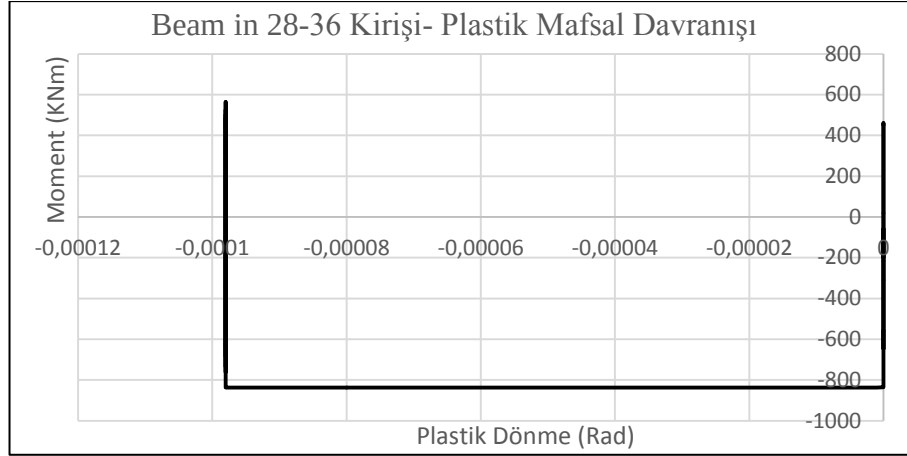
Şekil 4.98: Beam in 19-27 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).



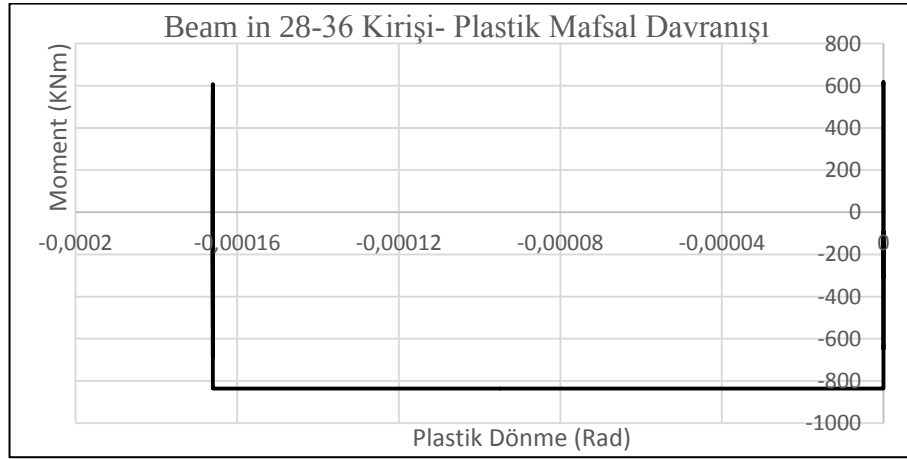
Şekil 4.99: Beam in 19-27 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1614DUZCE).



Şekil 4.100: Beam in 19-27 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).



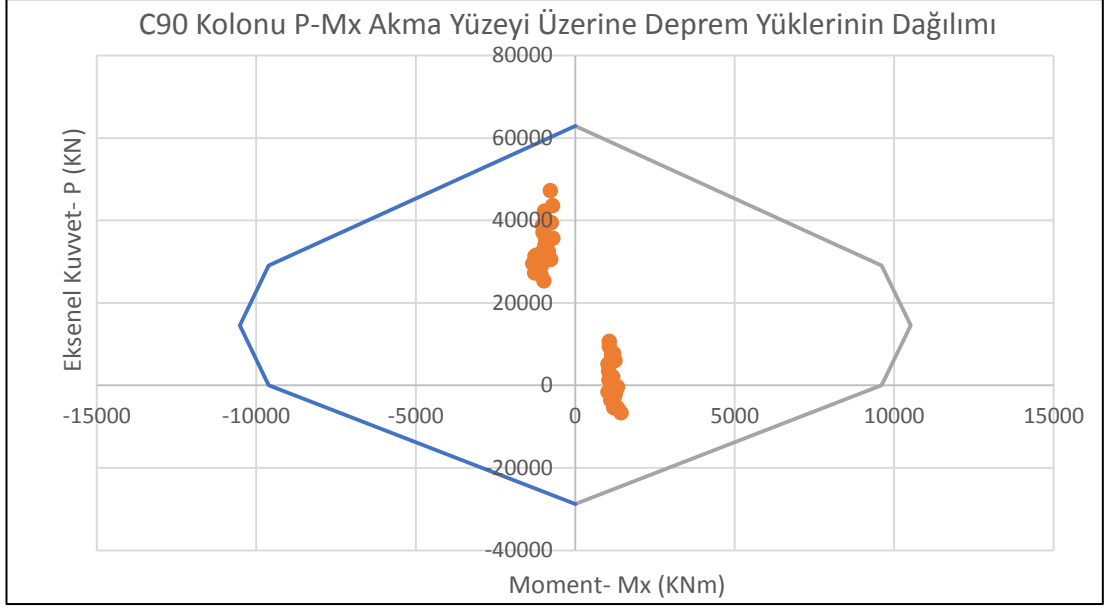
Şekil 4.101: Beam in 28-36 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN1165KOCAELİ).



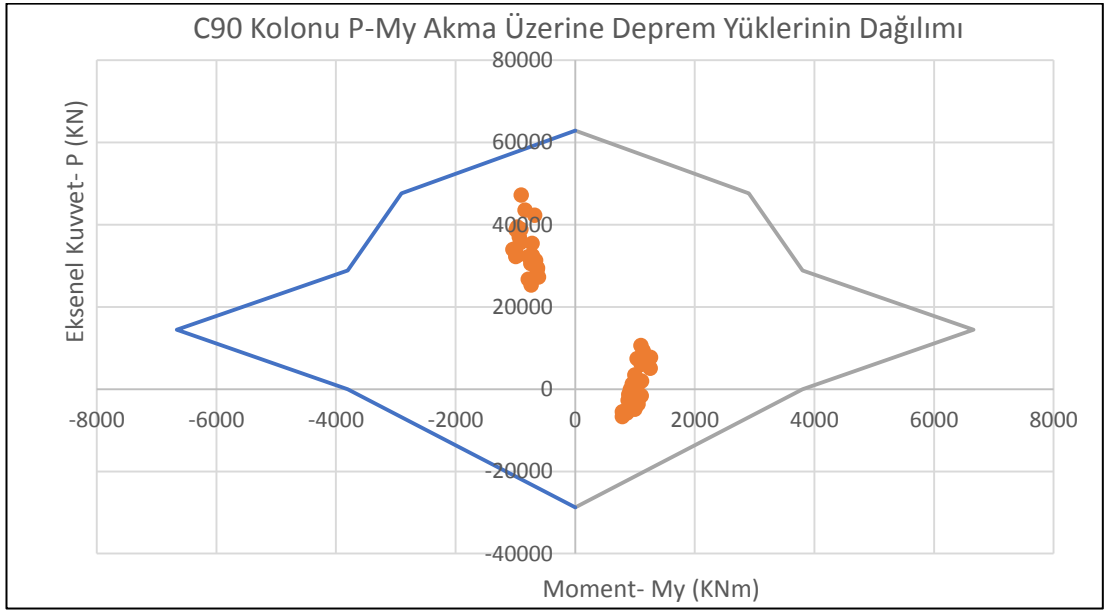
Şekil 4.102: Beam in 28-36 kirişi Moment-Dönme grafiği (RSN879LANDERS).

