T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YÜKSEK BİNALARIN 2018 YILI TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ: 30 KATLI BİNA ÖRNEĞİ

Ahmet Akif AKÇORA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Prof. Dr. Barış SEVİM

Şubat, 2020

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YÜKSEK BİNALARIN 2018 YILI TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ: 30 KATLI BİNA ÖRNEĞİ

Ahmet Akif AKÇORA tarafından hazırlanan tez çalışması 13.02.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Barış SEVİM
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Barış SEVİM, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Barış SAYIN, Üye
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa _____

Danışmanım Prof. Dr. Barış SEVİM sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Betonarme Yüksek Binaların 2018 Yılı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi: 30 Katlı Bina Örneği başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ahmet Akif AKÇORA

İmza

TEŞEKKÜR

Yıldız Teknik Üniversiteside Yüksek Lisans eğitimine başladığım günden bu yana her türlü desteği sağlayan, tez çalışması sürecinde tüm bilgi ve birikimi ile bana yardımcı olan Değerli Hocam Prof. Dr. Barış SEVİM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasına değerli görüşleri ile katlı sağlayan Hocalarım Sayın Doç. Dr. Barış SAYIN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer Börekçi'ye sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili Annem Dilek AKÇORA ve Babam Özgen AKÇORA'ya teşekkürlerimi borç bilirim. Tüm tez çalışması sürecinde manevi desteği ile yanımda olan müstakbel eşim Rabia KAYNARCA ve kardeşim Ali Furkan AKÇORA'ya da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul, 2020

Ahmet Akif AKÇORA

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ xi
ŞEKİL LİSTESİ xii
TABLO LİSTESİ xvi
ÖZET xvii
ABSTRACT xix
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 2
1.2 Çalışmanın Amacı 4
1.3 Orijinal Katkı 5
1.4 Dünyada Yüksek Binaların Tarihsel Gelişimi 5
1.5 Türkiye'de Yüksek Binaların Tarihsel Gelişimi 10
2 YÜKSEK BİNALARDA TAŞIYICI SİSTEMLER VE HESAP YÖNTEMLERİ 12
2.1 Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemleri 12
2.1.2 Perdeli Sistemler 14
2.1.3 Çerçeve-Perdeli Sistemler 15
2.1.4 Tüplü Sistemler 15
2.1.5 Çapraz ağlı Sistemler 16
2.2 Yüksek Binalarda Hesap Yöntemleri 17
2.2.1 Doğrusal Hesap Yöntemleri 17
2.2.2 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri 17
2.2.3 Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri 23
3 TBDY 2018'E GÖRE YÜKSEK BİNALARIN TASARIM ESASLARI 29
3.1 Giriş 29
3.2 Deprem Etkisinin Tanımlanması 32
3.2.1 Deprem Düzeyleri 32
3.2.2 Deprem Yer Hareketi Spektrumlarının Tanımlanması 33
3.2.3 Zaman Tanım Alanında Deprem Etkisinin Tanımlanması 36

3.3 Malzemenin Tanımlanması 37
3.3.1 Beton Modelleri 37
3.3.2 Donatı Çeliği Modelleri 38
3.4 Performans Hedefleri ve Tasarım Aşamaları 39
3.4.1 Yüksek Binalar İçin Performans Hedefleri 39
3.4.2 Tasarım Aşaması-I 42
3.4.3 Tasarım Aşaması-II 54
3.4.4 Tasarım Aşaması-III 58
3.5 Tasarımın Sonuçlandırılması 63
4 SAYISAL ÇALIŞMALAR 64
4.1 Yapı Genel Bilgileri 64
4.2 Yapı Taşıyıcı Sistemi 67
4.3 Deprem Parametreleri 70
4.4 Tasarım Aşaması-I 73
4.4.1 Tasarım Spektrumlarının Tanımlanması 73
4.4.2 Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü 79
4.4.3 Betonarme Elemanların Tasarımı 84
4.5 Tasarım Aşaması-II 100
4.5.1 Tasarım Aşaması-II için Deprem Hesapları 100
4.5.2 Tasarım Aşaması-II için Performans Değerlendirmesi 101
4.6 Tasarım Aşaması-III 103
4.6.1 Taşıyıcı Sistemin Modellenmesi 103
4.6.2 Deprem Hesabı 106
4.6.3 Performans Değerlendirmesi 113
5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER 134
KAYNAKÇA 138
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 141

SİMGE LİSTESİ

A_c	Kolon enkesit alanı [mm^2]
A_{ch}	Perde brüt enkesit alanı [mm^2]
A_{ck}	Çekirdek beton alanı [mm^2]
A_{sh}	Enine donatı alanı [mm^2]
b_k	Kolon veya perde en dıştaki enine donatı aralarındaki mesafe [mm]
b_w	Kiriş gövde genişliği, perde gövde kalınlığı [mm]
D	Dayanım fazlalığı katsayısı [boyutsuz]
d'	Net beton örtüsü [mm]
d_b	Boyuna donatı çapı [mm]
$E_d^{(H)}$	Yatay deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	Düşey deprem etkisi
E_c	Beton elastisite modülü [MPa]
E_s	Donatı çeliği elastisite modülü [MPa]
$(EI)_e$	Etkin kesit rijitliği
F_1	1.0 saniye periyot yerel zemin etki katsayısı [boyutsuz]
f_{ce}	Betonun ortalama (beklenen) dayanımı [MPa]
f_{ck}	Beton karakteristik basınç dayanımı [MPa]
f_{ctd}	Beton tasarım çekme dayanımı [MPa]
F_S	Kısa periyot yerel zemin etki katsayısı
f_s	Sargılı beton basınç gerilmesi [MPa]
f_{su}	Donatı çeliği kopma dayanımı [MPa]
f_{sy}	Donatı çeliği akma dayanımı [MPa]
f_{yd}	Donatı çeliği tasarım akma dayanımı [MPa]
f_{ye}	Donatı çeliğinin ortalama (beklenen) dayanımı [MPa]
f_{yk}	Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı [MPa]
f_{ywe}	Enine donatı çeliğinin ortalama (beklenen) dayanımı [MPa]
f_{ywk}	Enine donatı karakteristik akma dayanımı [MPa]
g	Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
G	Sabit yük etkisi [kN]
h_i	i'inci kat yüksekliği [m]
H_w	Zemin kotu üstü toplam perde yüksekliği [m]

l_n	Eleman serbest açıklığı [mm]
l_p	Plastik mafsal boyu [mm]
L_s	Kesme açıklığı [mm]
l_w	Perde plan uzunluğu [mm]
M_{DEV}	Perde devrilme momenti [kNm]
M_o	Taban devrilme momenti [kNm]
M_p	Plastik moment [kNm]
M_{pa}	Kolon alt ucu moment kapasitesi [kNm]
M_{pi}	Kiriş i ucu moment kapasitesi [kNm]
M_{pj}	Kiriş j ucu moment kapasitesi [kNm]
$M_{p\text{ü}}$	Kolon üst ucu moment kapasitesi [kNm]
M_{ra}	Kolon alt ucu taşıma gücü momenti [kNm]
M_{ri}	Kiriş i ucundaki taşıma gücü momenti [kNm]
M_{rj}	Kiriş j ucundaki taşıma gücü momenti [kNm]
$M_{r\text{ü}}$	Kolon üst ucu taşıma gücü momenti [kNm]
m_t	Zemin kotu üstü toplam yapı kütlesi [kg]
M_y	Akma momenti [kNm]
n	Hareketli yük katılım katsayısı [boyutsuz]
N_d	Artırılmış yükler altındaki basınç kuvveti [kN]
N_{dm}	Düşey ve deprem yükleri etkisi altında eksenel basınç kuvveti [kN]
Q	Hareketli yük etkisi
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a	Deprem yükü azaltma katsayısı
S	Kar yükü etkisi
s	Enine donatı aralığı [mm]
S_{ae}	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
S_{aR}	Azaltılmış tasarım ivme spektrumu [g]
S_{D1}	1.0 saniye periyot spektral ivme katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_S	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
T	Doğal titreşim periyodu [s]
T_A	İvme spektrum köşe periyodu [s]
T_B	İvme spektrum köşe periyodu [s]
T_L	İvme spektrumu sabit yerdeğiştirme gölgesine geçiş periyodu [s]

T_p	Bina hakim doğal titreşim periyodu [s]
$u_i^{(X)}$	Kolon veya perde için i katındaki azaltılmış yerdeğiştirme
V_d	Düşey ve deprem yüklerinden oluşan kesme kuvveti [kN]
$V_t^{(X)}$	X-X yönü deprem taban kesme kuvveti [kN]
$V_t^{(Y)}$	Y-Y yönü deprem taban kesme kuvveti [kN]
$V_{t,min}$	Minimum taban kesme kuvveti [kN]
V_e	Enine donatı hesabında dikkate alınan kesme kuvveti [kN]
V_r	Kesit kesme kuvveti dayanımı [kN]
$w_j^{(S)}$	Düğüm noktası j'ye etkiyen tekil ağırlık [kN]
ω_{we}	Etkin sargı donatısının mekanik oranı
Δ_i	Azaltılmış göreli kat ötelemesi
β_{tE}	Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
γ_E	Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme hesabı için ampirik katsayı
$\delta_i^{(X)}$	Etkin göreli kat ötelemesi
ε	Birim şekildeğiştirme
ε_c	Beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ε_c	Kopma birim şekildeğiştirmesi
$\varepsilon_c^{(GÖ)}$	GÖ düzeyi için sargılı beton birim kısalma sınırı
$\varepsilon_c^{(KH)}$	KH düzeyi için sargılı beton birim kısalma sınırı
$\varepsilon_c^{(SH)}$	SH düzeyi için sargılı beton birim kısalma sınırı
ε_{cu}	Sargılı beton maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi
ε_s	Dotanı çeliği pekleşme birim şekildeğiştirmesi
$\varepsilon_s^{(GÖ)}$	GÖ düzeyi için donatı çeliği birim şekildeğiştirme sınırı
$\varepsilon_s^{(KH)}$	KH düzeyi için donatı çeliği birim şekildeğiştirme sınırı
$\varepsilon_s^{(SH)}$	SH düzeyi için donatı çeliği birim şekildeğiştirme sınırı
ε_{su}	Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
ε_{sy}	Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
η_{bi}	Burulma düzensizliği katsayısı
$\theta_{II,i}^{(X)}$	İkinci mertebe gösterge değeri
$\theta_{II,max}^{(X)}$	Maksimum ikinci mertebe gösterge değeri
$\theta_p^{(GÖ)}$	GÖ düzeyi için plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_p^{(KH)}$	KH düzeyi için plastik dönme sınırı [rad]

$\theta_p^{(SH)}$	SH düzeyi için plastik dönme sınırı [rad]
θ_y	Akma durumu için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi [rad]
λ	Göreli kat ötelemesi hesabı için ampirik katsayı
ρ	Donatı oranı
ρ_{sh}	Enine donatı alanı oranı
$\rho_{sh,min}$	Yatay doğrultuda minimum enine donatı oranı
σ	Gerilme [MPa]
σ_e	Akma gerilmesi [MPa]
σ_k	Kopma gerilmesi [MPa]
φ_p	Plastik eğrilik istemi [m^{-1}]
ϕ_u	Göçme öncesi eğrilik [m^{-1}]
ϕ_y	Akma eğriliği [m^{-1}]
χ_p	Eğilme momentine karşılık gelen dönme
Ω	Bağ derecesi katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BKS	Bina Kullanım Sınıfı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
CTBUH	Council on Tall Buildings and Urban Habitat
CQC	Complete Quadratic Combination (Tam Karesel Birleştirme)
DGT	Dayanıma Göre Tasarım
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
GÖ	Göçmenin Önlenmesi
KK	Kesintisiz Kullanım
MBY	Mod Birleştirme Yöntemi
MN	Minimum Hasar Sınırı
ŞDGT	Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS498	Betonarme Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler
TS500	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
ZTADOHY	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Keops Piramidi, Mısır [17] 6
Şekil 1.2 Home Insurance Binası, Chicago 7
Şekil 1.3 Ingalls Binası, Cincinnatti 7
Şekil 1.4 (a) Singer Building, New York, (b) Empire State Binası, New York 8
Şekil 1.5 Burj Khalifa, Dubai [18] 9
Şekil 1.6 Jeddah Tower, Cidde [1] 10
Şekil 2.1 Kat sayısına göre taşıyıcı sistem [22] 13
Şekil 2.2 Perdeli sistemler [22] 14
Şekil 2.3 Donatı gerilme-şekildeğiştirme eğrisi [24] 18
Şekil 2.4 Beton gerilme-şekildeğiştirme (σ – ε) diyagramı [24] 19
Şekil 2.5 İdealleştirilmiş malzeme modelleri [24] 20
Şekil 2.6 İdealize edilmiş donatı σ – ε diyagramları [24] 21
Şekil 2.7 I. ve II. mertebe etkilerinin karşılaştırılması [24] 22
Şekil 2.8 Birleşim bölgesinde plastik mafsal davranışı [27] 24
Şekil 2.9 Eğilme momenti- eğrilik diyagramı [24] 25
Şekil 2.10 İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik diyagramı [24] 25
Şekil 2.11 Plastik mafsal boyu [24] 26
Şekil 2.12 Betonarme lif modeli [27] 28
Şekil 3.1 Yüksek binaların tasarımı için akış diyagramı 30
Şekil 3.2 Yatay elastik tasarım ivme spektrumu diyagramı 35
Şekil 3.3 Sargılı-Sargısız beton gerilme-şekildeğiştirme diyagramı [26] 38
Şekil 3.4 Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme diyagramı [26] 39
Şekil 3.5 Özel deprem etriye ve çirozu [26] 48
Şekil 3.6 Kirişlerde tasarım kesme kuvveti [26] 51
Şekil 3.7 Perde tasarım eğilme momentleri [26] 53
Şekil 3.8 Perde gövde ve uç donatıları [26] 54
Şekil 3.9 Rayleigh sönüm fonksiyonu 61
Şekil 4.1 Bodrum kat planı (cm, 1/250) (Boyutlar: cm) 65
Şekil 4.2 Normal kat planı (1/200) (Boyutlar: cm) 66
Şekil 4.3 Yüksek binanın üç boyutlu sonlu eleman modeli 69

Şekil 4.4 Türkiye deprem tehlike haritası....70
Şekil 4.5 Bina konum bilgisi....71
Şekil 4.6 Deprem düzeyleri için tasarım ivme spektrumu....72
Şekil 4.7 Azaltılmış tasarım ivme spektrumu....74
Şekil 4.8 1. Eğilme ve burulma modu şekilleri....78
Şekil 4.9 2. Eğilme ve burulma modu şekilleri....78
Şekil 4.10 3. Eğilme modu şekilleri....79
Şekil 4.11 Göreli kat ötelemesi....83
Şekil 4.12 İncelenen kolon ve kirişin kalıp planındaki konumu....85
Şekil 4.13 Betonarme elemanlarda gerilme ve deformasyon değişimi....85
Şekil 4.14 İdealleştirilmiş moment-eğrilik diyagramı....87
Şekil 4.15 Kirişlerde kesme tasarımı....87
Şekil 4.16 K35/60 Kiriş donatı detayı....89
Şekil 4.17 K40/70 Kiriş donatı detayı....89
Şekil 4.18 K50/70 Kiriş donatı detayı....89
Şekil 4.19 C31 kolonu için eksenel yük değişimi....91
Şekil 4.20 S80x80 kolon için akma yüzeyi....92
Şekil 4.21 Kolon $M_{ü}$ hesabı [26]....93
Şekil 4.22 S50x50 ve S60x60 kolonu donatı detayı....94
Şekil 4.23 S70x70 ve S80x80 kolonu donatı detayı....94
Şekil 4.24 P25 perde donatı detayı....97
Şekil 4.25 P35 perde donatı detayı....98
Şekil 4.26 P45 perde donatı detayı....99
Şekil 4.27 DD-4 için tasarım spektrumu....101
Şekil 4.28 Beton malzeme modeli....104
Şekil 4.29 Donatı çeliği malzeme modeli....104
Şekil 4.30 S80x80 kolonu lif modeli....105
Şekil 4.31 Deprem kayıtları ivme spektrumları....108
Şekil 4.32 Ölçekli deprem kayıtları ivme spektrumları....110
Şekil 4.33 Hector depremi ivme kaydı....110
Şekil 4.34 Kobe depremi ivme kaydı....111
Şekil 4.35 Kocaeli-Düz depremi ivme kaydı....111
Şekil 4.36 Kocaeli-Arc depremi ivme kaydı....111

Şekil 4.37 Landers depremi ivme kaydı....112
Şekil 4.38 Manjil depremi ivme kaydı....112
Şekil 4.39 Trinidad depremi ivme kaydı....112
Şekil 4.40 Imperial Valley depremi ivme kaydı....113
Şekil 4.41 K50/70 kiriş kesiti....115
Şekil 4.42 III.Aşama için X-X yönü göreli kat ötelemesi....118
Şekil 4.43 III.Aşama için Y-Y yönü göreli kat ötelemesi....119
Şekil 4.44 III. Aşama için X-X yönü kat deplasmanları....121
Şekil 4.45 III. Aşama için Y-Y yönü kat deplasmanları....121
Şekil 4.46 Düzce-Düz depremi taban kesme kuvveti (H1)....122
Şekil 4.47 Düzce-Düz depremi taban kesme kuvveti (H2)....122
Şekil 4.48 Trinidad depremi taban kesme kuvveti (H1)....122
Şekil 4.49 Trinidad depremi taban kesme kuvveti (H2)....123
Şekil 4.50 Kocaeli-Düz depremi taban kesme kuvveti (H1)....123
Şekil 4.51 Kocaeli-Düz depremi taban kesme kuvveti (H2)....123
Şekil 4.52 Kobe depremi taban kesme kuvveti (H1)....124
Şekil 4.53 Kobe depremi taban kesme kuvveti (H2)....124
Şekil 4.54 Manjil depremi taban kesme kuvveti (H1)....124
Şekil 4.55 Manjil depremi taban kesme kuvveti (H2)....125
Şekil 4.56 Landers depremi taban kesme kuvveti (H1)....125
Şekil 4.57 Landers depremi taban kesme kuvveti (H2)....125
Şekil 4.58 Kocaeli-Arc depremi taban kesme kuvveti (H1)....126
Şekil 4.59 Kocaeli-Arc depremi taban kesme kuvveti (H2)....126
Şekil 4.60 Valley depremi taban kesme kuvveti (H1)....126
Şekil 4.61 Valley depremi taban kesme kuvveti (H2)....127
Şekil 4.62 Erzincan depremi taban kesme kuvveti (H1)....127
Şekil 4.63 Erzincan depremi taban kesme kuvveti (H2)....127
Şekil 4.64 Düzce-Bol depremi taban kesme kuvveti (H1)....128
Şekil 4.65 Düzce-Bol depremi taban kesme kuvveti (H2)....128
Şekil 4.66 Hector depremi taban kesme kuvveti (H1)....128
Şekil 4.67 Hector depremi taban kesme kuvveti (H2)....129
Şekil 4.68 Düzce-Düz depremi tepe ivme-zaman değişimi....130
Şekil 4.69 Trinidad depremi tepe ivme-zaman değişimi....130

Şekil 4.70 Kocaeli-Düz depremi tepe ivme-zaman değişimi.....130
Şekil 4.71 Kobe depremi tepe ivme-zaman değişimi 131
Şekil 4.72 Manjil depremi tepe ivme-zaman değişimi.....131
Şekil 4.73 Landers depremi tepe ivme-zaman değişimi.....131
Şekil 4.74 Kocaeli-Arc depremi tepe ivme-zaman değişimi.....132
Şekil 4.75 Valley depremi tepe ivme-zaman değişimi 132
Şekil 4.76 Erzincan depremi tepe ivme-zaman değişimi.....132
Şekil 4.77 Düzce-Bol depremi tepe ivme-zaman değişimi.....133
Şekil 4.78 Hector depremi tepe ivme-zaman değişimi.....133

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 CTBUH 2019 verilerine göre tamamlanmış yüksek binalar [1] 9
Tablo 1.2 CTBUH verilerine göre Türkiye'de tamamlanmış yüksek binalar [1] 11
Tablo 3.1 Bina kullanım sınıfı – bina önem katsayıları 31
Tablo 3.2 Deprem tasarım sınıfları 31
Tablo 3.3 BYS ve DTS için yükseklik aralıkları 32
Tablo 3.4 Kısa periyot için F_S katsayıları 34
Tablo 3.5 1.0 saniye periyot için F_S katsayıları 34
Tablo 3.6 Donatı çeliği bilgileri 38
Tablo 3.7 Yüksek Binalar için performans hedefleri ve analiz aşamaları [21] 41
Tablo 3.8 Yeni veya mevcut yüksek binalar için performans hedefleri 41
Tablo 3.9 Etkin kesit rijitliği çarpanları 44
Tablo 3.10 Hareketli yük katılım katsayısı.....44
Tablo 3.11 II. Aşama için etkin kesit jijitliği çarpanları.....55
Tablo 3.12 Beklenen malzeme dayanımları.....58
Tablo 4.1 Yük tanımları.....67
Tablo 4.2 Katlara göre eleman kesit değişimi.....68
Tablo 4.3 Deprem düzeyleri için Spekral ivme değerleri.....72
Tablo 4.4 Kat kütle ve ağırlıkları.....75
Tablo 4.5 Modal analiz kütle katılım oranları.....77
Tablo 4.6 X-X yönü göreli kat ötelemesi 81
Tablo 4.7 Y-Y yönü göreli kat ötelemesi 82
Tablo 4.8 Kiriş kesit donatıları.....88
Tablo 4.9 Kolon eksenel kuvvet sınırları.....90
Tablo 4.10 Kolon kesit ve donatıları 94
Tablo 4.11 Perde eksenel kuvvet sınırları.....95
Tablo 4.13 Kolon birim şekildeğiştirme sınırları.....115
Tablo 4.14 Kiriş plastik dönme sınırları.....116
Tablo 4.15 Katlara göre hasarlı eleman sayıları.....116

ÖZET

Betonarme Yüksek Binaların 2018 Yılı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi: 30 Katlı Bina Örneği

Ahmet Akif AKÇORA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Barış SEVİM

Dünyada gelişen teknolojiyle birlikte yapı malzemelerinin çeşitliliğinin ve kalitesinin artması, yüksek binaların yapımına olanak sağlamıştır. Son yıllarda büyük şehirlerde özellikle nüfusun yoğunlaştığı ticaret alanlarında yüksek binaların sayısı hızla artmıştır. Yüksek binalar gerek çok fazla oturum alanı kaplamaması gerekse ülkeler için prestij olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bununla birlikte, bina yüksekliğinin artması, yapıya gelecek deprem kuvvetlerinin de artarak yapıda daha fazla etki oluşmasına sebep olmaktadır. Ülkemizde yüksek binaların birçoğu deprem faylarına yakın bölgelerde bulunmaktadır. Bu sebepten, meydana gelebilecek olası büyük depremlerde can kayıplarını önlemek için bu yapıların deprem performanslarının araştırılması önem arz etmektedir. Bu yüzden birçok ülkede yüksek katlı yapıların tasarımı ve değerlendirilmesi için özel şartlar istenmektedir. Ülkemizde "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY 2018)", yüksek katlı yapılar için özel tasarım ve değerlendirme kuralları yer almaktadır. TBDY 2018'e göre yüksek binaların tasarımı yapıldıktan sonra zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak performans

değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu çalışmada betonarme yüksek binaların, TBDY 2018'e göre tasarımı ve değerlendirmesi için verilen kuralların irdelenmesi sunulmuştur. Çalışmanın amacına uygun olarak 2 bodrum ve zemin kotu üstü 30 kattan oluşan betonarme bir yapı planlanmış ve 3 boyutlu sonlu eleman modelleri ETABS ve SAP2000 yazılımları kullanarak hazırlanmıştır. Modelin taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve ve çekirdek perdelerden oluşturulmuştur. İlk olarak model Mod Birleştirme Yöntemi (MBY) ile doğrusal analiz yapılmış ve bu analizlere göre tasarlanmıştır. Daha sonra aynı model Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi (ZTADOHY) kullanılarak farklı ivme kayıtları altında analiz edilmiş ve TBDY 2018'e göre performansa dayalı tasarım yapılmıştır. Hesaplamalar sonunda model için elde edilen analiz sonuçları TBDY 2018'de verilen sınırlara göre kıyaslanmış. Analiz sonucunda elde edilen plastik şekildeğiştirme ve dönme değerleri TBDY 2018'de verilen sınırları sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme yüksek binalar, Performansa dayalı tasarım, TBDY 2018, Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz.

ABSTRACT

Investigation of Reinforced Concrete High-Rise Buildings According to the Turkish Building Seismic Code 2018: Example of 30 Storey Building

Ahmet Akif AKÇORA

Department of Civil Engineering

Master Thesis

Advisor: Prof. Dr. Barış SEVİM

Developing technology in the world, the increase in the variety and quality of construction materials has enabled the construction of high-rise buildings. In recent years, the number of high-rise buildings has increased rapidly in large cities, especially in commercial areas where population is concentrated. High-rise buildings are preferred on trade centers due to both of smaller construction area and prestige for countries. But increasing the height of the building causes bigger seismic loads. For this reason, it is important to investigate earthquake performance of these structures in order to prevent loss of life in earthquakes. Therefore, in many countries there are special requirements for the design and evaluation of high-rise buildings. In Turkey, Turkish Building Seismic Code 2018 (TBSC 2018), has introduced special rules for the design and evaluation of high-rise buildings. After design of high-rise buildings according to TBSC 2018, performance evaluation should be done by using non-linear time history analysis. In this study, it is aimed to examine the rules given for the design and evaluation of high-rise reinforced concrete (RC) buildings according to TBSC 2018. In accordance with the aim of the

study, a RC structure consisting of 2 basements and 30 typical floors above ground level is planned and three dimensional finite element models are created with ETABS and SAP2000 software. The structural system of the model is designed as RC frames and core walls. In the study, firstly, the model is analyzed with linear method as mode superposition and initially designed according to these analyzes. Then, nonlinear time history analyses (NLTHA) of the model are performed under different earthquake acceleration records and performance-based design is evaluated according to TBSC 2018. All linear and nonlinear analysis are performed in accordance with TBSC 2018. After that, the obtained results are compared to the limits given in the TBSC 2018. The plastic deformation and rotation values obtained as a result of the analysis provide the limits given in TBSC 2018.

Keywords: High-rise RC buildings, Performance-based design, TBSC 2018, Nonlinear time history analysis.

1
GİRİŞ

Ülkelerin artan nüfus popülasyonu, malzeme kalitesinin artması ve gösterişli yapılar yapma istek ve arzusunun bir ürünü olarak yüksek binalar son yıllarda gözde yapılar olmuştur. Binaların yüksek bina olarak kabul edilmesi ülkelere göre farklılık göstermektedir. Yapıların yüksek bina olarak sınıflandırılması için zemin kotundan bina yüksekliğine bakılmaktadır. Fakat günümüzde birçok yönetmelikte yüksek bina yükseklik sınırları farklı olarak tanımlanmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018), deprem tasarım sınıfına bağlı olarak depremselliğin yüksek olduğu bölgelerde 70 m, depremselliğin düşük olduğu bölgelerde ise 105 m, yükseklik sınırını aşan binaları yüksek bina olarak tanımlamıştır. TBDY 2018 bu sınıfa giren binaların değerlendirme ve tasarımı için özel kurallara yer vermektedir. Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH), kat adeti 14 veya yüksekliği 50 m'yi aşan binaları yüksek bina olarak kabul etmektedir [1]. CTBUH ayrıca süper yüksek bina için 300 m, mega yüksek binalar için ise 600 m sınırlarını tanımlamıştır.

Son yıllarda doğrusal analiz yöntemlerinin dışında gerçeğe daha yakın davranış gösteren doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Birçok ülkenin yönetmelikleri; bazı özel yapılarda ve yüksek binalarda performans değerlendirmesini doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmasını istemektedir. Son dönemlerde performansa dayalı tasarım yaklaşımı daha çok tercih edilmektedir.

Yapıların hesap ve tasarımında genellikle doğrusal analizler kullanılmaktadır. Düzenli veya az katlı binalarda doğrusal analiz kullanılması gerçeğe yakın sonuçlar verebilmesine karşın yüksek binalarda ve düzensiz binalarda doğrusal analiz kullanıldığında gerçek davranıştan uzaklaşılmaktadır. Bu nedene bağlı olarak yüksek binaların performans değerlendirmesinde doğrusal olmayan analiz yöntemleri tercih edilmektedir.

Yapılan çalışmalar doğrusal analizin yüksek katlı binalarda sadece bir ön fikir verdiğini fakat gerçek davranışa en yakın sonuçlar elde etmek için doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kullanılması gerektiğini göstermiştir.

1.1 Literatür Özeti

Deprem etkisi altında yüksek binaların tasarımı ve performans değerlendirmesinde doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Yüksek bina taşıyıcı sistem elemanlarının deprem etkisi altındaki şekil değiştirmelerin malzeme için izin verilen sınır değerleri aşmaması gerekmektedir. Bu amaçla son yıllarda yüksek binalarda veya bazı özel binalarda Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞDGT) istenmektedir. Yüksek bina inşasındaki ciddi artışın sonucu olarak birçok araştırmacı bu konuda çalışma yapmaktadır. Bu alanda yapılmış önemli çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Hasan vd. (2002) yapmış oldukları çalışmada statik itme analizi için bilgisayar destekli bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem farklı açıklık ve kat sayılarına sahip iki düzlem çerçeve üzerinde uygulanmış ve plastik kesitlerin analiz sonucunda performansları belirlenmiştir [2].

Klemencic vd. (2006) yapmış oldukları çalışmada San Francisco'da yer alan tüp perdeli One Rincon Hotel yapısının üç farklı deprem düzeyi için analizler yapılmıştır. Bunun yanı sıra, betonarme pederler için detay önerileri sunulmuştur [3].

Harries ve Mcneice (2006) çalışmada 30 katlı bağ kirişli perdeli bir sistemin davranışını incelemiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarında perdelerin ve bağ kirişlerin davranışı yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda bağ kirişlerin akma bölgelerine aşırı kesme kuvveti geleceği ve bu bölgelerde özel önlemler alınması gerektiği vurgulanmıştır [4].

Moehle (2006) tarafından yapılan çalışmada yüksek binaların analiz ve tasarımındaki önemli hususlar aktarılmıştır. Çalışmada yüksek binaların tasarımı veya performans değerlendirmesinde doğrusal olmayan analizlerin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Doğrusal olmayan analizler ile birlikte taşıyıcı sistem elemanlarındaki akma mekanizmaları, zamana bağlı iç kuvvetler, zamana bağlı deformasyonlar bulunur ve bunlara karşı ilave detaylar verilebilmektedir [5].

Baker vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada Birleşik Arap Emirlikleri'nde 2010 yılında yapımı tamamlanan Burj Dubai yapısının özellikleri verilmiştir. Yapıya ait temel sisteminin özellikleri verilmiş, rüzgâr testleri ile ilgili bilgiler aktarılmıştır. Yapı sisteminin analizleri detaylı olarak verilmiştir [6].

Carpenter vd. (2011) yaptıkları çalışmada 2010 yılında Şili'de meydana gelen depremde hasar gören yüksek binalardaki hasar oluşumları incelenmiş ve güçlendirme önerilerinde bulunulmuştur [7].

Nakai vd. (2012) tarafından yapılmış çalışmada 100 m ve 200 m olan iki farklı çelik binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir [8].

Nateghi ve Rezaei-Tabrizi (2013) çalışmada 15 ve 30 katlı iki binanın yapı zemin ilişkilerini dikkate alan sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Modellenen yapılar farklı deprem kayıtları kullanılarak ZTADOHY kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır [9].