4.3.3.4.2. Kolonların Değerlendirilmesi

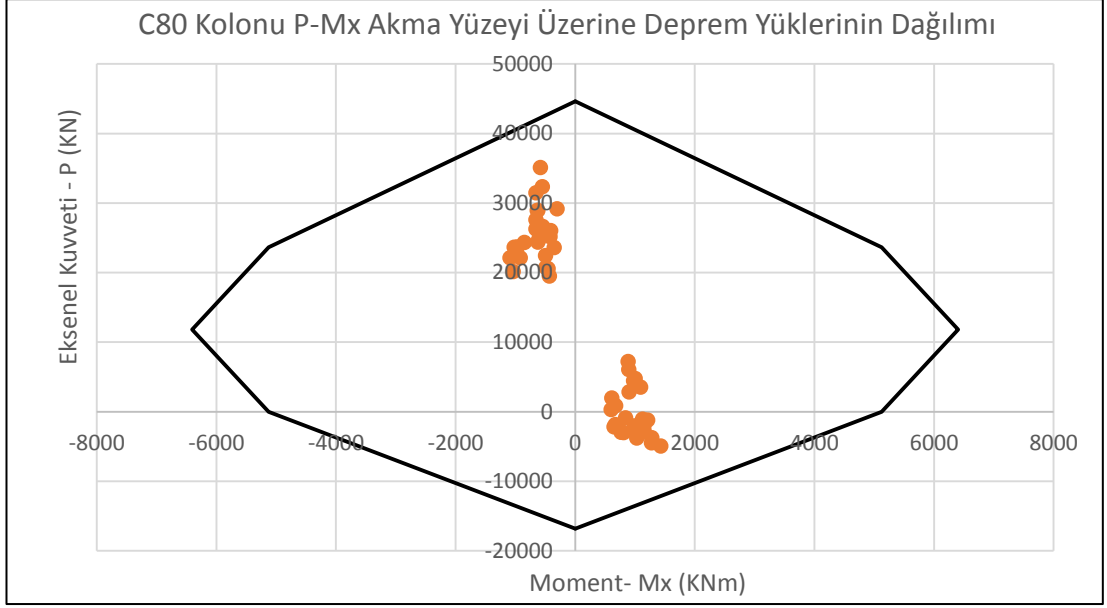
Kolon olarak atanan kesitlerde DD-1 yer hareketi düzeyine göre ölçeklendirilmiş deprem yükleri altında PMM akma yüzeyi aşılmadığı görülmüştür. Bunu PMM grafikleri üzerinde işlenmiş deprem yüklerini gösteren Şekil 4.103 - Şekil 4.110 arasında gösterilmiştir. Ayrıca en fazla zorlanan kolon kesitlerinin Moment-Dönme grafikleri Şekil 4.111 - Şekil 4.118 arasında gösterilmiştir.



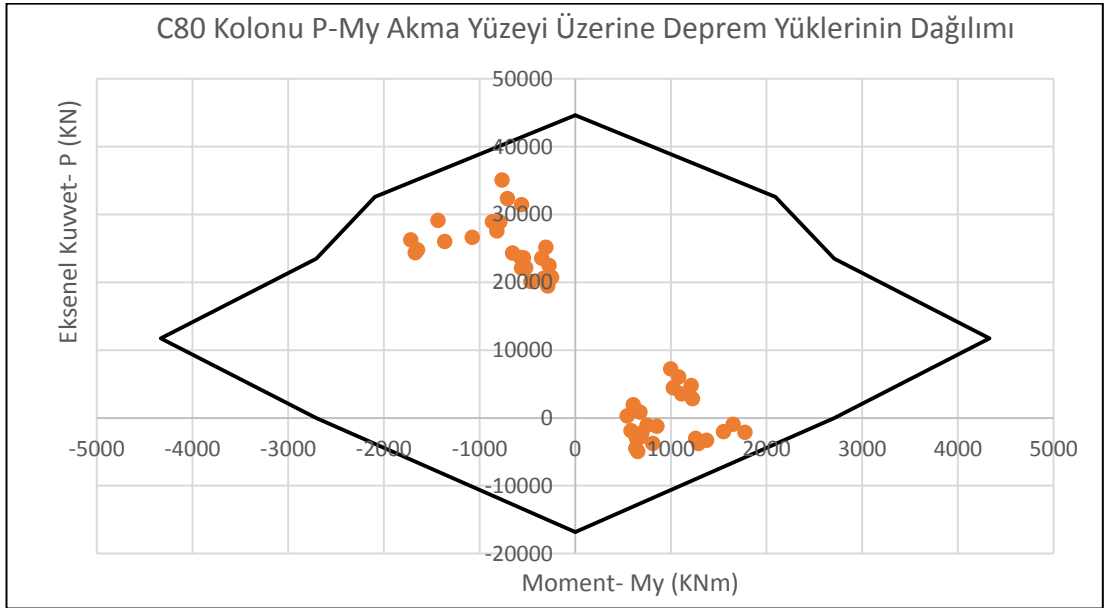
Şekil 4.103: C90 Kolonu P-Mx grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.



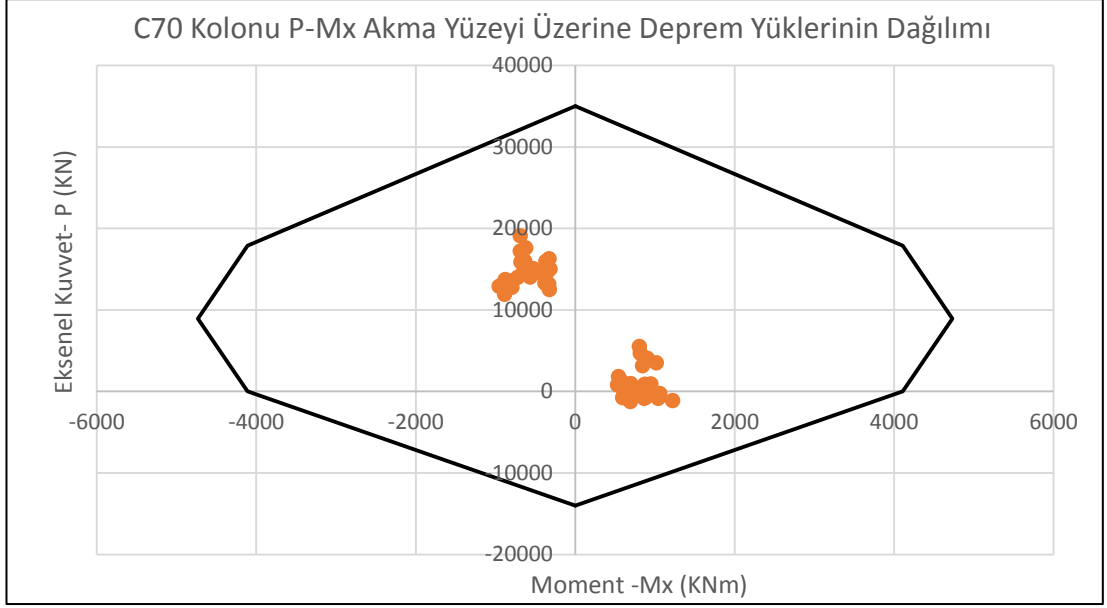
Şekil 4.104: C90 Kolonu P-My grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.



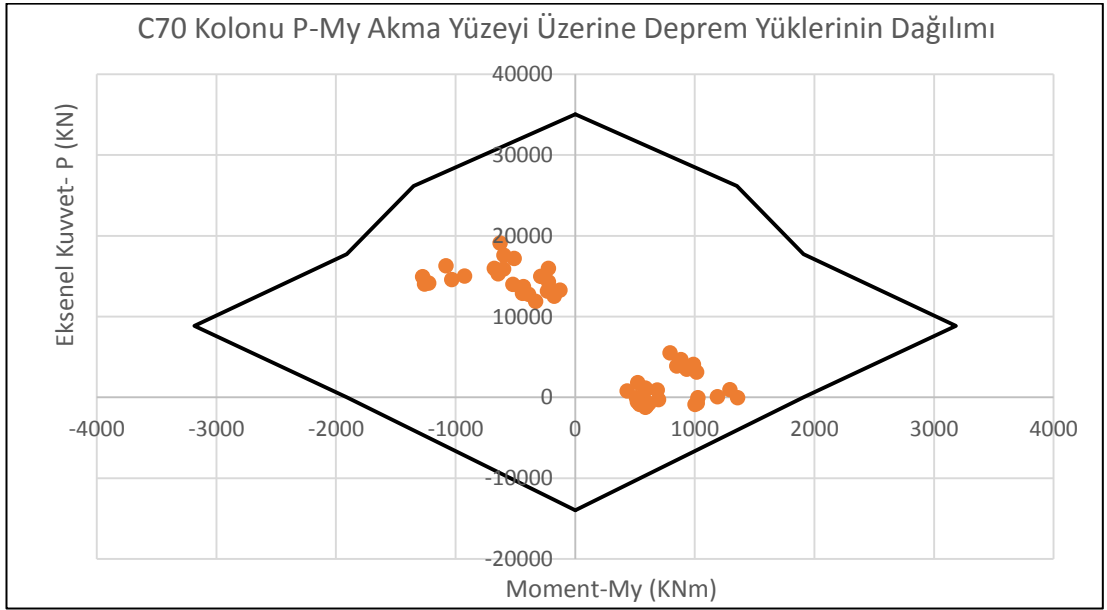
Şekil 4.105: C80 Kolonu P-Mx grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.