Wu vd. (2014) tarafından hazırlanan çalışmada China Pavilion yapısının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizde elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır [10].

Özuygur (2015) tarafından yapılan çalışmada İstanbul'da yer alan 50 katlı betonarme binanın, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Düzensiz geometriye sahip yapının analiz sonuçları çalışma içerisinde verilmiştir [11].

Sun vd. (2017) tarafından sunulan çalışmada çerçeve ve çekirdek taşıyıcı sisteme sahip 32 katlı betonarme bir yapı ele alınmıştır. Çalışmada ZTADOHY kullanılarak analizler yapılmış ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. [12].

Emami ve Halabian (2017) tarafından hazırlanan çalışmada betonarme tüp taşıyıcı sistemine sahip 42 katlı binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır [13].

Celep ve Özuygur (2017) tarafından yapılan çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre yüksek binaların tasarımı ve değerlendirilmesi verilmiştir.

Yüksek binaların tasarımında dikkat edilmesi gereken hususların üzerinde durulmuştur [14].

Eftekhar ve Nouri (2018) yaptıları çalışmada 14, 21 ve 28 katlı farklı taşıyıcı sistemlere sahip yapıları 7 adet yakın kaynak deprem kayıtları altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Analizlerin sonucunda taşıyıcı sistemlerin göreli kat deplasmanları, enerji yutma kapasiteleri incelenmiş ve yorumlanmıştır [15].

Malla vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada 2015'te meydana gelen Nepal depreminden elde edilen kayıtlar ile betonarme konut binasının analizleri yapılmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin sonuçları incelenmiş ve yorumlanmıştır [16].

Literatürde yüksek binalar ile ilgili yapılmış çalışmalar incelendiğinde hesap yöntemi olarak doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılmıştır. Bu hesap yöntemi kullanılarak performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Bu sebeple sunulan çalışmada doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Yüksek binaların sayıları gerek dünyada gerekse Türkiye'de gün geçtikçe artmaktadır. Bu artış ile birlikte yüksek binaları konu alan çalıma sayılarında da artış gözlenmiştir. Depremselliği yüksek olan ülkemizde yüksek binaların tasarımı ve deprem performansının değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu sebepledir ki yürürlüğe giren TBDY2018 yönetmeliği yüksek binaların tasarımı ve değerlendirmesi için özel kurallar getirmiştir. TBDY 2018'de verilen tasarım ve değerlendirme esaslarının örnek projeler üzerinde irdelenmesi gerekmektedir. Literatürde yüksek binalar için çalışmalar yapılmış olmasına rağmen çalışmalarda ele alınan esaslar TBDY 2018'e göre farklılık içermektedir. Bu itibarla, TBDY 2018'de verilen tasarım ve değerlendirme esasları örnek bir yüksek bina modeli üzerinde irdelenmelidir. Sunulan çalışmada yüksek binaların TBDY 2018'e göre tasarımı ve değerlendirilmesi konusu ele alınmıştır. Çalışma kapsamında örnek yüksek bir yapının şekil değiştirmeye göre analizleri yapılmış ve yönetmelik doğrultusunda değerlendirmesi yapılmıştır.

Çalışmada betonarme yüksek binaların deprem etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Çelik veya karma tipi taşıyıcı sisteme sahip binaların davranışlar incelenmemiştir. Yüksek binaların rüzgâr etkisindeki davranışları veya yapı zemin etkileşimleri dikkate alınmamıştır. Çalışmada yapının kule bölümü olarak adlandırılan zemin kotu üstündeki katlarda performans değerlendirmesi yapılmıştır.

1.3 Orijinal Katkı

Artan bina yükseklikleri ile birlikte yapıların deprem etkisi altındaki davranışı değişmektedir. Bu itibarla yüksek binalarda deprem davranışları doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak incelenmektedir. Bu sebepledir ki farklı ülke yönetmeliklerinde yüksek binaların tasarım ve değerlendirilmesi için özel esaslar verilmektedir. TBDY 2018 yüksek binaların tasarım ve performans değerlendirmesi için özel kurallar içermektedir. TBDY 2018'e göre yüksek binaların tasarımı üç aşamada yapılmaktadır. İlk aşamada, yapının doğrusal hesap yöntemleri kullanılarak tasarımı yapılmaktadır. Diğer iki aşamada, tasarımı yapılan yapının deprem performansı değerlendirilmektedir. Bu aşamalarda verilen tasarım ve değerlendirme esasları literatürde yapılan çalışmalardan farklılık göstermektedir. Bu sebeple verilen esasların örnek yapılar üzerinde uygulanabilirliği kontrol edilmelidir. Bu itibarla, çalışmada TBDY 2018'de verilen üç aşamanın örnek betonarme bir yüksek bina üzerinde uygulanabilirliği ve uygulanması durumunda tasarıma olan etkileri incelenmiştir. Çalışma, betonarme yüksek binaların TBDY 2018'e göre incelenmesi konusunda literatüre katkı sağmaktadır. Buna karşın TBDY 2018'de verilen esasların farklı geometriye, yüksekliğe, malzeme türüne ve taşıyıcı sisteme sahip örnek binalar üzerinde irdelenmesi gerekmektedir.

1.4 Dünyada Yüksek Binaların Tarihsel Gelişimi

İnsanoğlu tarih boyunca birçok farklı sebebe bağlı olarak yüksek binalara ihtiyaç duymuştur. İlk olarak yüksek yapıların başlangıcı Mısır piramitlerine kadar dayanmaktadır. Eski Mısır'da gökyüzünü incelemek ve kral mezarları amacıyla yapılan piramitler tarihin ilk yüksek yapıları olarak sayılır. M.Ö. 2250'li yıllarda inşa

edilen piramitler tarih boyunca gücün, gösterişin ve medeniyetin simgesi olmuştur. Yapıların yükselmesi ile malzeme ve yapı mühendisliği alanında gelişmeler olmuştur. Öncesinde gösteriş için yapılan yüksek binalar günümüzde artan nüfus ihtiyacını karşılamak için yapılmaktadır. Görece küçük alanlara daha fazla nüfusu yerleştirebilmek için yapı yükseklikleri de hızla artmıştır. Yapı yüksekliklerinin bu kadar hızlı artmasındaki bir diğer etken ise yapı malzemeleri alanında gerçekleşen gelişmelerdir. Tarihte yüksek yapıların taşıyıcı sistemlerine bakıldığında büyük boyutlara sahip yapı elemanları kullanılmak zorunda kalınmıştır. Tarihin ilk yüksek yapıları arasında Eski Mısır piramitleri yer almaktadır. Piramitler, Mısır kırallarının mezarları olarak kullanılmıştır. Mısır krallarının mezarları olarak inşa edilen yapılardan olan ve yüksekliği 139m olan Keops Piramidi Kahire'de bulunmaktadır. (Şekil 1.1)



Şekil 1.1 Keops Piramidi, Mısır [17]

Yüksek binaların gelişimi açısından en büyük engel merdivenler olmuştur. Güvenli asansörlerin icat edilmesinden sonra yapı yükseklikleri hızla artmıştır. Özellikle sanayi devriminden sonra artan malzeme kaliteleri ile birlikte 5-6 katlı yapılardan günümüzde 100 kat ve üzeri yapılara ulaşılmıştır.

Şekil 1.2'de görülen Home Insurance Binası, Chicago'da 1883 yılında yapımına başlanmış ve 1885 yılında tamamlanmıştır. Home Insurance Binası, Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH) tarafından dünyanın ilk gökdeleni olarak kabul edilmektedir [1]. Home Insurance Binası 12 kat ve 42 m yüksekliğe sahiptir. Yapı çelik çerçeveler kullanılarak inşa edilmiştir. 1931 yılında yeni bina yapımı için yıkılmıştır.



Şekil 1.2 Home Insurance Binası, Chicago

19. yüzyılda beton teknolojisinin yüksek bina yapımına uygun olmamasından dolayı yapı taşıyıcı sistemleri daha çok çelikten oluşmaktaydı. 20. yüzyılın başlarına doğru beton malzemelerindeki gelişmeler ile birlikte çelik ve betonarmenin birlikte kullanıldığı daha çok katlı yüksek binalar yapılmaya başlandı. Şekil 1.3'te verilmekte olan Ingalls Binası, 1903 yılında ABD'de yapılmış 16 katlı ve 64 m yüksekliği ile dünyanın ilk betonarme yüksek binası olma özelliğine sahiptir [18].



Şekil 1.3 Ingalls Binası, Cincinnatti

1908 yılında yapımı tamamlanan 187 m yüksekliğine sahip Singer Building yüksek katlı yapıların artışını hızlandırmıştır (Şekil 1.4). 1967 yılında Singer Building yeni bina yapımı için yıkılmıştır. Yüksek binaların tarihsel gelişiminde önemli bir yere sahip olan Empire State Binası 1931 yılında inşa edilmiştir (Şekil 1.4 b). Yapı 381 m

ve 102 kattan oluşmaktadır. Taşıyıcı sistemi çelik ve rijit çerçevelerden oluşmaktadır.



(a) (b)

Şekil 1.4 (a) Singer Building, New York, (b) Empire State Binası, New York

1960'lı yıllarda yapı mühendisliği alanında gerçekleştirilen araştırmalar ile birlikte farklı tipte taşıyıcı sistemler geliştirilmiştir. Bu dönemlerde Fazlur Khan, Hal Ivengar, William LeMessurier, Leslie Robertson gibi mühendislerin yaptıkları çalışmalar sonucunda perdeli taşıyıcı sistemler ve tüp taşıyıcı sistemler geliştirilmiş ve daha yüksek binaların yapılabilmesinin önü açılmıştır [19].

Özellikle kompozit taşıyıcı sistemlerin kullanılması ile birlikte günümüzde yüksek binaların sayıları her yıl artmaktadır. Tablo 1.1'den görüleceği gibi CTBUH verilerine göre 2019 yılında dünyanın en yüksek binası 828 m yüksekliği ile Dubai şehrinde yer alan Burj Khalifa'dır (Şekil 1.5). Çelik ve betonarmenin birlikte kullanıldığı yapının kullanım amacı ofis, konut ve otel olarak planlanmıştır.

Tablo 1.1 CTBUH 2019 verilerine göre tamamlanmış yüksek binalar [1]

Sıra	Bina adı	Konum	Yükseklik (m)	Kat	Yapım yılı	Malzeme	Kullanım amacı
1	Burj Khalifa	Dubai	828	163	2010	Çelik/Beton	Ofis / Konut / Otel
2	Shanghai Tower	Shanghai	632	128	2015	Kompozit	Otel / Ofis
3	Makkah Royal Clock Tower	Mecca	601	120	2012	Çelik/Beton	Otel / Diğer
4	Ping An Finance Center	Shenzhen	599.1	115	2017	Kompozit	Ofis
5	Lotte World Tower	Seoul	554.5	123	2017	Kompozit	Ofis / Konut / Otel
6	One World Trade Center	New York City	541.3	94	2014	Kompozit	Ofis
7	Guangzhou CTF Finance Centre	Guangzhou	530	111	2016	Kompozit	Ofis / Konut / Otel
8	Tianjin CTF Finance Centre	Tianjin	530	97	2019	Kompozit	Ofis / Konut / Otel
9	CITIC Tower	Beijing	527.7	109	2018	Kompozit	Ofis
10	TAIPEI 101	Taipei	508	101	2004	Kompozit	Ofis



Şekil 1.5 Burj Khalifa, Dubai [18]

CTBUH verilerine göre, Cidde şehrinde yapılan ve 2020 yılında bitmesi planlanan Jeddah Tower 1000 m yüksekliğe ve 167 katlı olarak inşa edilmektedir. Yapının inşası bitmesi ile birlikte dünyanın en yüksek bina olma özelliğine sahip olacaktır [1].



Şekil 1.6 Jeddah Tower, Cidde [1]

1.5 Türkiye'de Yüksek Binaların Tarihsel Gelişimi

Türkiye'de 1970 yılına kadar inşa edilen binaların kat sayısı 25'i geçmemiştir. Yüksek binaların sayılarında artış 1970'li yıllardan günümüze kadar hızla artmıştır. Özellikle 1985 yılından sonra yüksek bina sayıları hızla artmıştır. CTBUH verilerine göre günümüzde yapımı tamamlanmış 150 m sınırını aşan 59 yapı bulunmaktadır. Çalışmanın yapıldığı yıl dikkate alındığında, yapımı devam eden 5 bina bulunmaktadır. 200 m sınırını aşan yapımı tamamlanmış 8 yapı bulunmaktadır. Türkiye'de 2019 yılı itibari ile yapımı tamamlanmış en yüksek bina Skyland Office-Residental Tower bulunmaktadır. 65 ve 64 kattan oluşan binanın yüksekliği 284 m'dir. Tablo 1.2'de 2019 yılı itibari ile CTBUH verilerine göre Türkiye'de yer alan ilk 10 yüksek binaya ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 1.2 CTBUH verilerine göre Türkiye'de tamamlanmış yüksek binalar [1]

Sıra	Bina	Şehir	Yükseklik (m)	Kat Sayısı	Yapım Yılı	Malzeme
1	Skyland Residential Tower	Istanbul	284	64	2017	Betonarme
2	Skyland Office Tower	Istanbul	284	65	2017	Betonarme
3	Metropol Tower Istanbul	Istanbul	280	58	2017	Betonarme
4	Sapphire Tower	Istanbul	261	55	2010	Betonarme
5	Nurol Life	Istanbul	220	60	2018	Betonarme
6	Mistral Office Tower	Izmir	216	48	2017	Betonarme
7	Maslak Spine Tower	Istanbul	202	47	2014	Betonarme
8	Folkart Tower A	Izmir	200	40	2014	Betonarme
8	Folkart Tower B	Izmir	200	40	2015	Betonarme
10	Anthill Residence 1	Istanbul	194.5	54	2010	Betonarme
10	Anthill Residence 2	Istanbul	194.5	54	2011	Betonarme

2
YÜKSEK BİNALARDA TAŞIYICI SİSTEMLER VE HESAP YÖNTEMLERİ

2.1 Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemleri

Malzeme teknolojisinde yaşanan gelişmeler ile birlikte yüksek binalarda geçmişten günümüze farklı taşıyıcı sistemler geliştirilmiştir. Geçmişte inşa edilen yüksek binalar incelediğinde daha çok kagir binalar olduğu görülmektedir. Malzeme teknolojisinin gelişmesi ile birlikte taşıyıcı sistemler demir, çelik veya betonarme gibi malzemeler kullanılarak kurulmuştur. Sonraki yıllarda çelik ve betonarmenin birlikte kullanıldığı kompozit yapılar inşa edilmiştir. Özellikle beton ve çelik alanındaki gelişmeler ile birlikte taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri azalmış ve daha yüksek binaların yapılması sağlanmıştır.

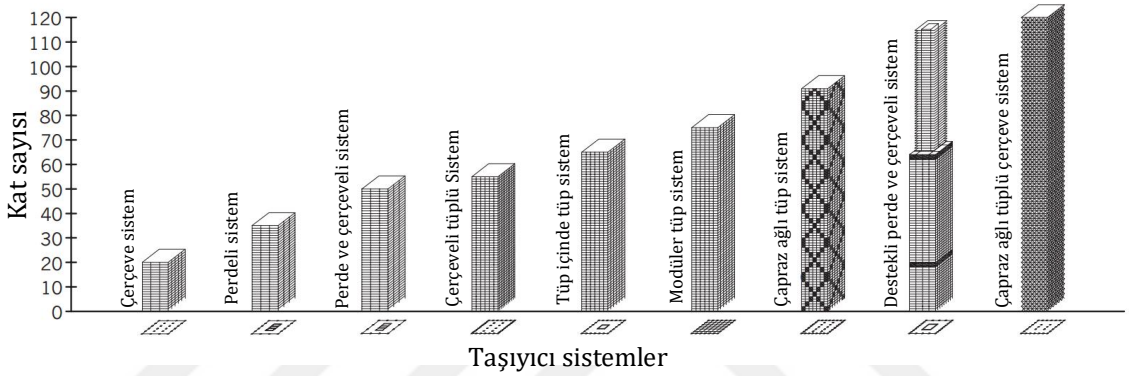
Yapıların taşıyıcı sistemleri, üzerin etkiyen düşey yüklerinin yanı sıra deprem ve rüzgâr gibi yüklere karşı yatayda da yeterli rijitliğe sahip olmalıdır. Yapı yüksekliğinin artması ile birlikte yatayda gelecek rüzgâr ve deprem yükleri de önemli ölçüde şekilde artış göstermektedir. Bu sebepledir ki yatayda yeterli dayanımı sağlamak için yeni taşıyıcı sistem tasarımları geliştirilmiştir [20].