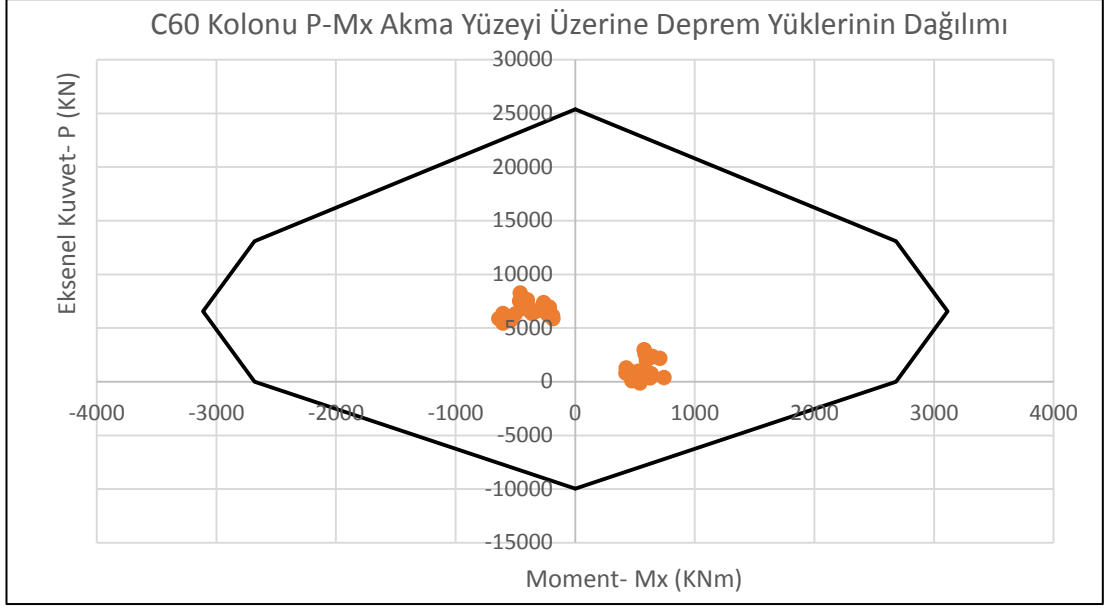
Şekil 4.106: C80 Kolonu P-My grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.



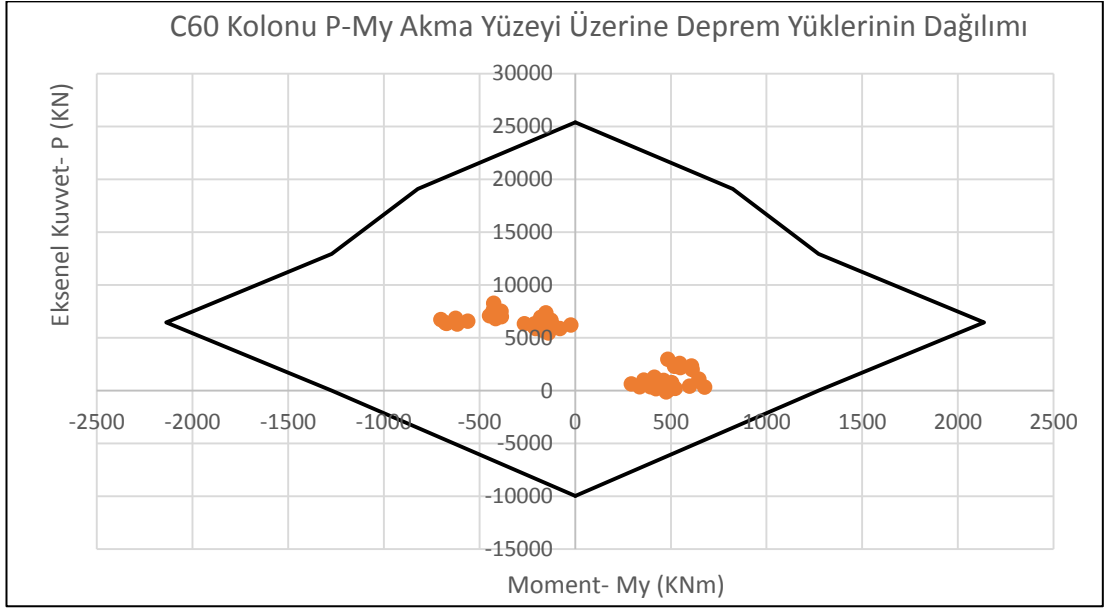
Şekil 4.107: C70 Kolonu P-Mx grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.



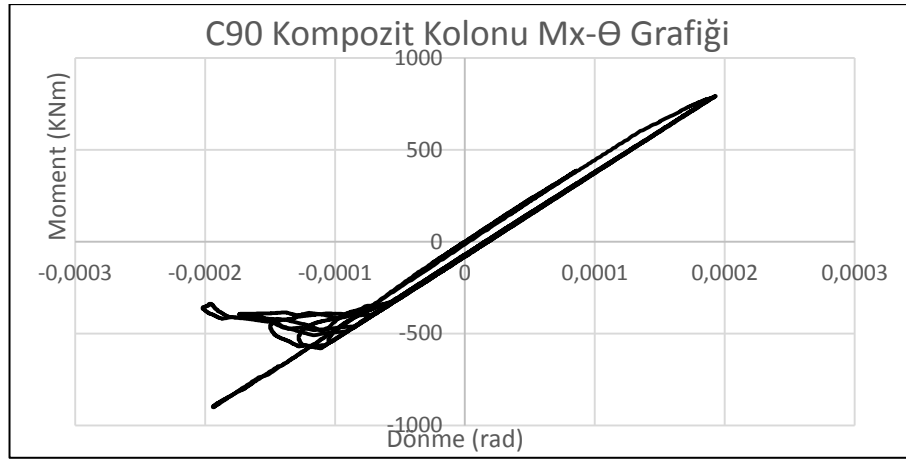
Şekil 4.108: C70 Kolonu P-My grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.



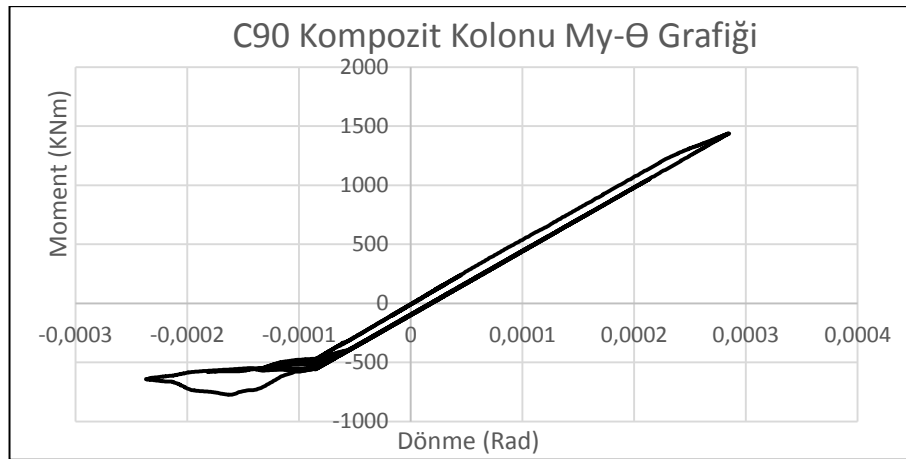
Şekil 4.109: C60 Kolonu P-Mx grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.



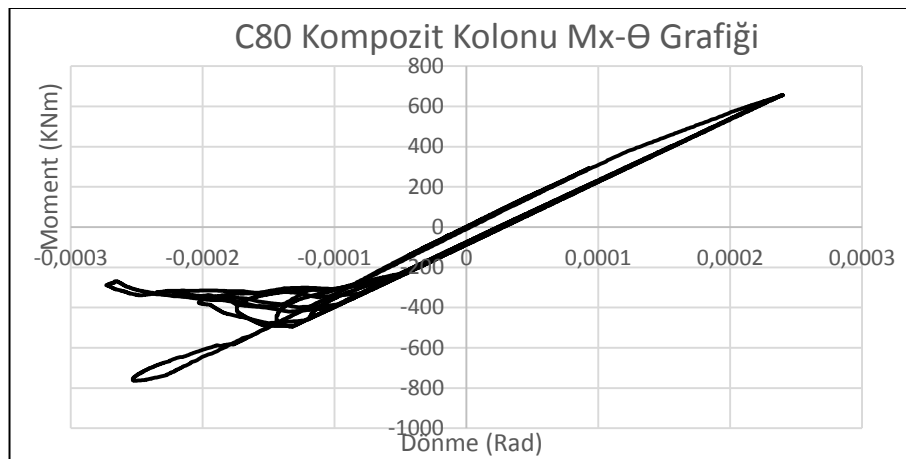
Şekil 4.110: C60 Kolonu P-My grafiği üzerine deprem yüklerinin dağılımı.