Yapılarda bina yüksekliğine ve mimarisine bağlı olarak farklı taşıyıcı sistemler kullanılabilmektedir. Günümüzde yüksek binalar genellikle bodrum katlar ve bodrum üstünde az katlı zemin üstü katlardan ve bunların üstünde bulunan kule kısımlarından oluşmaktadır. Günümüzdeki yüksek binaların taşıyıcı sistemleri, yapıya gelecek yatay yükleri karşılayabilmek için planda orta bölümde çekirdek perde sistemleri kullanılmıştır. Bu çekirdek perdeler genellikle merdiven ve asansör alanını çevreler [21].

Yapı yüksekliği arttıkça yapının yatay yükler altındaki yer değiştirmelerini sınırlamak amacıyla farklı taşıyıcı sistemler tercih edilmektedir. Betonarme yüksek binalarda kullanılan taşıyıcı sistemler genel olarak 5 kısımda gruplanabilir. Bunlar;

- Çerçeve sistemler
- Perdeli sistemler
- Çerçeve-Perdeli sistemler
- Tüp sistemler
- Çapraz ağlı sistemler

Kat sayısı ve bina yüksekliğine bağlı olarak taşıyıcı sistemin yatay rijitliğini arttırmak için belirtilen bu sistemler kullanılır (Şekil 2.1). Bununla birlikte, kat sayısı taşıyıcı sistem seçiminde önemli bir etkendir.



Şekil 2.1 Kat sayısına göre taşıyıcı sistem [22]

2.1.1 Çerçeve Sistemler

Çerçeve sistemler, kiriş ve kolonlar ile oluşturulan taşıyıcı sistem olarak en basit çok serbestlik dereceli taşıyıcı sistemlerdir. Bu tip sistemler ile 20 kata kadar yaklaşık 65 m yüksekliğe sahip taşıyıcı sistemler oluşturmak mümkündür. Çerçeve sistemler üzerine gelen hem yatay hem de düşey yükleri, kiriş ve kolonların eğilme kapasitesi ile karşılamaktadır. Çerçeve sistemlerin yatay ve düşey yükler altındaki rijitliği, kolon kirişlerin eğilme rijitliği ve birleşim bölgesi rijitliği ile sağlanmaktadır. Kolon-kiriş birleşim bölgeleri üzerimde süreklilik sağladığı için bu sistemlerde betonarme kullanmak daha ideal çözümdür [20].

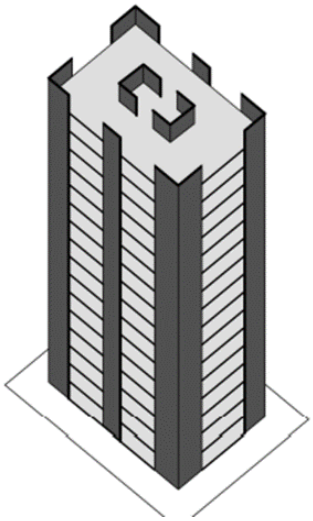
Çerçeve rijitliği direkt olarak kesit boyutlarına ve kolon-kiriş eğilme rijitliklerine bağlıdır. Ayrıca eleman açıklıkları ve uzunlukları da taşıyıcı sistem rijitliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sistemlerde kolon üzerine gelecek düşey yükleri yapı

ömrü boyunca yeterli yapısal güvenliğe sahip olarak temele aktarmalıdır. Aynı zamanda taşıyıcı sistem kolon elemanlar yatay yükleri de güvenle taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır.

Yüksek katlı yapılarda çerçeve taşıyıcı sistemin kullanılması durumundaki en büyük kısıt sistemin yatay yüklere karşı rijitliğinin yeterli olmamasıdır. Deprem etkisi altında yüksek yatay yer değiştirme konforu azaltmakta ve yapı hasarını arttırmaktadır. Ayrıca kat sayısının artması ile artan düşey yüklerden dolayı kesitler ekonomik boyutlardan uzaklaşmaktadır. Bu sebeple 25 kattan yüksek binalarda çerçeve sisteminin kullanılması ekonomik değildir [20].

2.1.2 Perdeli Sistemler

Yatay ve düşey yüklerin sadece perde elemanlar tarafından karşılandığı taşıyıcı sistemler perdeli sistemler olarak tanımlanmaktadır. Tünel kalıp sistemi kullanılarak inşa edilen yapılarda sadece perde bulunmaktadır. Taşıyıcı sistem boşluksuz veya bağ kirişli perde sistemleri ile tasarlanabilir. Sadece perdelerin kullanıldığı taşıyıcı sistem ile yaklaşık 115 m yüksekliğine sahip binalar yapılması mümkündür. Bu tip taşıyıcı sistemlerde perdelerin planda yerleşimleri simetrik olmalıdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Perdeli sistemler [22]

Yüksek katlı yapılarda betonarme perdeler genellikle planda merkezde asansör, merdiven veya mekanik alanları çevreleyecek şekilde bulunmaktadır. Betonarme

perdeler, bazı durumlarda yapının burulma rijitliğini arttırmak için planda yapının köşe noktalarına yerleştirilir. Planda simetrik olarak konumlanan betonarme perdeler burulma rijitliğine önemli katkı sağlamaktadır [21]. Bununla birlikte perde elemanları yapının bütün yatay kuvvetlerini karşılamakta ve devrilme momentlerini karşılamaktadır. Bu sebeple perdelerin planda yerleşimine dikkat edilmeli ve perdelere gelecek çekme kuvvetler asgari seviyede olması sağlanmalıdır [22].

2.1.3 Çerçeve-Perdeli Sistemler

25 kattan daha yüksek yapılarda tek başına çerçeve sistemlerin kullanılması ekonomik olmadığından dolayı çerçeve sistemlere yatay yükler karşısındaki deformasyonları sınırlamak için düşeyde perde elemanlar sisteme eklenmelidir. Ülkemizde yüksek binalarda kullanılan en yaygın taşıyıcı sistemdir. Taşıyıcı sistemde perdeler genellikle yapının merkezinde, asansör veya merdiven boşluklarının etrafında bulunmaktadır. Planda iç ve dış çerçevede bulunan kolonlar, kirişler ile perde elemanlara bağlanılmaktadır. Bu duruma uygun olarak oluşturulan taşıyıcı sistemler ile 50 kat yüksekliğe kadar ekonomik çözümler elde etmek mümkündür. Yapıya etkiyen yatay deprem ve rüzgâr yükler; büyük oranla perdeler tarafından karşılanmaktadır. Bundan dolayı, taşıyıcı sistemdeki perdelerin planda yerleşimi olabildiğince simetrik olmalıdır. Bu tip taşıyıcı sistem ile tasarım yapılması durumunda çerçeve sisteminin %15-%25 arasında yatay etkiyi karşılayacak şekilde tasarım yapılması önerilmektedir [21]. Çekirdek perdelerin planda köşe noktalara çekilmesi durumunda deprem etkisi ile birlikte yapıda ilave burulma etkileri oluşacağı da dikkate alınmaktadır.

2.1.4 Tüplü Sistemler

Planda sık yerleştirilen kolonların yüksek kirişler ile bağlanması ile oluşturulan sistemler tüp sistemler olarak bilinmektedir. Dünyada yüksek binaların taşıyıcı sistemlerinde genellikle tüp sistemler tercih edilmektedir. Deprem ve rüzgâr gibi yatay yükleri tüm taşıyıcı sistem karşılar. Kolon aralıkları yaklaşık olarak kat yüksekliğinin yarısı olacak şekilde yerleştirilir.

Tüp sistemler ile üç farklı taşıyıcı sistem kullanılarak tasarımı yapılabilmektedir.

- **Çerçeveli Tüp Sistemler**

Çerçeve ve tüp sistemin birlikte kullanıldığı taşıyıcı sistemler olarak tanımlanan çerçeveli tüp sistemler ile yaklaşık olarak 180 m yüksekliğe sahip betonarme binaların yapılması mümkündür [22].

Bu tip taşıyıcı sistemlerde sık yerleştirilmiş dış kolonlar yüksek kirişler ile birbirine bağlanmıştır. Planda iç kolonlar sadece düşey yükleri taşıyacak şekilde tasarımı yapılmaktadır. Yapıya gelen yatay kuvvetlerin büyük bir oranı tüp sistem tarafından karşılanır.

- **Tüp İçinde Tüp Sistemler**

Bu sistemde yapı yüksekliği arttıkça yapıya gelen yatay yükler artmaktadır. Yatay yüklerin sadece dış tüp ile karşılanmasının yeterli olmadığı durumunda iç kolonlar ve kirişler ile ikinci bir tüp sistem kurulur. Bu tip taşıyıcı sistemler ile 200 m'nin üzerinde yapıların inşası mümkündür. İki tüp sistem birbirine kirişler veya döşeme ile bağlanmaktadır. İkinci tüp sisteminin kurulması yapının yatay rijitliğini önemli ölçüde arttırmaktadır.

- **Modüler Tüplü Sistemler**

Bu sistem, oluşturulan tüp sistemlerin iç içe tekrarlanması ile oluşturulmaktadır. Tüp sistemler birbirine yeterli rijitliğe sahip kirişler ile bağlanılmaktadır.

2.1.5 Çapraz ağlı Sistemler

Dıştan veya içten destekli çaprazlar ile kurulan taşıyıcı sistemlerdir. Oluşturulan sistemde çapraz elemanlarda normal kuvvet daha etkili olmaktadır. Çapraz elemanlarda eğilme etkisi en düşük düzeyle kalır. Bu tip taşıyıcı sistemler ile 300 m'den daha yüksek binalar yapılması mümkündür. Çapraz sistemler ile birlikte yatay yöndeki rijitlik önemli oranda artmaktadır. Deplasmanlar önemli ölçüde azaldığından dolayı yatay yüklerden dolayı oluşacak hasarlar minimuma indirgenir.

2.2 Yüksek Binalarda Hesap Yöntemleri

Taşıyıcı sistemin yatay ve düşey yükler altındaki tasarımı ve değerlendirmesinde iki hesap yöntemi kullanılmaktadır.

1. Doğrusal Hesap Yöntemleri
2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

2.2.1 Doğrusal Hesap Yöntemleri

Bu yaklaşımda yatay ve düşey yüklere karşı taşıyıcı sistemin doğrusal davrandığı kabul edilmektedir. Taşıyıcı sistemin çözümü doğrusal olarak kabul edilmekle birlikte sistemin doğrusal olmayan davranışı da bazı katsayılar ile hesaba katılmaktadır. Doğrusal sistem çözümü doğrusal olmayan sisteme göre hesap kolaylığı sağlamaktadır. Bu hesap yöntemde yapının doğrusal olmayan davranışı deprem yükü azaltma katsayısı R_a ile hesaba katılarak doğrusal analiz yapılmaktadır [23].

Doğrusal hesap yöntemleri kullanılırken yapılan kabuller aşağıda listelenmiştir;

- Malzemenin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilmektedir.
- İkinci mertebe etkileri ihmal edilir. Bunun sebebi yerdeğiştirmelerin denge ve süreklilik bağıntılarına etkisi son derece küçüktür.
- Tepki kuvvetleri çift yönlü olup, yapı eleman kesitleri yükler altında değişmemektedir.
- Süperpozisyon prensibi geçerlidir.

2.2.2 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Binalar, bazı durumlar dışında, servis yükleri etkisinde genellikle doğrusal davranış gösterir. Binaların taşıyıcı sistemlerine etki eden dış etkilerin artması sonucunda binanın taşıma gücüne yaklaşmaktadır. Bu durumda şekildeğiştirme ve gerilmeler doğrusal-elastik davranıştan uzaklaşmaktadır. Bu aşamada doğrusal hesap yönteminde olduğu gibi yerdeğiştirmeler ihmal edilebilecek noktada değildir. Böyle bir durumda doğrusal hesap yöntemlerinin kullanılması gerçek davranış yansıtmadan uzak olmaktır. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak malzemelerin doğrusal-elastik ötesi kapasiteleri de göz önüne alınarak yapı

sisteminin yüklemeler altındaki davranışı daha gerçeğe yakın şekilde izlenebilmekte ve bu durumun sonucu olarak daha ekonomik taşıyıcı sistemlerin tasarımı mümkün olabilmektedir [24]. Yapı sistemlerinin yükler altında doğrusal davranış göstermemesinin başlına iki ana nedeni;

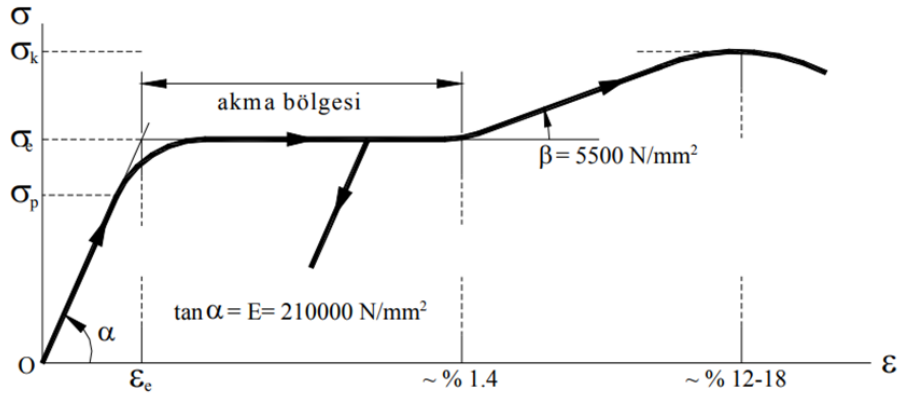
- Taşıyıcı sistemde kullanılan malzemenin doğrusak-elastik olmamasından dolayı gerilme-şekildeğiştirme bünye denklemlerinin doğrusal olmaması
- Geometrik şekildeğişiminden dolayı kurulan denge denklemlerinin doğrusal olmaması

belirtilebilir.

2.2.2.1 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerde, malzemenin doğrusal-elastik davranmaması sebebiyle gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları doğrusal olamamaktadır. Yapıya gelen yükler zamanla değişmekte ve gerilme değerleri işaret değiştirmektedir. Bu durum malzeme üzerinde yükleme ve boşalmaya sebep olmaktadır.

Yapı malzemesi olarak kullanılan donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme (σ – ε) eğrisi Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Donatı gerilme-şekildeğiştirme eğrisi [24]

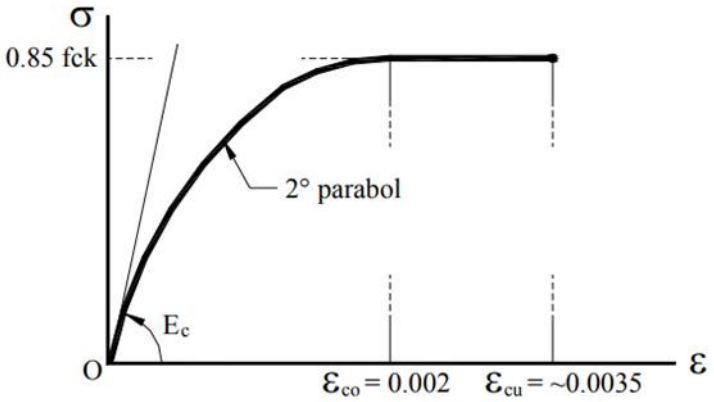
Şekil 2.3'de verilen donatı gerilme-şekildeğiştirme eğrisinde σ_k, donatı çeliğinin kopma gerilmesini, σ_e, akma gerilmesini, σ_p, plastikleşme gerilmesini göstermektedir. Gerilme değerinin σ_p gerilmesine ulaşması ile birlikte gerilme-

şekildeğiştirme eğrisi doğrusal olmaktan çıkmaktadır. Yine Şekil 2.3'de ε_e, akma şekildeğiştirmesini göstermektedir.

Betonarme yapılarda kullanılan donatı çeliği genellikle S420'dir. S420 donatı çeliğinin kopma gerilmesi, akma gerilmesi ve akma şekildeğiştirmesi sırasıyla,

σ_k= 500 N/mm^2, σ_e = 420 N/mm^2 ve ε_c = 0.0021'dir.

Yapı malzemesi betonun eğilme etkisi altında gerilme-şekildeğiştirme ($\sigma - \varepsilon$) eğrisi ve bağıntıları Şekil 2.4'te gösterildiği gibidir.



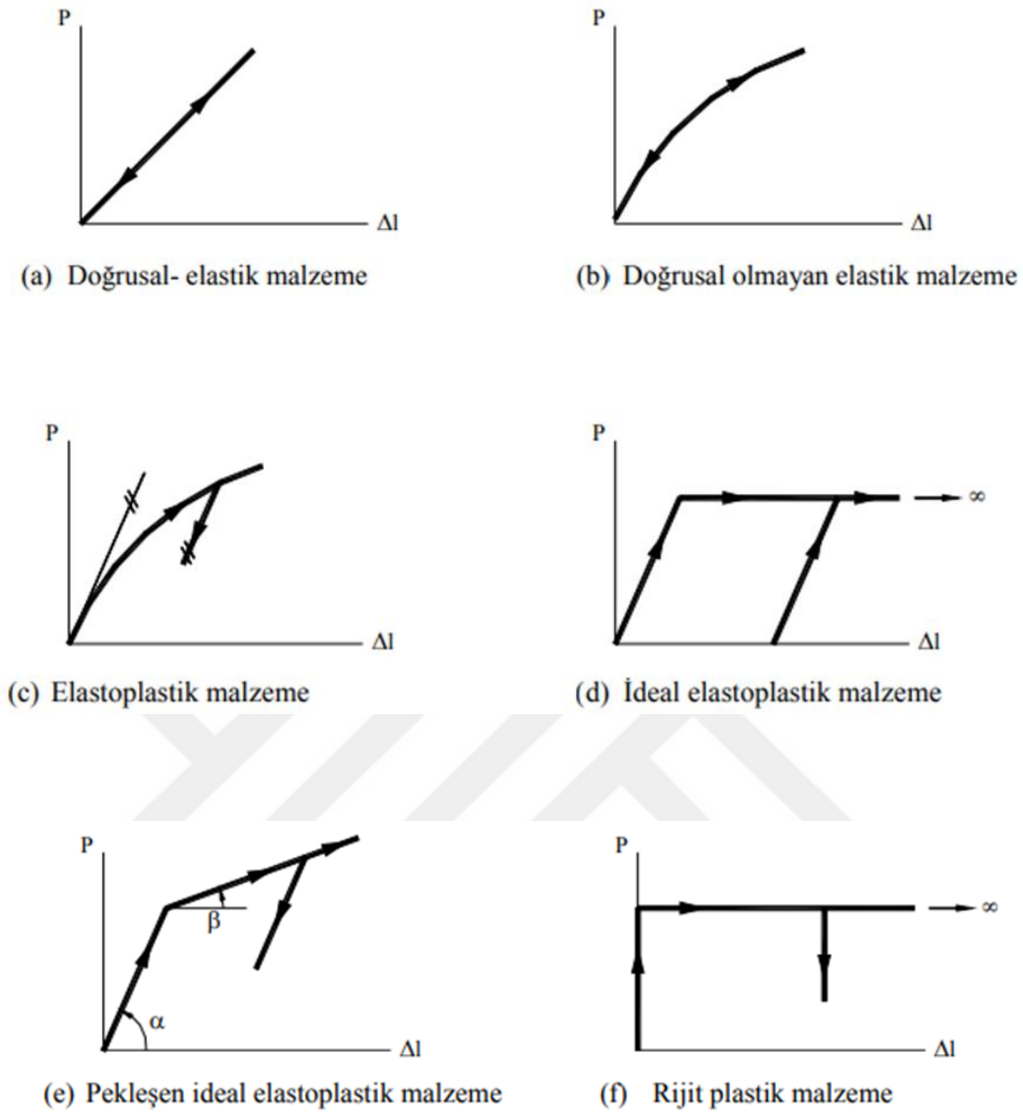
Şekil 2.4 Beton gerilme-şekildeğiştirme ($\sigma - \varepsilon$) diyagramı [24]

Şekil 2.4'te verilen diyagramda fck betonun karakteristik basınç dayanımını göstermektedir. E_c ise betonun elastisite modülünü göstermektedir ve TS500'e göre (2.1) bağıntısı yardımı ile hesaplanmaktadır [25].

$$E_c = 1400 + 3250\sqrt{f_{ck}} \qquad (2.1)$$

Betonun ezilmesi anındaki şekildeğiştirme değeri olan ε_{cu} sargısız beton için 0.0035 olarak kabul edilmektedir. Sargılı betonda ise bu değer sargı etkisine göre artmaktadır.

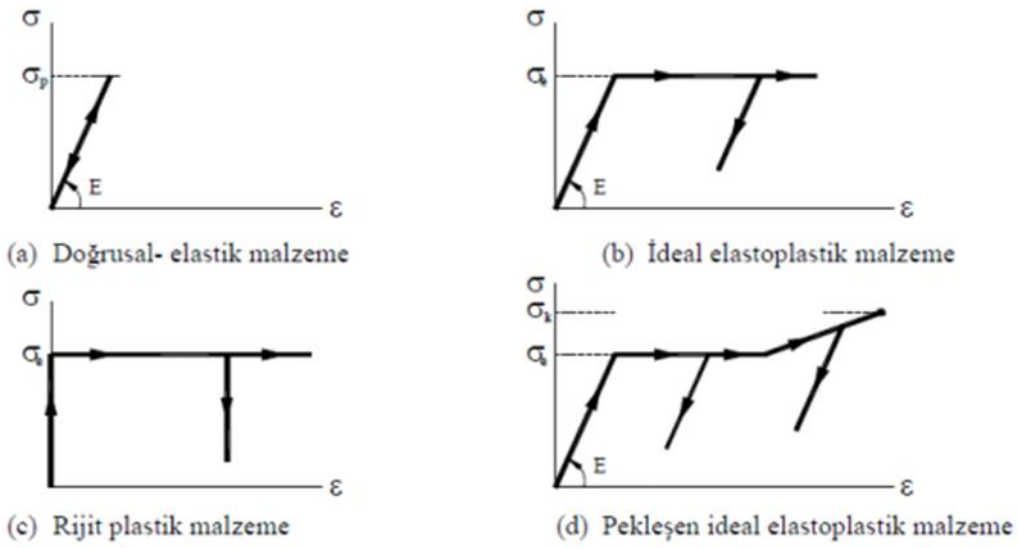
Yapı sistemlerin hesaplarında doğrusal olmayan malzeme modellerini direkt olarak kullanmak birçok zorlukla karşılaşılmasına sebep olmaktadır. Hesapların daha sade ve kullanışlı olabilmesi için malzeme gerilme-şekildeğiştirme modellerinde bazı idealleştirmeler yapılmaktadır. Şekil 2.5'te yapı sistemlerinde kullanılan ideal malzeme modelleri verilmiştir.



Şekil 2.5 İdealleştirilmiş malzeme modelleri [24]

Yapı analizlerinde, analiz süresini kısaltmak ve modeli matematiksel olarak kolaylaştırmak için beton ve çeliklerin σ – ε diyagramları basitleştirilmektedir. Şekil 2.5'te ideal malzeme modelleri verilmektedir. Analizlerde kullanılacak olan ideal malzeme modeli analiz sonuçlarına etki etmektedir. Örneğin donatı çeliği malzeme modeli olarak ideal elastoplastik malzeme modelinin kullanılması gerçeğe daha yakın sonuçlar vermekte, buna karşılık analiz süresi artmaktadır. Bu sebeple genellikle yapı analizlerinde ideal elastoplastik malzeme modeli daha fazla tercih

edilmektedir. Bu malzeme modelinde Şekil 2.5'te gösterildiği üzere malzeme modelinde pekleşme etkisi dikkate alınmamaktadır. Gerilme değeri akma değerine ulaşması ile birlikte, sabit gerilmede şekil değiştirme devam etmektedir. Malzeme modelinin doğrusal-elastik kabul edilmesi durumunda gerilme artışı ile oluşan şekildeğiştirmeler, analiz sonunda başlangıç konumuna geri gelmektedir. Başka bir ifadeyle, gerilme artışı altında malzemede kalıcı şekildeğiştirme olmamaktadır (Şekil 2.5). Rijit plastik malzeme modelinde ise akma sınır gerilmesine kadar gerilme artışına karşın malzemede şekildeğişimi meydana gelmemekte, akma sınır değerine ulaşması durumunda sabit gerilmede şekildeğiştirme meydana gelmekte ve malzeme kopma şekildeğiştirmesine gelmesi durumunda gerilme değeri azalmaktadır. Aşırı rijit elemanlarda bu malzeme modelinin kullanılması gerçeğe daha yakın bir davranış elde edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 2.6 İdealize edilmiş donatı σ – ε diyagramları [24]

Doğrusal olmayan analizler sırasında belirtilen gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları kullanılmaktadır. Verilen bağıntıların incelenmesinde yapılan kabuller aşağıda verilmiştir.

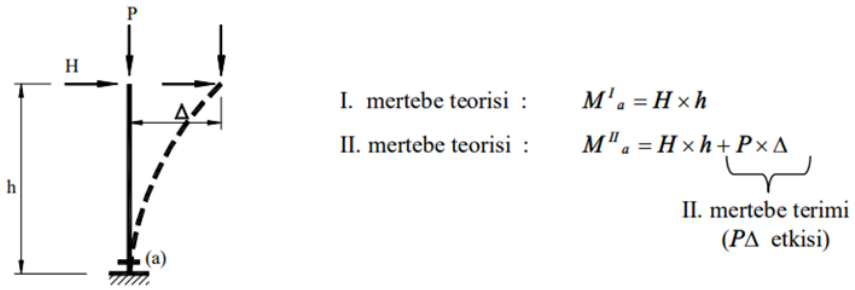
- Düzleme dik olan kesit şekildeğiştirmeden sonra da düzleme dik kalmaktadır.
- Beton ile donatı çeliği arasında tam aderans vardır.
- Betonun çekme dayanımı ihmal edilmektedir.

- Betonun gerilme-şekildeğiştirme diyagramı için ideal malzeme modeli olarak ideal elastoplastik malzeme modeli varsayımı yapılmaktadır.

2.2.2.2 Geometri Değişimi Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler

Bu tür sistemlerde yerdeğiştirmeler ihmal edilebilir olmadığından denge denklemleri yer değiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır. Genel olarak geometri değişiminin denge denklemlerinde dikkate alınmasına ikinci mertebe teorisi denilmektedir [23]. İkinci mertebenin etkili olduğu sistemlerde geometrik süreklilik denklemlerinde yerdeğiştirmelerin etkisi olmamaktadır. Genellikle yapı sistemlerin yerdeğiştirmeleri belirli sınırları aşmasına izin verilmemektedir. Bu sebeple de yerdeğiştirmelerin geometrik süreklilik denklemlerine olan etkisi ihmal edilmektedir.

Buna karşın yüksek yapılarda eksenel yükün büyük değerlerde olması ve yüksek modların etkili olmasından dolayı ikinci mertebe teorisi analiz aşamalarında göz önüne alınmalıdır. İkinci mertebe teorisinde doğrusal davranış söz konusu olmadığı için süperpozisyon geçerli olmalaktadır.



Şekil 2.7 I. ve II. mertebe etkilerinin karşılaştırılması [24]

Şekil 2.7'de I. ve II. mertebe etkileri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Eksenel yükün fazla olması durumunda II. mertebe etkisi yapı sistemlerinin tasarımı ve değerlendirmesinde etkili olmaktadır. İkinci mertebe etkilerinin öneminden dolayı doğrusal sistemlerde de bu etkinin hesabı dolaylı olarak dikkate alınmaktadır.

Yönetmeliklerde II. mertebe etkisini dikkate almak için bazı sınırlar verilmiştir. TBDY-2018'de doğrusal analiz yapılması durumunda bile II. mertebe etkisi için sınır değer tanımlanmıştır. Yönetmeliğe göre verilen sınır değer (2.2) ve (2.3) bağıntıları ile hesaplanmaktadır [26].

$$\theta_{II,i}^{(X)} = \frac{(\Delta_i{}^{(X)})_{ort} \sum_{k=i}^{N} w_k}{V_i{}^{(X)} h_i} \quad (2.2)$$

$$\theta_{II,max}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \quad (2.3)$$

Denklem 2.2 ve 2.3'te $(\Delta_i{}^{(X)})_{ort}$ ortalama azaltılmış göreli kat ötelemesini, w_k k katına etkiyen toplam ağırlığı, $\theta_{II,i}^{(X)}$ ise i katı için tanımlanan II. mertebe gösterge değeridir.

2.2.3 Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

2.2.3.1 Yığılı Plastik Davranış Modeli

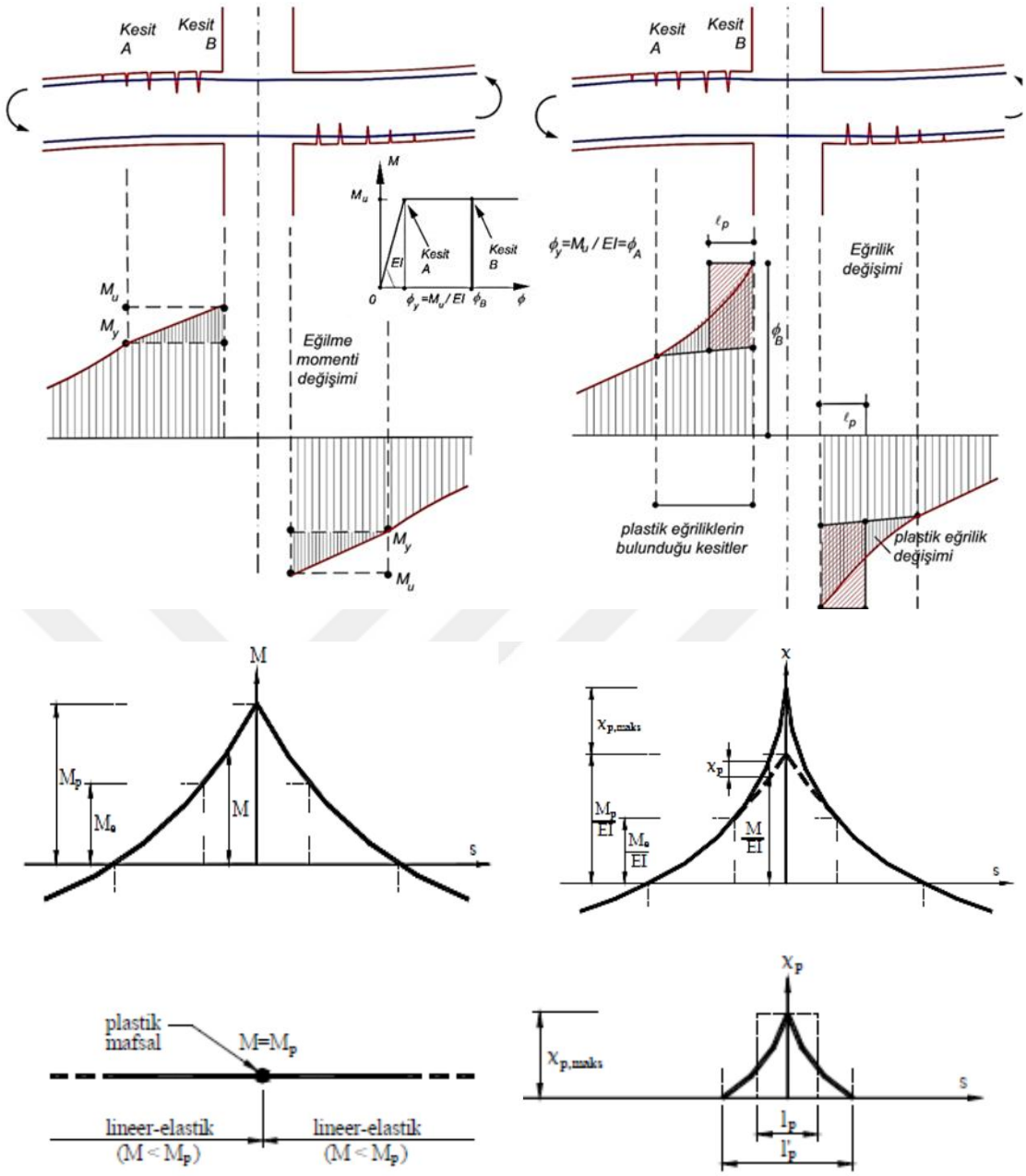
Malzemenin doğrusal davranmadığı ve yeterince sünek davranış gösterebilen sistemlerde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli bir bölgede toplanması ile oluşan kesite plastik mafsal denilmektedir. Plastik mafsal dışında kalan bölgelerde sistem doğrusal davranmaktadır. Kesite etkiyen moment değerinin, plastik moment değeri M_p'yi aşmasının ardından kesitte mafsallaşma başlar. Bu aşamadan sonra kesite etkiyen moment M_p sabit kalmaktadır. Bu aşamada kesit dönmesi serbest olur. Oluşan mafsaldaki dönme değerinin sınır değeri aşmasından sonra kesit ağır hasar olarak göçme durumuna gelmektedir.