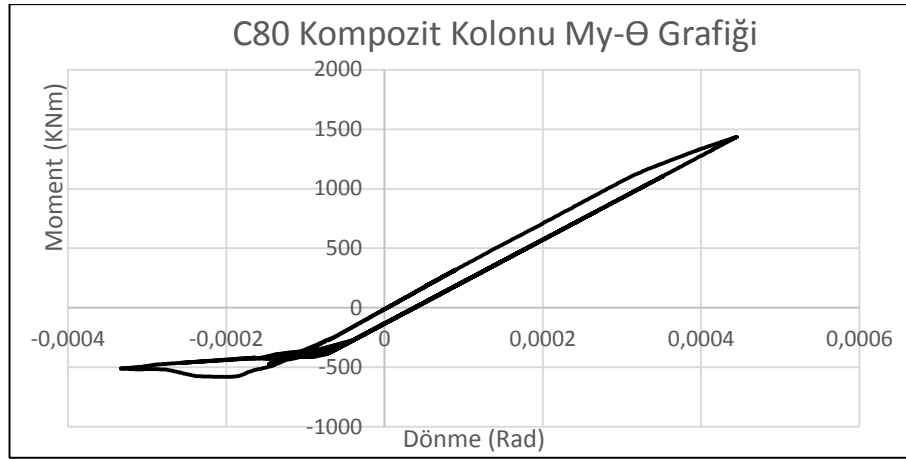
Şekil 4.111: C90 Kolonu Mx- Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).



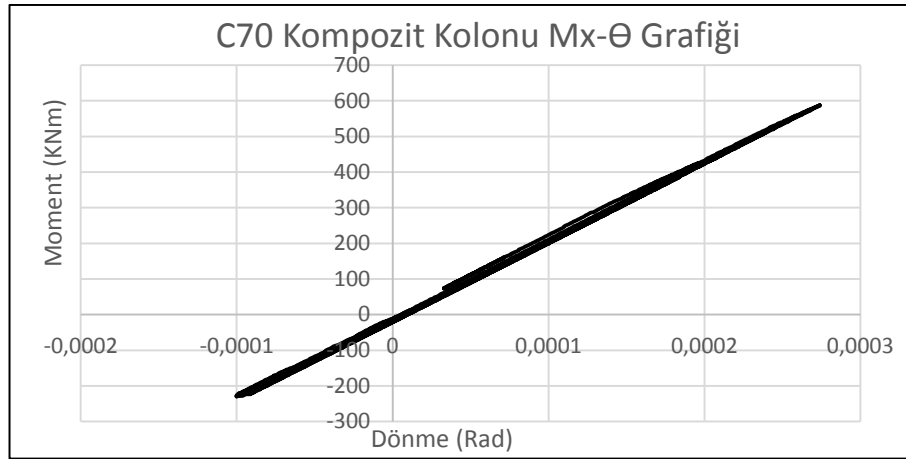
Şekil 4.112: C90 Kolonu My- Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).



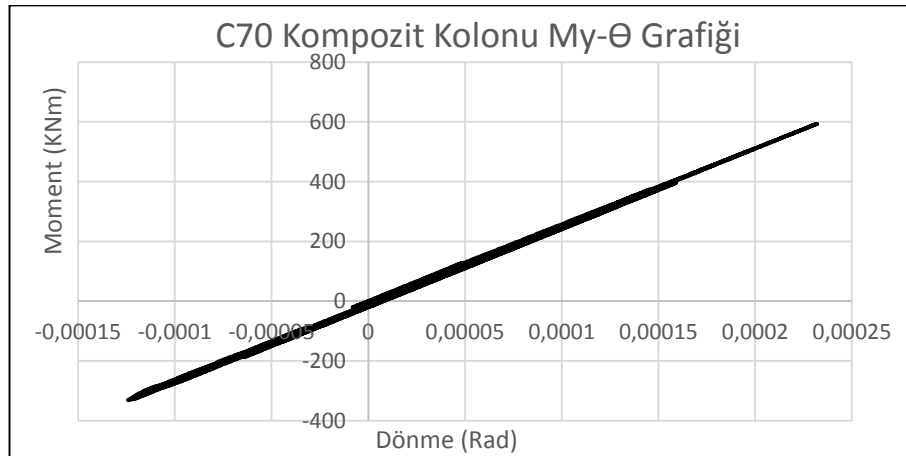
Şekil 4.113: C80 Kolonu Mx- Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).



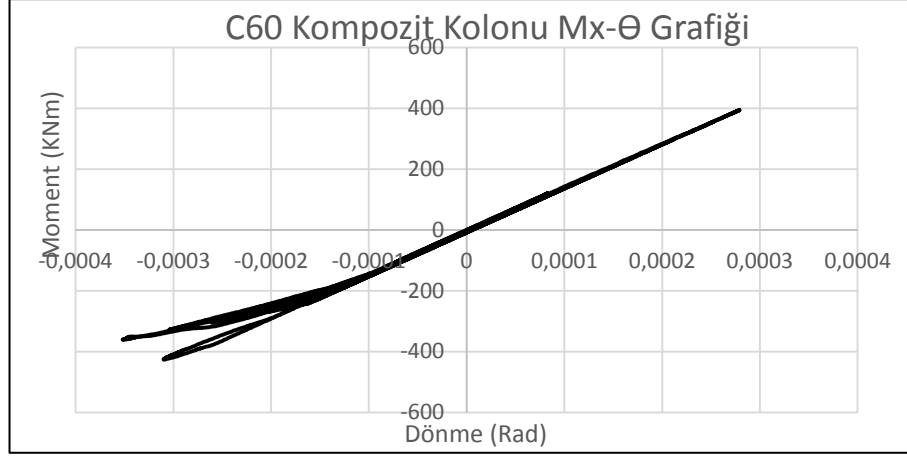
Şekil 4.114: C80 Kolonu My- Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).



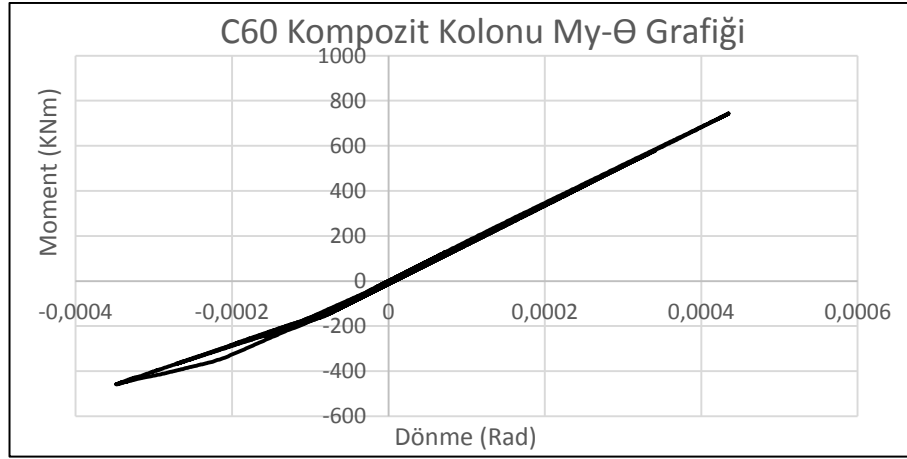
Şekil 4.115: C70 Kolonu Mx- Θ çevrimsel grafiği (RSN1165KOCAELİ).



Şekil 4.116: C70 Kolonu My- Θ çevrimsel grafiği (RSN1165KOCAELİ).



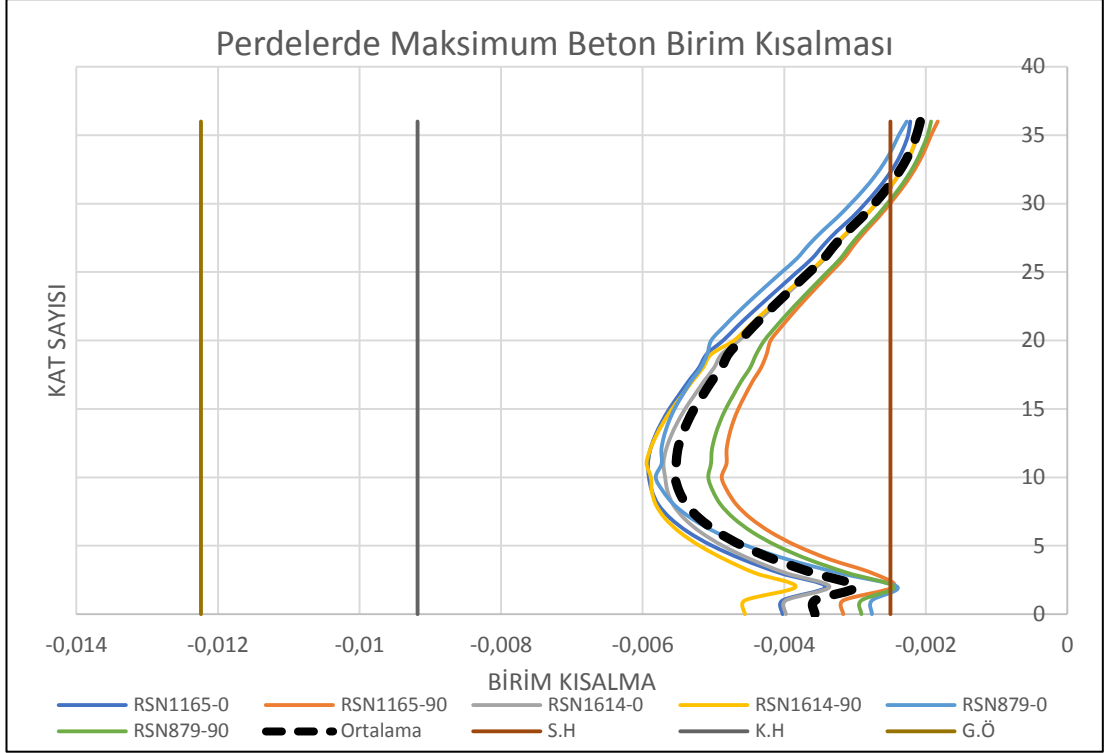
Şekil 4.117: C60 Kolonu Mx-Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).



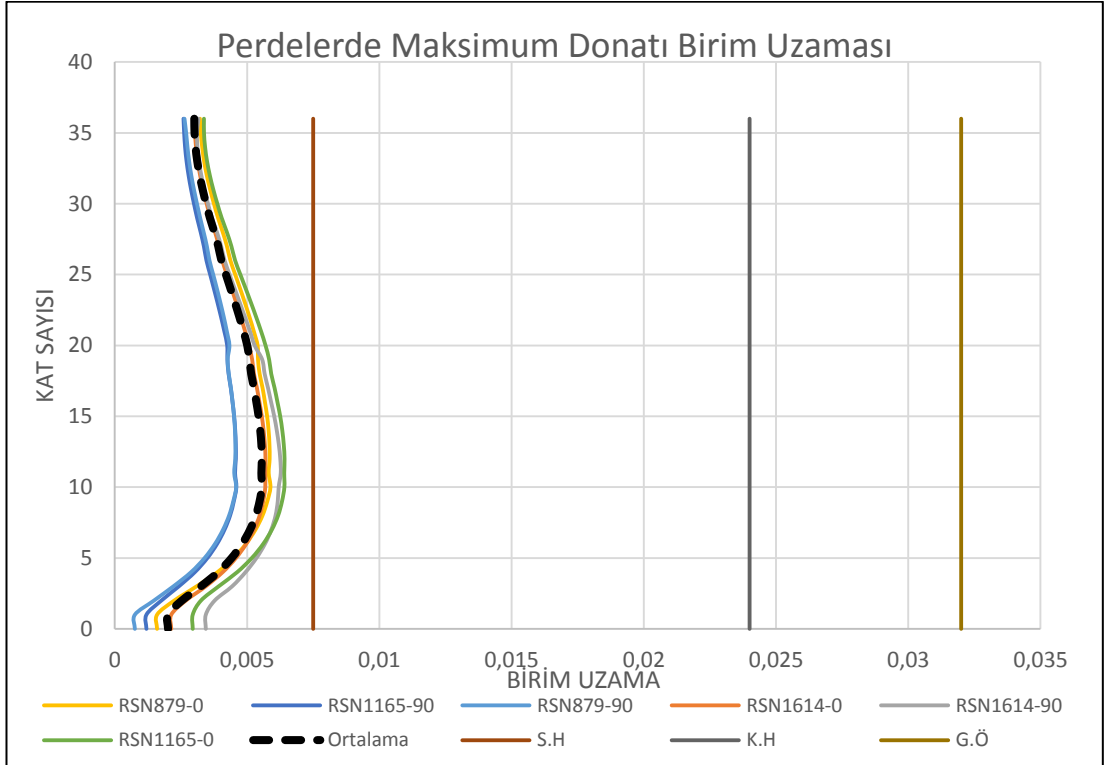
Şekil 4.118: C60 Kolonu My-Θ çevrimsel grafiği (RSN879LANDERS).

4.3.3.4.3. Perdelerin Değerlendirilmesi

Perdelerde başlık kolonlarında DD-1 yer hareketi düzeyine göre ölçeklendirilmiş deprem yükleri altında donatı ve sargılanmış beton üzerinde meydana gelen maksimum gerilmeler güvenlik sınır değerleriyle birlikte Şekil 4.119 ve Şekil 4.120’de gösterilmiştir.

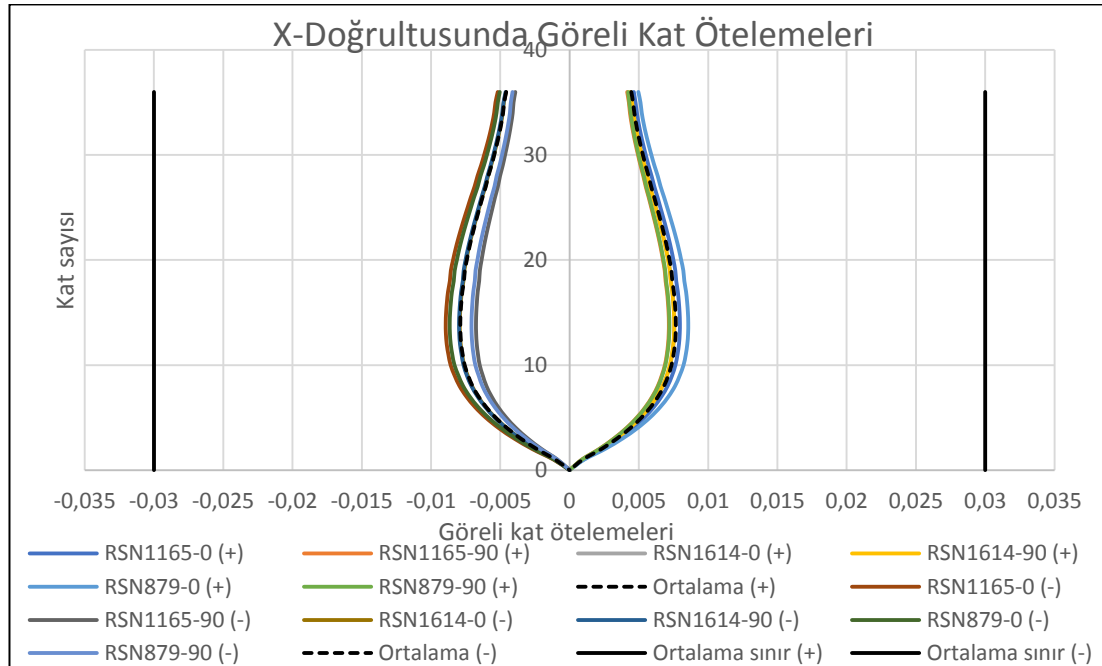


Şekil 4.119: Sargılanmış C50/60 betonunun katlara göre birim kısalması.

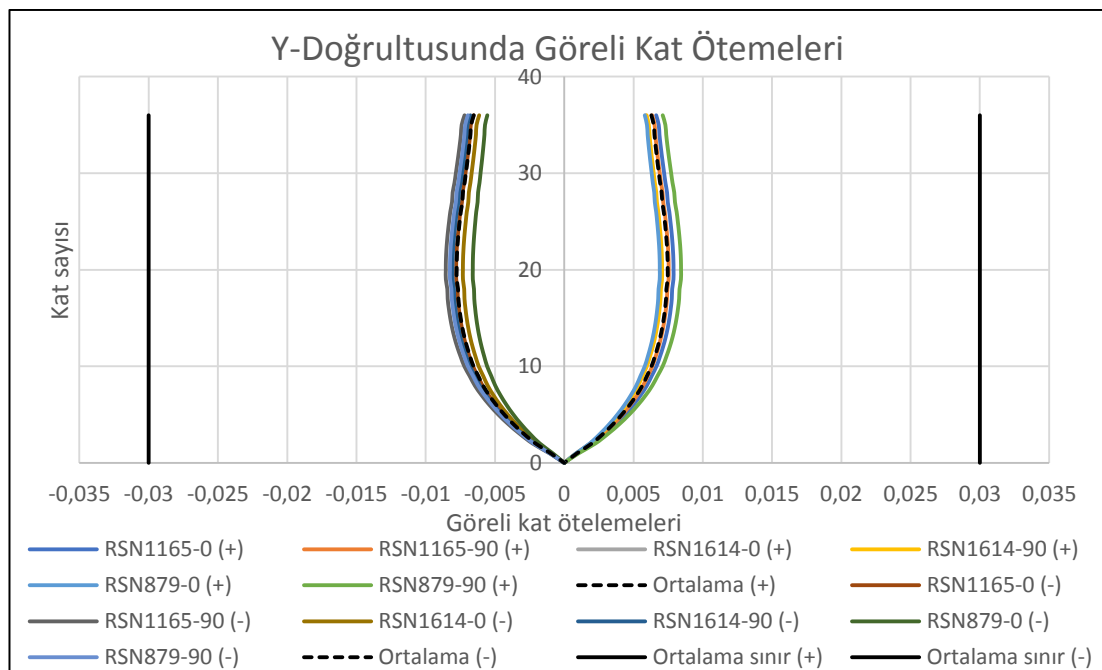


Şekil 4.120: B420C donatı çeliğinin katlara göre birim uzamaları.