Plastik mafsal teorisi için geliştirilmiş yığılı plastik davranış modeli malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi için geliştirilmiştir. Bu davranış modeli kullanılarak sünek taşıyıcı sistemlerin hesaplarında önemli ölçüde kısaltmak mümkündür.

Plastik mafsal hipotezinde, doğrusal olmayan şekil değiştirmeler, çubuk eleman üzerinde belli bir l_p uzunluğundaki bölgeye yayılır. Plastik mafsal olarak adlandırılan bu alanda φ_p plastik mafsal dönmesini temsil etmekte ve (2.4) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$\varphi_p = \int_{l_p'} \chi_p ds \quad (2.4)$$

Düzlem çubuk elemanın birleşim bölgesindeki eğilme momenti ve şekildeğiştirmelerin çubuk boyunca dağılımı Şekil 2.8'de verilmiştir.



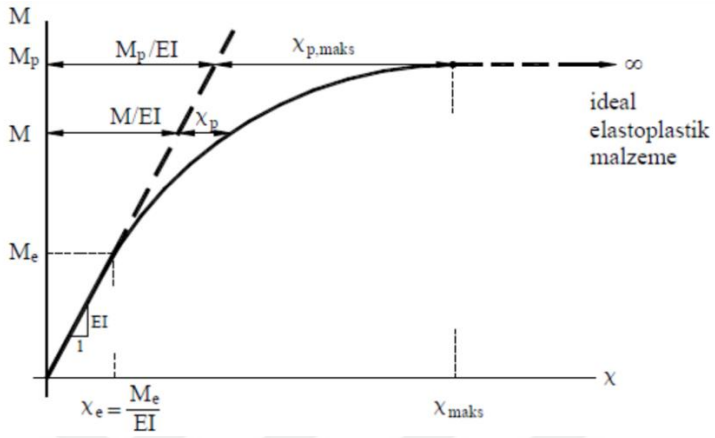
Şekil 2.8 Birleşim bölgesinde plastik mafsal davranışı [27]

Şekil 2.9'da betonarme elemana ait eğilme momenti- eğrilik grafiği verilmiştir. Şekil 2.9'de görüleceği gibi akma momentinden küçük değerlerde kesit doğrusal elastik davranmakta, bu değerden sonra doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler başlamaktadır. Hesaplarda işlem kolaylığı olması açısından plastik mafsal hipotezinde, moment-eğrilik ilişkisi iki doğrudan olmak üzere (2.5) ve (2.6)'da verilen denklemler ile idealleştirilmektedir (Şekil 2.10).

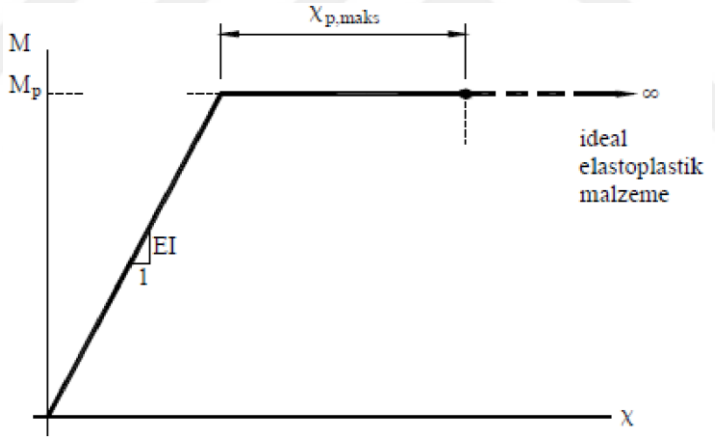
$$M \leq M_p \quad için \quad \chi = \frac{M}{EI} \tag{2.5}$$

$$M = M_p \quad için \quad \chi = \chi_{p,max} \tag{2.6}$$

Denklem (2.5) ve (2.6)'da verilen $\chi_{p,maks}$ maksimum eğriliği, χ eğriliği, M_p plastik momenti, M momenti, EI ise kesit rijitliğini ifade etmektedir.



Şekil 2.9 Eğilme momenti- eğrilik diyagramı [24]



Şekil 2.10 İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik diyagramı [24]

Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da verilen χ_e elastik eğriliği, M_e ise elastik momenti ifade etmektedir.

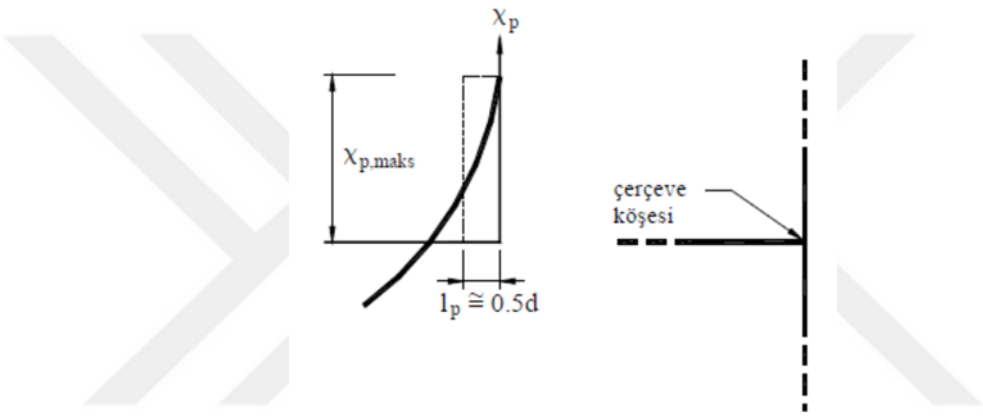
Dış yüklerin artması ile plastik dönme artarak dönme kapasitesine ulaştığında kesitte büyük plastik şekildeğiştirmeler meydana gelmekte ve kullanılamaz hale gelmektedir. Bu itibarla, yapı taşıyıcı sisteminde bir veya daha fazla kesitin plastik dönme sınırını aşmış olması, yapının tümden göçmesine sebep olabilmektedir.

Kesitte meydana gelecek dönme değeri, moment diyagramına ve moment-eğrilik bağıntısına bağlı olarak (2.7)'de verilmiştir. (2.7)'de verilen bağıntıda χ_p plastik eğriliği, l'_p plastik mafsal boyunu, φ_p ise dönme değerini göstermektedir.

$$maks\varphi_p = \int_{l'_p} \chi_p ds \qquad (\chi_p \rightarrow \chi_{p,max}) \tag{2.7}$$

Dönme değerinin yaklaşık olarak hesaplanması gerektiğinde;

$maks\varphi_p = l_p \chi_{p,max}$ denklemi kullanılır. Burada l_p plastik pafsal boyunu göstermektedir ve yaklaşık çalışma doğrultusundaki kesit yüksekliğinin yarısı alınabilir (Şekil 2.11) [26].



Şekil 2.11 Plastik mafsal boyu [24]

TBDY 2018 Bölüm 5'e göre plastik mafsalların kullanıldığı yığılı plastik davranış modeli esasları aşağıda özetlenmiştir.

- Çerçeve (çubuk) sonlu elemanlar olarak modellenen kolon, kiriş elemanlarında yığılı plastik davranış modeli kullanılabilmektedir. Perde elemanının eşdeğer çubuk olarak modellenmesi durumunda yine bu davranış modelinin kullanılması ile analiz süreleri önemli oranda kısalacaktır.
- Bu davranış modelinde plastik şekildeğiştirmelerin yaşandığı belirli uzunluktaki bölgeler boyunca düzgün yayıldığı kabul edilmektedir. Bu plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu kesit yüksekliğinin yarısı kabul edilir (Lp=0.5h)

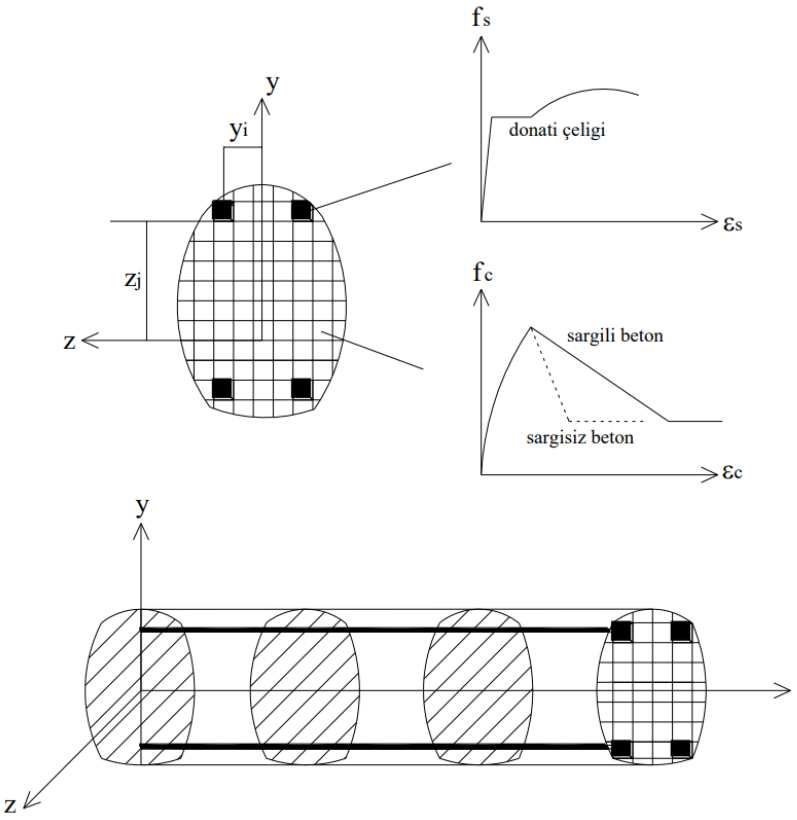
- Elemanın sadece eksenel yük altında şekildeğiştirme durumu söz konusuysa plastik mafsal boyu kesit boyu olarak kabul edilir.
- Bu davranış modelinde teorik olarak plastik mafsalların, plastikleşen bölgenin ortasına yerleştirmek gerekmektedir. Fakat uygulamada zor olması sebebi ile kolon ve kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir.
- Plastik mafsalların etkin akma momentleri hesaplanırken dikkate alınması gereken kurallar aşağıda verilmiştir.
    - Malzeme karakteristik dayanımları yerine beklenen (ortalama) dayanımları esas alınacaktır. Bu durumda beton için $1.3f_{ck}$, donatı çeliği için ise $1.2f_{yk}$ alınacaktır.
    - Beton modeli oluşturulurken birim şekildeğiştirme değerleri beton için 0.0035, donatı çeliği için ise 0.01 alınabilir.
    - Düşey yüklerden dolayı oluşacak eksenel kuvvet dikkate alınmalıdır.
- Gerek betonarme, gerekse çelik elemanlarda kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntıları oluşturulurken pekleşme ihmal edilebilir.
- Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi kullanılması durumunda çelik sistemler için elasto-plastik, betonarme sistemler için ise çevrimiçi rijitlik azalmasına izin verecek şekilde türetilmiş çevrim modelleri kullanılabilir.

2.2.3.2 Yayılı Plastik Davranış Modeli

Yayılı plastik davranışında, betonarme kesit sonlu elemanlara parçalanır. Kesitte bulunan her bir fiberin gerilme–şekildeğiştirme ilişkisi σ–ε olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.12). Bu davranış modeli ile her bir fiberdeki birim şekildeğiştirme değerinin bulunması mümkündür. Özellikle betonarme elemanlarda yayılı plastik davranış modelinin kullanılması ile gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilmektedir [28]. Perde elemanlarda bu davranış modelinin kullanılması durumunda sonuçların gerçeğe daha yakın olduğu genel kabul görülmektedir.

TBDY 2018 Bölüm 5'te verilen yayılı plastik davranışın modeli için dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda özetlenmiştir.

- Kolon, kiriş ve perde taşıyıcı sistem elemanlarında yayılı plastik davranış modeli kullanılabilir.
- Yayılı plastik davranış modeli, sonlu uzunluktaki uç bölgelerine veya elemanın tüm uzunluğu boyunca göz önüne alınabilir.
- Kesitte betonun yeteri kadar küçük hücrelere, donatı çeliğinin ise tekil model olarak alındığı ve her bir hücrede doğrusal olmayan davranışın dikkate alındığı kesit hücresi (lif) modeli, özellikle betonarme perdeler için kullanılabilir.
- Karmaşık kesitli perdelerin bulunması durumunda planda belli parçalara ayrılabilir. Bu her bir parçada sonlu eleman ağı oluşturulmalıdır.
- Malzeme karakteristik dayanımları yerine, beklenen (ortalama) dayanımları alınmalıdır. Böylelikle, beton için $1.3f_{ck}$, donatı çeliği için ise $1.2f_{yk}$ alınacaktır.
- Bu davranış modelinin kullanılması durumunda beton ve donatı çeliği için seçilecek çevrimsel modeller genel kabul görmüş olması gerekmektedir.



Şekil 2.12 Betonarme lif modeli [27]

3
TBDY 2018'E GÖRE YÜKSEK BİNALARIN TASARIM ESASLARI

3.1 Giriş

2018 yılında yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği yüksek binalar için özel tasarım ve değerlendirme kuralları içermektedir. Özellikle ülkemizin depremselliği ve yüksek binaların deprem bölgelerine yakın coğrafyalarda artış gösterdiği bilinmektedir. Bu sebeple yüksek binalarda gerek tasarım gerekse deprem performanslarının değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu bölümde TBDY 2018'de yüksek binalar için yönetmelikte yer alan Bölüm 13 kapsamlı olarak açıklanmıştır.