DD-1 yer hareketi düzeyine göre ölçeklendirilmiş deprem yükleri altında X ve Y doğrultularında meydana gelen göreceli kat ötelemeleri Tasarım III aşaması için istenen sınır değerleriyle birlikte Şekil 4.121 ve Şekil 4.122 ‘da gösterilmiştir.



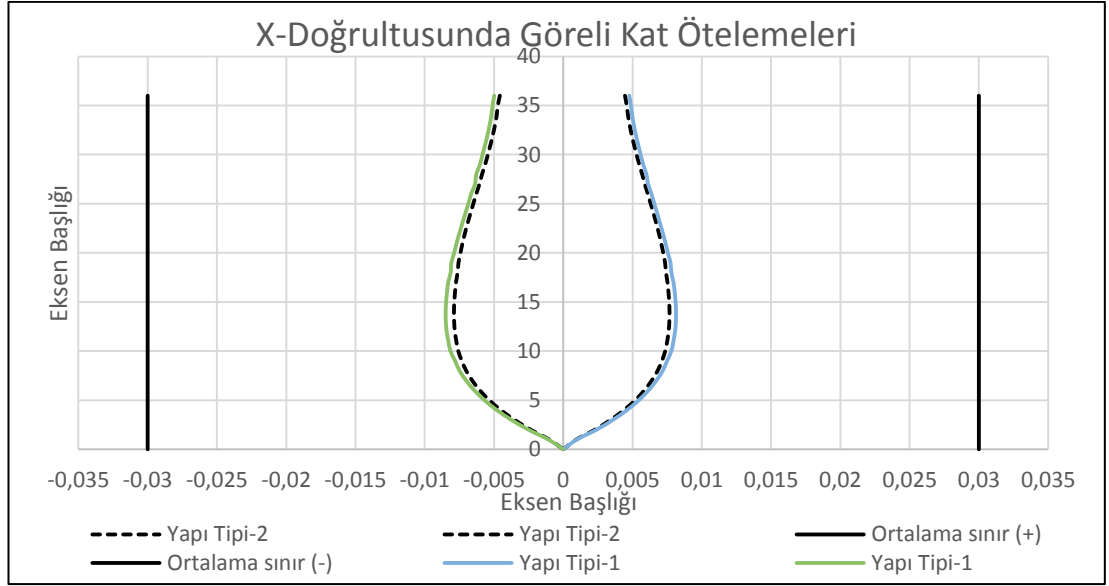
Şekil 4.121: X-doğrultusunda göreceli kat ötelemeleri.



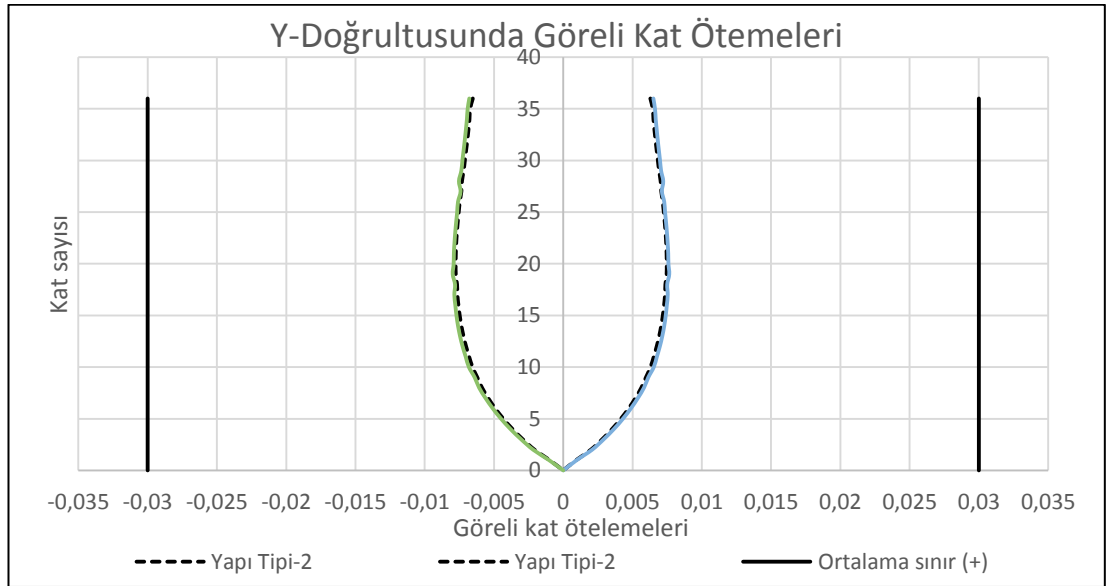
Şekil 4.122: Y-doğrultusunda göreceli kat ötelemeleri.

4.4. Yapı Tiplerinin Karşılaştırılması

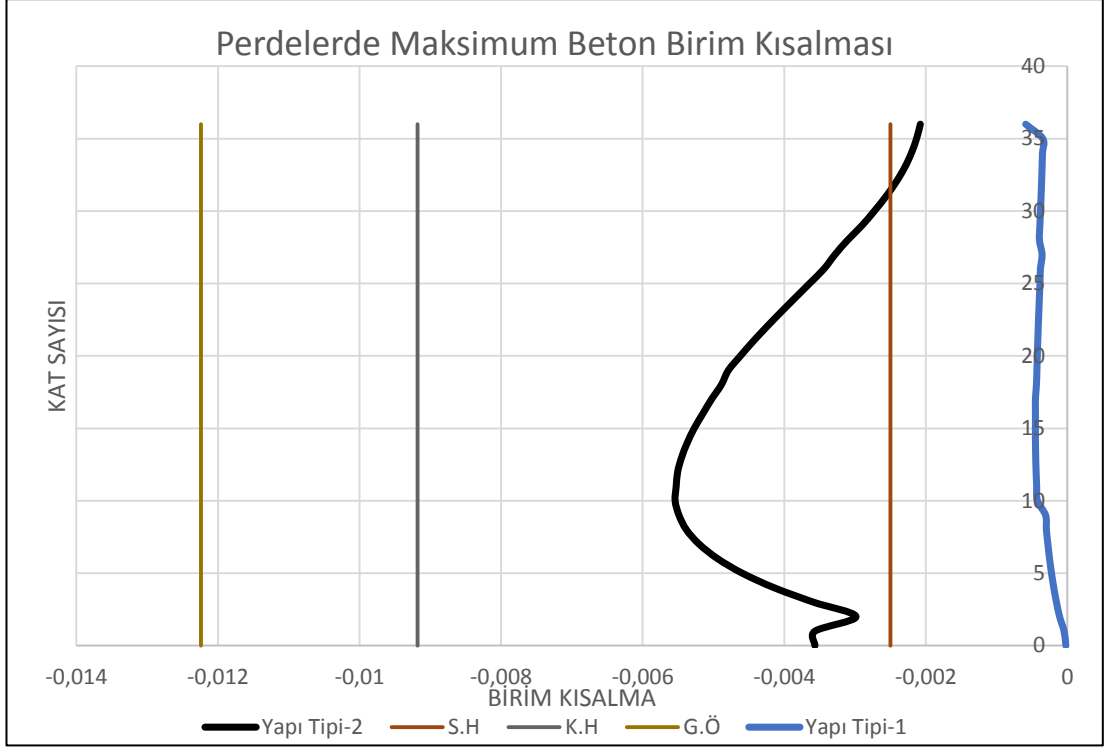
Doğrusal olmayan analizleri yapılan 2 yapı tipinden elde edilen ortalama görece kat ötelemelerinin (Şekil 4.123 ve Şekil 4.124), perdelerde meydana gelen ortalama beton birim kısaltmaları (Şekil 4.125) ve ortalama donatı birim uzamalarının (Şekil 4.126) karşılaştırılması ortak grafikler üzerinden yapılmıştır.