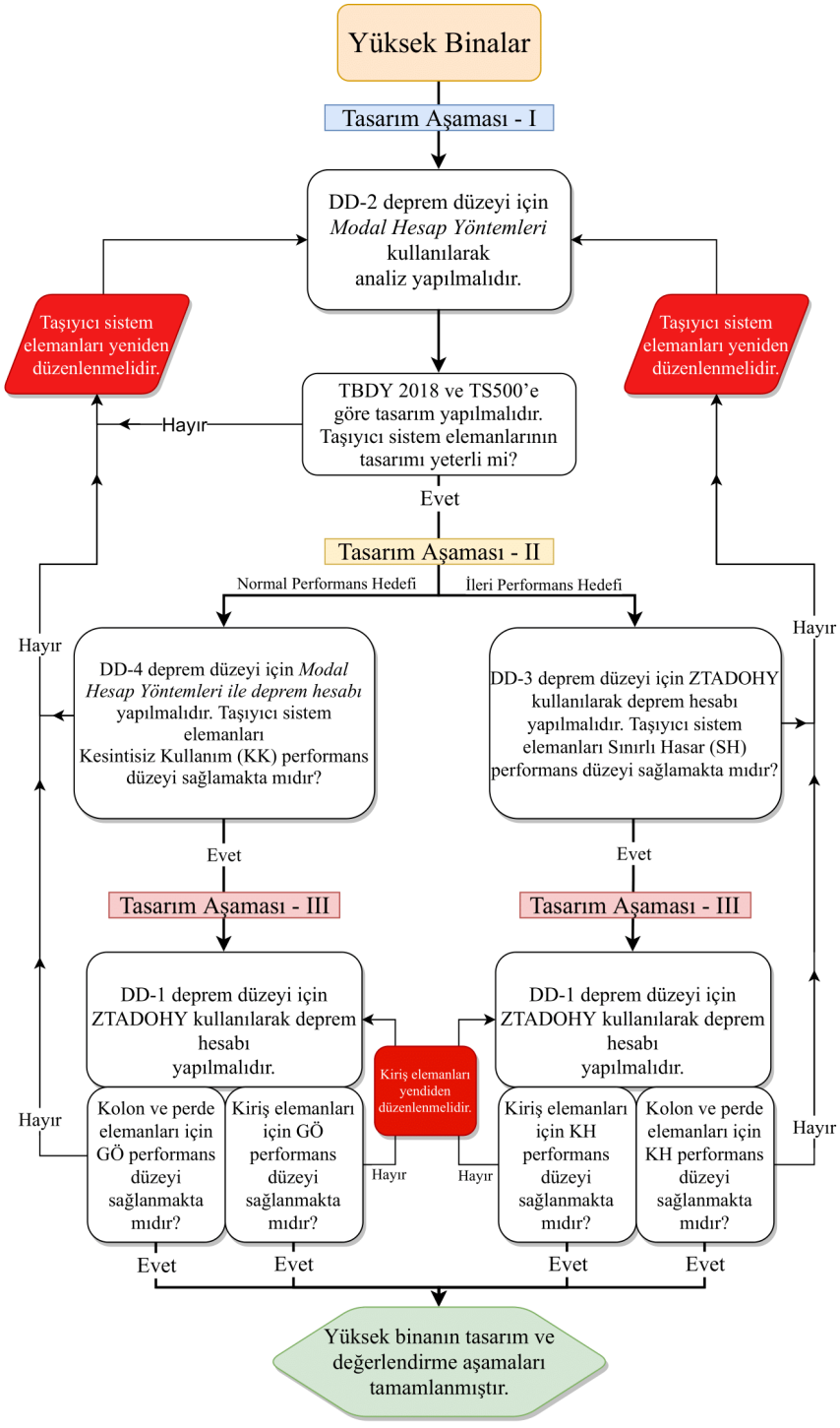
TBDY 2018'e göre yüksek binaların tasarımı ve değerlendirmesi üç aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada doğrusal yöntemler kullanılarak taşıyıcı sistem elemanları tasarlanmakta diğer iki aşamada doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak değerlendirme yapılmaktadır. Tasarım ve değerlendirme aşamalarını gösteren akış diyagramı Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.1'de verilmekte olan tasarım aşamaları bu kısımda aktarılmıştır.

TBDY 2018'e göre Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) 1 olan yapılar yüksek bina olarak sayılmaktadır. Yönetmeliğe göre bir yapının yüksek yapı olarak kabul edilebilmesi için Deprem Tasarım Sınıflarına (DTS) göre yükseklik sınırları verilmiştir. Bu sınırlar;

a) DTS=1, 1a, 2, 2a için yüksekliği $H_N > 70$ m olan yapılar
b) DTS=3, 3a için yüksekliği $H_N > 91$ m olan yapılar
c) DTS=4, 4a için yüksekliği $H_N > 105$ m olan yapılar

Tasarım öncesinde ilk olarak binanın kullanım amacı belirlenmelidir. Tablo 3.1'de binalarım kullanım sınıfı verilmektedir. Bu Tablo'da görüleceği gibi bina kullanım sınıfına bağlı olarak, bina önem katsayıları yer almaktadır. Bu katsayı kullanılarak

önemli binaların daha büyük kuvvetlere göre tasarımı yapılmakta ve daha güvenilir tarafta kalınmaktadır.



Şekil 3.1 Yüksek binaların tasarımı için akış diyagramı

Tablo 3.1 Bina kullanım sınıfı – bina önem katsayıları

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

Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)'nın belirlenmesi Tablo 3.2'ye göre yapılacaktır. DTS; BKS ve Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})'na göre belirlenmektedir.

Tablo 3.2 Deprem tasarım sınıfları

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

Tablo 3.3 BYS ve DTS için yükseklik aralıkları

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

Tablo 3.3'ten görüleceği gibi binaların yükseklik sınıfları deprem tasarım sınıflarına bağlı olarak değişmektedir.

3.2 Deprem Etkisinin Tanımlanması

3.2.1 Deprem Düzeyleri

TBDY 2018'e göre dört farklı deprem yer hareketi düzeyi belirlenmiştir.

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

DD-1, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 olan deprem olarak tanımlanır. Bu deprem yer hareketi düzeyinde tekerrür periyodu 2475 yıl olmaktadır. Bu deprem her hareketi, yönetmelikte yer alan en büyük deprem yer hareketi düzeyidir. Yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

DD-2, 50 yılda aşılma olasılığının %10 olan deprem olarak tanımlamaktadır. Bu deprem düzeyinde tekerrür periyodu 475 yıl olmaktadır. Bu deprem yer hareketi aynı zamanda tasarım deprem yer hareketi olarak adlandırılmaktadır. Yeni yapılacak tüm yapıların tasarımında kullanılan deprem yer hareketi düzeyidir.

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

DD-3, 50 yılda aşıma olasılığının %50 olan deprem olarak tanımlanır. Bu deprem düzeyinin tekerrür periyodu 72 olup yapının ömrü boyunca karşılaşma olasılığı yüksek deprem yer hareketi düzeyi olarak tanımlanmaktadır.

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)

DD-4, 50 yılda aşılma olasılığının %68 olan deprem düzeyi olarak tanımlanır. Bu deprem düzeyinin tekerrür periyodu 43 yıl olup çok sık deprem yer hareketini tanımlamaktadır. Bu deprem yer hareketi aynı zamanda servis deprem yer hareketi olarak adlandırılır.

3.2.2 Deprem Yer Hareketi Spektrumlarının Tanımlanması

TBDY 2018, %5 sönüm oranı için belirli bir deprem yer hareketi düzeyi dikkate alınarak, harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı deprem yer hareketi spektrumu tanmlamaktadır. Spektrumun özel olarak tanımlanması gerekli olduğu durumlarda sahaya özel deprem tehlikesi analizleri yapılarak tanımlamakta mümkündür.

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında 4 deprem yer hareketi düzeyi için harita spektral ivme katsayıları tanımlanmıştır. Harita spektral ivme katsayıları referans zemin koşularına göre belirlenmektedir. Tanımlanan harita spektral ivme değerlerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz harita spektral ivme katsayıları elde edilmektedir.

Harita spektral ivme katsayıları S_S ve S_1 (3.1) ve (3.2) bağıntıları ile tasarım spektral ivme kayıtlarına dönüştürülür. Burada $S_{S,}$ kısa periyod için harita spektral ivme katsayısını, S_1 ise 1.0 saniye periyod için harita spektral ivme katsayısına karşılık gelmektedir.

$$S_{DS} = S_S F_S \tag{3.1}$$

$$S_{D1} = S_{S1} F_1 \tag{3.2}$$

(3.1) ve (3.2)'de verilen denklemlerde F_S *ve* F_1 yerel zemin etki katsayılarını belirtmektedir. Bu katsayılar zemin koşulları ve harita spektral ivme katsayıları dikkate alınarak Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'te tanımlanır.

Tablo 3.4 Kısa periyot için F_S katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa Periyot için F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
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	Sahaya özel zemin analizinden elde edilecektir.					

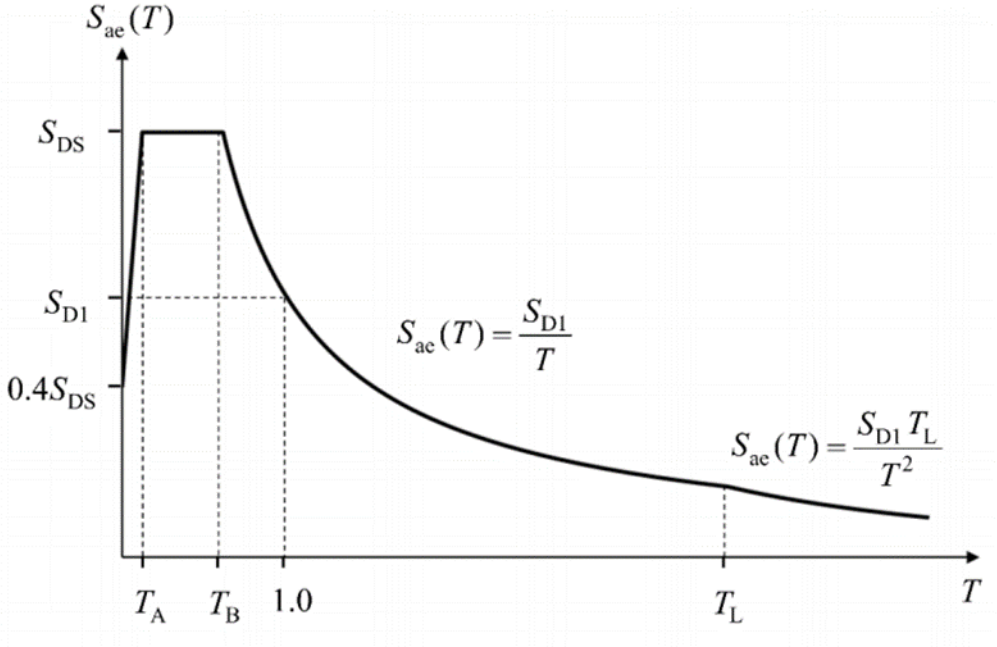
Tablo 3.5 1.0 saniye periyot için F_S katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 Saniye Periyot için F_S					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin analizinden elde edilecektir.					

Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yatay elastik tasarım ivme spektrumu, Denklem (3.3) ile tanımlanır.

$$
\begin{aligned}
S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_A}\right) S_{DS} && (0 \leq T \leq T_A) \\
S_{ae}(T) &= S_{DS} && (T_A \leq T \leq T_B) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} && (T_B \leq T \leq T_L) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} && (T_L \leq T)
\end{aligned}
\tag{3.3}
$$

(3.3)'te verilen bağıntılar kullanılarak Şekil 3.2'de yatay elastik tasarım ivme spektrumu verilmektedir.



Şekil 3.2 Yatay elastik tasarım ivme spektrumu diyagramı

Yatay spektrumun köşe periyotları T_A *ve* T_B, S_{DS}'in S_{D1}'e oranı şeklinde (3.4) denklemi ile tanımlanır.

$$T_A = 0.2\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_L = 6\ sn \tag{3.4}$$

DTS=1, 1a, 2, 2a olan yapılarda aşağıdaki verilen koşulların olması durumunda deprem etkisi tanımlanırken düşey elastik deprem spektrumu kullanılması zorunludur.

a) Açıklıkları 20 m ve üstü kirişlere sahip yapılar
b) Açıklıkları 5 m ve üstü konsol içeren yapılar
c) Kolonların kirişlere oturması durumunda
d) Kolonları eğimli olan yapılar

Yukarıda verilen şartları sağlamayan binalarda düşey elastik deprem spektrumu kullanılması zorunlu değildir. Fakat düşey deprem etkisi (3.5)'te verilen denklem ile dikkate alınmalıdır.

$$E_d^{(Z)} = \left(\frac{2}{3}\right) S_{DS} G \tag{3.5}$$

3.2.3 Zaman Tanım Alanında Deprem Etkisinin Tanımlanması

Yapılacak olan analizlerin gerçek davranışa yakın sonuçlar vermesi açısından deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi gerekmektedir. TBDY 2018'de yer alan deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirmesi için verilen kurallar aşağıda özetlenmiştir.

- Deprem kayıtlarının seçilmesi sırasında, tasarım deprem yer hareketi ile uyumlu kayıtların seçilmesine dikkat edilecektir. Seçilen kayıtları, yapının faya olan uzaklığı, zemin koşulları ve fay kaynak mekanizması dikkate alınarak seçilecektir. Bölgede daha önce yaşanmış deprem kayıtlarının bulunması durumunda bu kayıtlara öncelik verilecektir.
- Yukarıda verilen koşullara uygun deprem tanımlanmasının güç olması durumunda zaman tanım alanında benzeştirilmiş yer hareketi kayıtları kullanılabilir. Yapay olarak üretilen deprem yer hareketleri oluşturulurken kaynak mekanizması, yapının zemin koşulları dalga dağılımına dikkat edilecektir. Yapay olarak üretilen deprem kayıtları için kullanılan parametrelerin, bölgede yaşanmış gerçek deprem parametreleri ile uyumlu olduğu gösterilmelidir.
- Bir veya iki boyutlu hesap için yani depremin sadece yatay kayıtlarının kullanılması durumunda seçilecek kayıt sayısı en az on bir olacaktır.
- Üç boyutlu hesap yani depremin yatay bileşenlerine ile düşey bileşenlerinin de hesaba katılarak işlem yapılması durumunda en az on bir deprem kaydı takımı seçilmelidir.
- Yönetmelikte deprem kayıtlarının ölçeklendirmesi iki farklı yöntem için kurallar verilmiştir. Bunlar basit ölçeklendirme ve spektral uyuşum sağlayacak şekilde ölçeklendirme yöntemidir. Ölçeklendirme yöntemi için kurallar aşağıda verilmiştir.
    - Bir veya iki boyutlu hesap yapılması durumunda tüm kayıtların 0.2Tp ve 1.5Tp arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunda aynı periyot

aralığındaki genliklerden daha küçük olamayacak şekilde ölçeklendirme işlemi yapılacaktır.

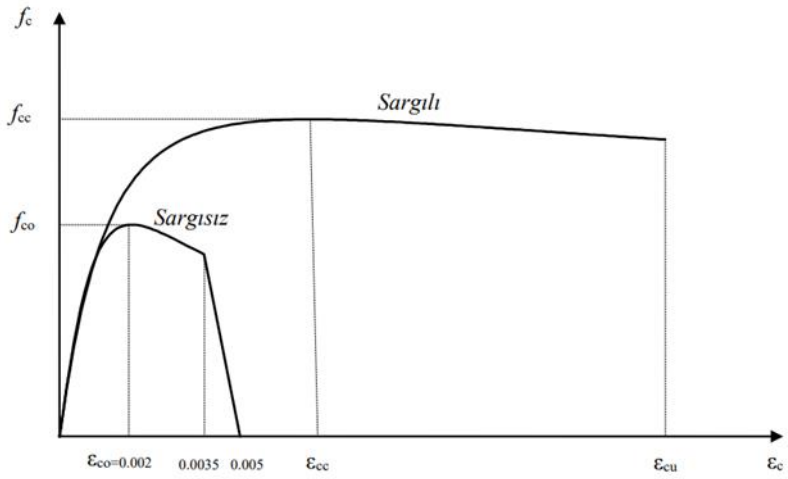
- Üç boyutlu hesap yapılması durumunda seçilen deprem kayıtlarının yatay bileşenine ait spektrumlarının kareleri toplamın karekökü alınacak ve elde edilen bileşke spektrum deprem yer hareketi için tanımlanan spektrum ile karşılaştırılacaktır. Bileşke spektrumun 0.2Tp ile 1.5Tp arasındaki genliklerinin deprem yer hareketi için tanımlanan spektrumun aynı genlikteki değerlerinin 1.3 katından daha az olmayacak şekilde ölçeklendirilecektir. Elde edilen ölçek katsayısı her iki yatay deprem kaydı için de kullanılacaktır.
- Deprem kayıtları aynı zamanda spektral uyuşum sağlayacak şekilde de ölçeklendirme işlemi yapılabilir. Bu yöntemin kullanılması durumunda spektrum ortalamaları, tasarım spektrumu ordinatlarından küçük olmamalıdır. Günümüzde deprem kayıtlarının spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi programlar tarafından yapılmaktadır. SEİSMOMATCH (2018), SAP2000 (2019) veya ETABS (2019) gibi uygulamalar aracılığı ile deprem kayıtlarının ölçeklendirme işlemi yapılabilmektedir.