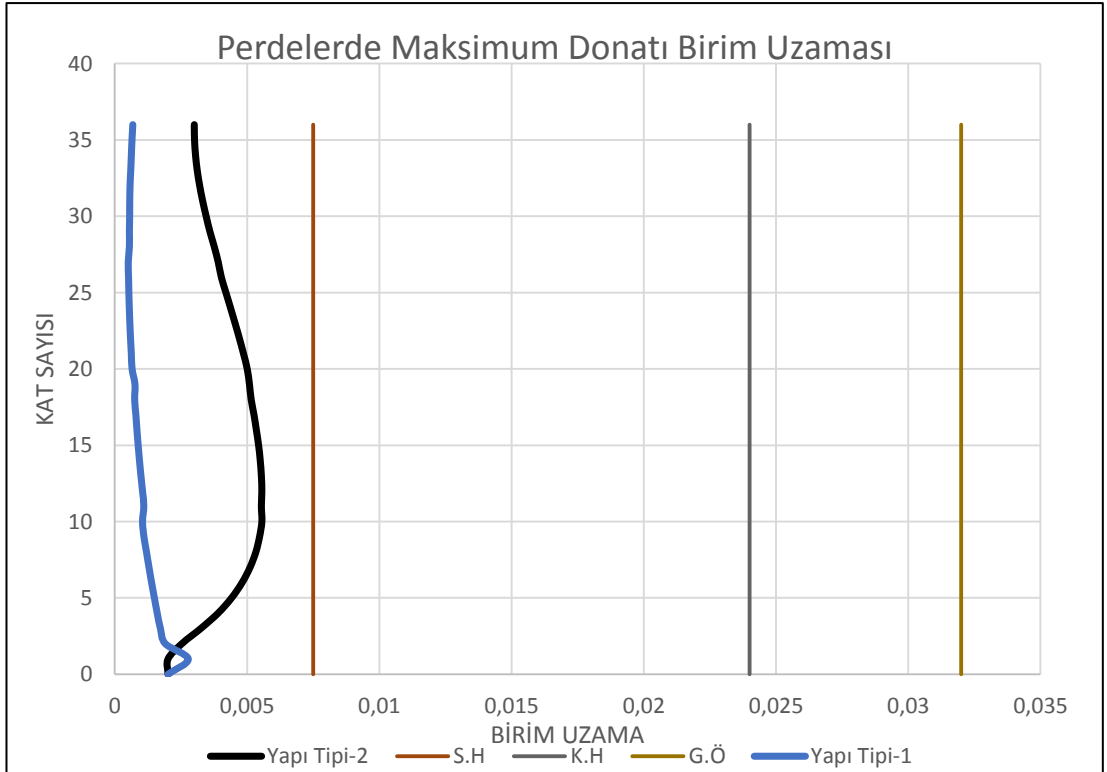
Şekil 4.123: İki yapı tipinin X-doğrultusunda ortalama görece kat ötelemelerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.124: İki yapı tipinin Y-doğrultusunda ortalama görece kat ötelemelerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.125: İki yapı tipinde bulunan perdelerin başlık kolonlarında, sargılı C50/60 betonunda meydana gelen ortalama birim kısaltmalarının karşılaştırılması.



Şekil 4.126: İki yapı tipinde bulunan perdelerin başlık kolonlarında, S420 donatı çeliğinde meydana gelen ortalama birim uzamaların karşılaştırılması.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

TBDY (2018)'de 13. Bölümde belirtilen ve yüksek yapılar için geçerli olan tasarım aşamalarından 'Tasarım I' ve 'Tasarım III' aşamalarındaki kriterlere uyularak iki yapı modeli oluşturulmuş, gerekli analizler ve değerlendirmeler yapılarak tasarım süreci irdelenmiştir. Yönetmelikte 'Tasarım I' aşamasında analiz yöntemi olarak doğrusal analiz yöntemleri yeterli görülmüştür. Bu aşama için yapılan sayısal uygulamalarda mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Tasarım III aşaması için doğrusal olmayan analiz yöntemleri istenmiştir. Bu aşama için ise zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmıştır.

Oluşturulan yapı modellerinin geometrik özellikleri aynı olup kolon elemanlarda değişikliğe gidilmiştir. Ayrıca betonarme kiriş elemanlarda ön boyutlandırmada ihtiyaç duyulan donatı miktarında, minimum donatı miktarının altına düşmeyecek şekilde %50'ye varan azaltmalara gidilmiştir. Bununla birlikte yapı modeli-1'de sınırlı kalan kiriş deformasyonlarını zorlamak amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler her iki yapı modeli için aşağıda sırayla belirtilmiştir.

Yapı modeli-1 için sonuçlar ve değerlendirmeler;

- Tasarım I aşamasına göre yapılan ön boyutlandırmalar kolonlar için kesitin belirlenmesinde en önemli kriter bölüm-7 'de verilen ve deprem yükü ile düşey yükün ortak etkisi altında, eksenel yük taşıma kapasitesiyle ilgili olan ' $A_c \geq N_{dm}/(0.40 \times f_{ck})$ ' kriteri olduğu görülmüştür. Bu kriter ile elde edilen kesit boyutları oldukça büyük çıkmıştır. Doğrusal analiz ile elde edilen eğilme momenti talebini karşılamak için duyulan donatı ihtiyacının, minimum boy donatı oranı olan kesit alanının %1'ile kolaylıkla sağlandığı görülmüştür. Kesme kuvveti talebi, zemin kat kolonlarında yüksek çıkmış olup karşılamak için enine donatı kol sayısı 8 ve düşey aralığı 70 cm olarak hesaplanmıştır. Enine donatı hesabı için bölüm-7 'de verilen ' $A_{sh} \geq 0.30s_b k[(A_c / A_{ck})-1](f_{ck} / f_{ywk})$ ' ve ' $A_{sh} \geq 0.30s_b k(f_{ck} / f_{ywk})$ ' sınır koşullarını sağlamak için gerekli olan kol sayısı ve düşey aralık miktarı, hesaplanan kol sayısı ve düşey aralık değerleriyle uyushmaktadır. Yukarı katlara çıkıldıkça kesme kuvveti talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan enine donatı koşulları hesaplamalar neticesinde belirlenen değerler, bu sınır koşullarıyla

istenen değerlere göre daha düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Yani enine donatı hesabı için belirleyici unsur bu iki sınır koşulu olmuştur.

- Tasarım I aşamasında kirişler için deprem yükü ile düşey yükün ortak etkisi altında eğilme momenti talebini karşılamak için hesaplanan boy donatı miktarı yüksek çıkmıştır. Bu donatı miktarını yerleştirmek için konstrüktif koşullar göz önüne alınarak kesit boyutları belirlenmiştir. Kesme kuvveti talebinin kirişlerin çekirdek betonu ve 100 cm aralıklı ve 4 kollu enine donatıyla rahatlıkla karşılanmakta olduğu görülmüştür. Ayrıca kirişler için bölüm-7’de verilen ve kiriş çekirdek betonuyla ilgili $V_e \leq 0.85b_w d \sqrt{f_{ck}}$ koşulunu çok rahat sağladığı görülmüştür.

- Tasarım I aşamasında çekirdek perdesinin ön boyutlandırılmasında iki koşul ön plana çıkmıştır. Birincisi; Bölüm-7 ‘de verilen ve deprem yükü ile düşey yükün ortak etkisi altında, eksenel yük taşıma kapasitesiyle ilgili olan $A_c \geq N_{dm}/(0.35 \times f_{ck})$ kriteridir. İkincisi; Bölüm-4’de verilen ve perdelerin yapı devrilme momentini her iki yönde karşılama oranıyla ilgili olan $0.4M_o < M_{dev} < 0.75M_o$ koşuludur. Birinci koşul talep edilen kesit alanının 1.27 katı ile sağlanmıştır. İkinci koşul perdelerin yapı devrilme momentlerine oranı olarak, x doğrultusunda %54 ve y doğrultusunda %56 oranlarıyla ile sağlanmıştır. Perdelerde oluşturulan başlık ve gövde bölgeleri, minimum boy donatı koşullarına uyularak ve talep edilen eğilme momentini karşılayacak şekilde oluşturulmuştur. Kesme kuvveti talebinin, minimum enine donatı oranlarıyla ve belirlenen kesit boyutlarıyla rahatlıkla karşılandığı görülmüştür. Ayrıca kesme dayanım koşulları olarak Bölüm-7’de verilen ve brüt en kesit alanlarıyla ilgili olan $V_e \leq 0.85A_{ch} \sqrt{f_{ck}}$ (Boşluksuz perdeler) ve $V_e \leq 0.65A_{ch} \sqrt{f_{ck}}$ (Boşluklu perdeler) koşullarını sağladığı gözlemlenmiştir. Perde kesitleri tüm yapı boyunca değiştirilmemiştir.

- Tasarım I aşamasında en büyük görelî kat öteleme oranları X doğrultusunda 11.katta 0.00071, Y doğrultusunda 28.katta 0.00092 olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler sınır oranı olan 0.008’in altında kaldığı görülmüştür.

- Tasarım III aşamasında kolonlarda doğrusal olmayan analiz sonuçlarıyla elde edilen eğilme momentleri, moment taşıma kapasitelerinin oldukça altında kaldığı, kesit dönmelerinin plastik akma dönme değerine ulaşamadığı ve kolonların doğrusal davranış gösterdiği gözlemlenmiştir.

- Tasarım III aşamasında kirişlerde en büyük zorlanmalar bağ kirişlerinde gerçekleşmiştir. Bağ kirişleri doğrusal olmayan davranış sergilemesine rağmen deformasyonlar oldukça sınırlı kalmıştır. Plastik mafsallarda momentlere bağlı akma sonrası plastik dönmesi 0.00025 rad civarında olup, toplam dönmesi 0.00588 rad ($0.00563+0.00025$) olarak gerçekleşmiştir. Bu değer performans kriteri olarak istenen 0.022 rad kontrollü hasar (KH) sınırının oldukça altında kaldığı gözlemlenmiştir. Diğer kirişlerde de durumun aynı olduğu görülmüştür.
- Tasarım III aşamasında perdelerde 6 farklı deprem kayıtlarının ortalama değeri için en büyük beton birim kısılma oranı 0.00059 olarak gerçekleşti. Bu değer sınırlı hasar (SH) sınır değeri olan 0.0025'in oldukça altında kalmıştır. Donatı çeliği yine ortalama değerler için en büyük birim uzaması oranı 0.0027 olarak gerçekleşti. Yine bu değer 0.0075 olan sınırlı hasar (SH) sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür.
- Tasarım III aşamasında görelî kat öteleme oranları 6 farklı deprem kayıtlarının ortalama değeri için X doğrultusunda en büyük oran 14.katta 0.0082, Y doğrultusunda 19.katta 0.0076 olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 0.03 olan sınır değerin altında kalmıştır.

Yapı modeli-2 için sonuçlar ve değerlendirmeler;

- Tasarım I aşamasında bu modelde kullanılan kompozit kolonlarla ilgili olarak yönetmeliklerde eksenel yük taşıma kapasitesiyle ilgili bir sınırlama olmamasına rağmen, eksenel yükün eksenel taşıma kapasitesine oranı %40'ı geçmeyecek şekilde kolon kesitleri oluşturulmuştur. Analiz sonrası talep edilen eğilme momentleri kesitler tarafından karşılandığı görülmüştür. Talep edilen kesme kuvvetinin, kompozit kolon için minimum istenen 300 mm aralıklı ve 10 mm çaplı enine donatının ve betonun katkısıyla kolaylıkla karşılandığı görülmüştür.
- Tasarım I aşamasında bu modelde kullanılan kiriş boyutları yapı modeli-1 ile aynı tutulmuş fakat analiz sonucu talep edilen eğilme momentini karşılamak için gerekli donatılarda azaltmaya gidilmiştir. Yapı modeli-1'de bulunan kirişlerde doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen deformasyonların oldukça sınırlı kaldığı görüldüğü için böyle bir azaltmayla oluşacak deformasyonlarda ne kadar artışın olacağı gözlemlenmek istenmiştir. Bu donatı azaltmaları, minimum donatı

sınırının altında kalmayacak şekilde %50'ye varan oranlarda yapılmıştır. Enine donatı miktarı yapı modeli-1 de yapıldığı gibi, kesme kuvveti talebini karşılayacak ve ilgili sınır koşullarını sağlayacak şekilde hesaplanmıştır.

- Tasarım I aşamasında bu modelde perdeler için yapı modeli-1'de kullanılan perde kesit ve donatılarının aynısı kullanılmıştır. Analiz sonrası talep edilen eğilme momentinin ve kesme kuvvetinin yeterli olduğu görülmüştür.

- Tasarım I aşamasında en büyük görelî kat öteleme oranları X doğrultusunda 21.katta 0.00091, Y doğrultusunda 28.katta 0.00136 olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler sınır oranı olan 0.008'in altında kaldığı görülmüştür.

- Tasarım III aşamasında kompozit kolonlarda doğrusal olmayan analiz sonuçlarıyla elde edilen eğilme momentleri, moment taşıma kapasitelerine yaklaştığı görülmüştür. Özellikle 10-18 katları arasında kullanılan C80 kolonu akma moment değerlerine oldukça yaklaşmıştır. Fakat kesit dönmelerinin plastik akma dönme değerlerine ulaşamadığı ve kolonların doğrusal davranış gösterdiği gözlemlenmiştir.

- Tasarım III aşamasında kirişlerde en büyük zorlanmalar bağ kirişlerinde ve iç kirişlerde gerçekleşmiştir. Bağ kirişleri doğrusal olmayan davranış sergilemesine rağmen deformasyonlar oldukça sınırlı kalmıştır. Bağ kirişlerinde, plastik mafsallık bölgelerinde momente bağlı akma sonrası plastik dönmesi 0.00040 rad civarında olup, toplam dönmesi 0.00635 rad (0.00595+0.00040) olarak gerçekleşmiştir. Bu değer performans kriteri olarak istenen 0.023 rad kontrollü hasar (KH) sınırının oldukça altında kaldığı gözlemlenmiştir. Diğer kirişlerde de durumun aynı olduğu görülmüştür.

- Tasarım III aşamasında perdelerde 6 farklı deprem kayıtlarının ortalama değeri için en büyük beton birim kısılma oranı 0.0055 olarak gerçekleşti. Bu değer sınırlı hasar (SH) sınır değeri olan 0.0025'in aşmış, kontrollü hasar sınırı (KH) olan 0.0092'nin altında kalmıştır. Beton için bu değerler, yüksek yapılar için TBDY(2018)'de belirtilen performans kriterine uygun olduğu gözlemlenmiştir. Beton için Donatı çeliği yine ortalama değerler için en büyük birim uzaması oranı 0.0056 olarak gerçekleşti. Yine bu değer 0.0075 olan sınırlı hasar (SH) sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür.

- Tasarım III aşamasında görelî kat öteleme oranları 6 farklı deprem kayıtlarının ortalama değeri için X doğrultusunda en büyük oran 13.katta 0.00764, Y

doğrultusunda 19.katta 0.0076 olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 0.03 olan sınır değerinin altında kalmıştır.

TBDY (2018)'de belirtilen tasarım aşamaları ve kriterleri göz önüne alındığında genel bir değerlendirme yapılacak olursa;

Betonarme kolonlarda ön boyutlama kriterleri plastik mafsal oluşumunu engelleyecek ve kolonların doğrusal davranış sergilemesini sağlayacak düzeyde olduğu görülmüştür. Fakat elde edilen sonuçların aşırı güvenli tarafta kaldığı gözlemlenmiştir. Kompozit kolonlarda ise plastik mafsal oluşmasa da akma düzeylerine oldukça yakın sonuçlar alınmıştır.

Kirişlerde ön boyutlandırma kriterleri, plastik mafsal bölgelerinde kiriş kesitlerinde dönme kaynaklı deformasyonları oldukça güvenli sınırlarda tuttuğu gözlemlenmiştir. Yapı modeli-2'de eğilme momenti talebini karşılayacak donatı miktarı azaltılmış olmasına rağmen deformasyonların yine oldukça güvenli sınırlarda kaldığı görülmüştür.

Çekirdek perdelerde ön boyutlandırma kriterleriyle elde edilen kesitler ve donatı miktarları yeterli olup, yapı modeli-1 için değerlendirme kriteri olan beton birim kısaltmaları ve donatı birim uzamaları SH sınır değerini aşmayarak oldukça güvenli sınırlarda kalmıştır. Yapı modeli-2 için, çekirdek perdelerde, kompozit kesitler kullanılarak kolonlarda elde edilen daha küçük kesitlerden kaynaklı olarak daha fazla zorlanmalar görülmüştür. Özellikle beton birim kısaltmaları, SH sınır değerini aştığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında 'Tasarım I' aşamasıyla elde edilen yapı eleman ön boyutlandırmasının, 'Tasarım III' aşamasında belirtilen ve doğrusal olmayan analizlerle, performans kriterlerine uygunluğu araştırılmak istenmiştir. Bu alanda farklı geometrik özelliklere, yüksekliklere ve taşıyıcı sistemlere sahip yapı üzerinden yapılacak çalışmalarla daha fazla değerlendirmeler yapılabilir.

KAYNAKLAR

ATC, (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.

Çetinkaya S., (2003), “Çok Katlı Yapı Tasarımı Ve Sünme Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

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

ETABS, (2017), Computers and Structures, Inc: Berkeley, California, Integrated Building Design Software,

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

Mander J.B., Priestley, M.J.N., Park, R., (1988). “Theoretical Stress-Strain Confined Concrete”, Journal of Structural Division (ASCE), 114,1804–1826.

Paulay T., Priestley M.J.N, (1992), “Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings”, 1st Edition, Wiley Interscience

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.

Sap2000, (2017), Integrated Software for Structural Analysis and Design, Computers and Structures, Inc: Berkeley, California.

Sev A., Özgen A., (2000), “Çok Katlı Yapılarda Taşıyıcı Sistemler”, 1. Baskı, Birsen Yayınevi.

Taranath B.S., (2009), “Reinforced Concrete Design of Tall Buildings”, 1st Edition, CRC Press.

TBDY, (2019), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği,

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

ÖZGEÇMİŞ

Kemal Aktaş, 1981 yılında Pendik/İstanbul’da doğdu. 1999 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde eğitimine başladı. Bölümünden 2004 yılında mezun oldu. 2015 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Programı’nda öğrenim görmeye başlamıştır. Merra Muhendislik adlı firmasında yapısal tasarım mühendisliği yapmaktadır.