3.3 Malzemenin Tanımlanması

Betonarme yapılarda kullanılan beton ve çelik malzeme modelleri yönetmelikte tanımlanmıştır.

3.3.1 Beton Modelleri

Yönetmelikte şekildeğiştirmeye göre tasarım ve değerlendirmede kullanılmak üzere beton modeli tanımlanmıştır. Beton modelleri, sargı etkisi de dikkate alınarak sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Sargılı-Sargısız beton gerilme-şekildeğiştirme diyagramı [26]

Şekil 3.3'den görüleceği gibi betonun sargı etkisinin artması ile sargılı betonun kopma şekil değiştirmesi artmaktadır. Sargısız beton modelinde ε_c=0.005'e ulaştığında f_c=0 olarak tanımlanır.

3.3.2 Donatı Çeliği Modelleri

Şekildeğiştirmeye göre tasarım ve değerlendirmede kullanılmak üzere bağıntı (3.6) kullanılarak donatı çeliği modeli tanımlanır. Oluşturulan modelin gerilme-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 3.4'te verilmiştir. Aynı zamanda Tablo 3.6'da çeliklere ait bilgiler verilmiştir.

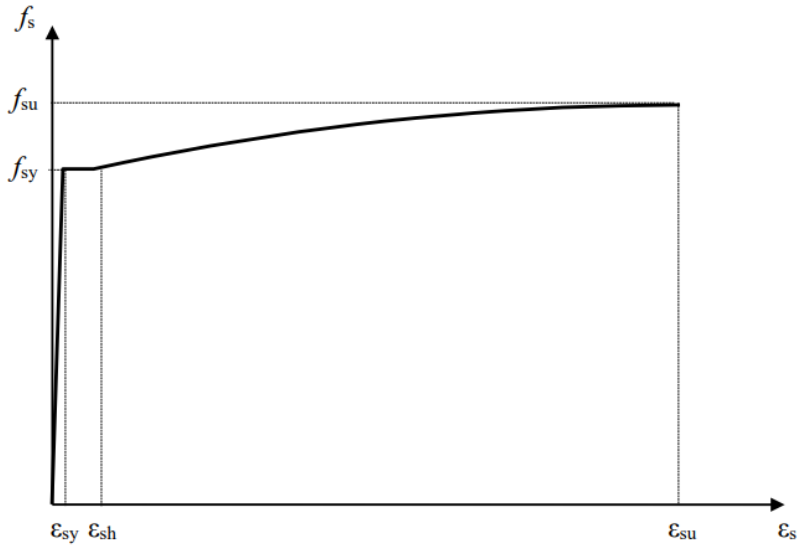
$$f_s = E_s \varepsilon_s \qquad (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy})$$

$$f_s = f_{sy} \qquad (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \tag{3.6}$$

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

Tablo 3.6 Donatı çeliği bilgileri

Sınıf	f_{sy} (MPa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} / f_{sy}
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 - 1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 - 1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15 - 1.35



Şekil 3.4 Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme diyagramı [26]

3.4 Performans Hedefleri ve Tasarım Aşamaları

Yönetmelikte yeni yapılacak veya mevcut binaların farklı deprem düzeylerine göre performans hedefleri verilmiştir. Bu bölümde yönetmelikte verilen performans hedefleri ve tasarım aşamaları irdelenmiştir.

3.4.1 Yüksek Binalar İçin Performans Hedefleri

Yüksek binaların tasarım ve değerlendirme aşamalarında farklı performans hedefleri istenmektedir. Yönetmelikte yer alan performans düzeyleri 4 başlık altında verilmektedir.

Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi;

Bu performans hedefinde, taşıyıcı sistem elemanlarında hasar gözlenmesi beklenmez veya hasarın çok az ihmal edilebilir düzeyde olması hedeflenir.

Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi;

Bu performans hedefinde, taşıyıcı sistem elemanlarında hasarın sınırlı düzeyde kalması istenir. Bu performans hedefinde doğrusal olmayan davranışa izin verilmekte fakat bu davranışın sınırlı kalması istenmektedir.

Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi;

Bu performans hedefinde, onarılması çok güç olmayan hasarlar olmasına izin verilmektedir. Bu performans düzeyinde hedef can güvenliğidir. Yapıların tasarımında istenilen performans hedefidir.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi;

Bu performans düzeyi göçme öncesi duruma karşılık gelmektedir. Yapının kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir. Taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlarındaki hasarlar, ileri hasar bölgesine geçmiş çoğunluklar onarılması mümkün olamayan hasarlar oluşmuştur.

Yüksek binaların belirli deprem düzeylerinde belirtilen performans hedefleri sağlanmalıdır. Yüksek binaların tasarım ve değerlendirmesi üç aşamada yapılmaktadır. İlk aşamada tasarım depremi altında yani DD-2 deprem düzeyinde kontrollü hasar performans düzeyi sağlanmalıdır. İkinci aşamada yapının önem katsayısına bakılarak performans düzeyine karar verilmektedir. Bu aşamada normal performans hedefi için DD-4 deprem düzeyi kullanılarak yapının kesintisiz kullanım performans düzeyini sağlaması istenmektedir. İleri performans hedefi için ise DD-3 deprem düzeyi kullanılarak sınırlı hasar performans düzeyine göre değerlendirme yapılmalıdır. İkinci aşama analizlerinde normal performans hedefi için doğrusal analiz yöntemleri kullanılabilirken ileri performans hedefi için sadece doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kullanılmasına izin verilmektedir. Son aşamada yapıların önem durumuna göre DD-1 deprem düzeyinde normal performans hedefi için çözmenin önlenmesi performans düzeyi, ileri performans düzeyi için ise kontrollü hasar performans hedefi istenmektedir. Bu hususlar Tablo 3.7'da verilmiştir [26].

Tablo 3.7 Yüksek Binalar için performans hedefleri ve analiz aşamaları [21]

Tasarım Aşaması	I. Aşama	II. Aşama		III. Aşama	
Tasarım Türü	Ön Tasarım	Değerlendirme		Değerlendirme	
		DTS=1, 2, 3, 3a, 4a	DTS=1a, 2a	DTS=1, 2, 3, 3a, 4a	DTS=1a, 2a
Deprem Düzeyi / Performans Hedefi	DD-2 / KH	DD-4 / KK	DD-3 / SH	DD-1 / GÖ	DD-1 / KH
Analiz Tipi	Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımı (DGT) ile modal hesap yöntemleri kullanılacak	Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımı (DGT) ile modal hesap yöntemleri kullanılacak. R/I=1 ve D=1 kabul edilecek.	Şekil değiştirmeye göre tasarım yaklaşımı (ŞDGT) ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılacak		

TBDY 2018'de verilen performans hedeflerine göre tasarım ve değerlendirme aşamaları aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Her aşamada modelleme ve analizde dikkate alınması gereken kurallar özetlenmiştir. Sunulan çalışmada yapının betonarme seçilmesinden dolayı yönetmelikte betonarme için verilen tasarım ve değerlendirme esasları incelenmiştir. Yönetmelikte verilen performans hedeflerine göre tasarım aşamaları Tablo 3.8'de verilmektedir.

Tablo 3.8 Yeni veya mevcut yüksek binalar için performans hedefleri

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

3.4.2 Tasarım Aşaması-I

Bu aşamada yapının ön tasarımı yapılacaktır. Yüksek binaların tasarımında ilk aşama olarak TBDY 2018'in tasarım depremi olarak kabul ettiği DD-2 deprem hareketi altında yönetmelikteki Bölüm-4 dikkate alınarak doğrusal hesap yöntemleri ile dayanıma göre tasarım esaslı binanın ön tasarımı yapılacaktır. Bu tasarım aşamasında yapının kontrollü hasar performans düzeyini sağlaması hedeflenir. Taşıyıcı sistem elemanlarının ön tasarımında betonarme binalar için TBDY 2018-Bölüm 7 esas alınacaktır.

3.4.2.1 Taşıyıcı Sistemin Modellenmesi

İlk aşamada sistemin ön tasarımı yapılması için yapı modeli doğrusal davranışa göre modellenecektir. Yapının doğrusal olarak modellenmesine rağmen doğrusal olmayan davranış ta bazı katsayı ve sınırlar ile hesaba katılmaktadır. Sistem her zaman üç boyutlu olarak modellenmeli ve sönüm oranı aksi belirtilmedikçe %5 alınacaktır. Doğrusal hesap yöntemleri için model oluşturulurken dikkat edilmesi gerekenler aşağıda özetlenmiştir:

- **Kolon ve kirişlerin modellenmesi**:
    - Tüm Kiriş ve Kolonlar çubuk sonlu eleman olarak modellenecektir. Kiriş ve kolon birleşim noktalarında 6 serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır. Döşemeler rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda rijit harekete karşı gelen serbestlik derecesi kaldırılacaktır.
    - Tüm kolon ve kirişlerde etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır. Depremsiz yük birleşimleri için bu etkin kesit rijitlikleri kullanılmayacaktır. Etkin kesit rijitlikleri Tablo 3.9'da tanımlanmıştır.
- **Perdelerin modellenmesi:**
    - Uzunluğunun kalınlığına oranı 6 veya daha fazla düşey taşıyıcı elemanlar perde olarak modellenecektir.
    - Perde elemanları, uç bölgeleri kolon, gövde bölgesinin ise kiriş olarak modellendiği kayma çerçevesi modeli kullanılmayacaktır.
    - Planda dikdörtgen, I, T, L, U veya C kesit şeklinde sahip betonarme perdeler kabuk sonlu elemanlar kullanılarak modelleneceklerdir.

- Perde elemanlar için kullanılacak etkin kesit rijitlikleri Tablo 3.9'da tanımlanmıştır.
- Perdenin plandaki uzunluğunun toplam perde yüksekliğine oranının 1/2'nin altında olması durumunda, modelleme kolaylığı açısından eşdeğer çubuk modeli kullanılabilir. Perde elemanlar için modellenecek eşdeğer çubuk modeli kesitin ağırlık merkezinden geçmelidir.
- Perdenin boşluklu perde olabilmesi için Denklem (3.7) koşulunu sağlaması gerekmektedir. Bu koşulun sağlanmaması durumunda her bir perde boşluksuz perde olarak adlandırılacaktır.

$$\Omega = \frac{cN_v}{M_{DEV}} \geq 1/3 \tag{3.7}$$

- **Döşemelerin modellenmesi:**
  - A2 (Döşeme süreksizliği) ve A3 (Planda çıkıntılar bulunması) türü düzensizliklerin bulunduğu veya döşemelerin rijit diyafram olarak çalışmasının öngörülmediği binalarda döşemeler iki boyutlu sonlu elemanlarla modellenecektir. Aynı zamanda betonarme kirişsiz döşemeli sistemlerde rijit diyafram kullanılmamalıdır.
  - Döşemelerin rijit diyafram olarak modellenebilmesi için A2 ve A3 düzensizliklerinin olmaması istenmektedir. Bu düzensizliklerin bulunması durumda yapı döşemeleri rijit diyafram olarak modellenmesi istenmemektedir.
  - Döşemeler için etkin kesit rijitlikleri Tablo 3.9'dan alınabilir.
- **Kütlelerin Modellenmesi**
  - Düğüm noktalarındaki tekil kütleler, (3.8)'de gösterildiği gibi tanımlanır.

$$w_j^{(S)} = w_{G,j}^{(S)} + n w_{Q,j}^{(S)} \quad ; \quad m_j^{(S)} = \frac{w_j^{(S)}}{g} \tag{3.8}$$

- Hareketli yük kütle katılım katsayısı (n) bina kullanım amacına göre Tablo 3.10'dan alınacaktır.
- Çatı katı ağırlığının hesabında kar yüklerinin %30'u gözönüne alınacaktır.
- Rijit diyafram kabulü söz konusu ise kat kütleleri kütle merkezine tanımlanır. Katlara etkiyen yüklerin hesabında, hareketli yük kütle katılım katsayısı kullanılmalıdır (Tablo 3.10).

Tablo 3.9 Etkin kesit rijitliği çarpanları

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanları	**Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı**	
Perde- Döşeme (Düzlem İçi)	**Eksenel**	**Kayma**
Perde	0.50	0.50
Bodrum perde	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Perde- Döşeme (Düzlem Dışı)	**Eğilme**	**Kesme**
Perde	0.25	1.00
Bodrum perde	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
Çubuk Eleman	**Eğilme**	**Kesme**
Bağ Kirişi	0.15	1.00
Çerçeve Kirişi	0.35	1.00
Çerçeve Kolonu	0.70	1.00
Perde(eşdeğer çubuk)	0.50	0.5

Tablo 3.10 Hareketli yük katılım katsayısı

Kullanım Amacı	***n***
Depo, antrepo, vb.	0.8
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.6
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.3

3.4.2.2 Deprem Yük Birleşimleri

Tasarıma esas iç kuvvetlerin hesaplanmasında Denklem (3.9) ve (3.10)'da verilen yük birleşimleri kullanılacaktır.

$$G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \tag{3.9}$$

$$0.9G + H + 0.2S + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \tag{3.10}$$

Burada S kar yüklemesini, $E_d^{(H)}$ yatay deprem etkisini, $E_d^{(Z)}$ düşey deprem etkisini, H yatay zemin itkisi göstermektedir.

Yatay deprem etkisi Denklem (3.11) ve (3.12) kullanılarak hesaplanacaktır;

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \tag{3.11}$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \tag{3.12}$$

- Deprem Yönetmeliği düşey deprem etkisini aşağıdaki şekilde dikkate alınmıştır.

  DTS=1, 1a, 2 ve 2a için;

  - Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalar,
  - Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsolları içeren binalar,
  - Kirişlere oturan kolonları içeren binalar,
  - Kolonları düşeye göre eğimli olan binalarda bu elemanlar için düşey deprem hesabı yapılacaktır.
  - Düşey deprem hesabında bu elemanlar için düşey elastik ivme spektrumu kullanılacaktır. Bu durum için tüm taşıyıcı sistem R/I=1 ve D=1 alınacaktır.

Belirtilen koşulların veya elemanların bulunmadığı binalarda düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)} = \left(\frac{2}{3}\right) S_{DS} G$ olarak alınacak ve tasarım deprem yük birleşimlerinde dikkate alınacaktır.

3.4.2.3 Deprem Hesabı

Tasarım Aşaması-I kapsamında yapılması gereken deprem hesap adımları aşağıda listelenmiştir:

- Deprem hesabına geçmeden önce yapım aşamalarını göz önüne alacak düşey yük hesabı ve rüzgâr hesabı ile betonarme yapılarda sünme hesabı yapılacaktır.
- Yüksek Bina Taşıyıcı sistemleri, süneklik düzeyi yüksek sistem olarak seçilecektir. Sadece DTS=4 olan yüksek binaların taşıyıcı sistemleri süneklik düzeyi karma sistemler olabilir. Hiçbir durumda süneklik düzeyi sınırlı sistemlere izin verilmez.
- R ve D katsayıları TBDY 2018 kullanılarak belirlenecektir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı belirlenirken aşağıdaki durumlar göz önüne alınacaktır.
    - Taşıyıcı sistemde tek bir perdenin veya çelik çaprazlı çerçevenin aldığı taban devrilme momenti M_{DEV} , o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momenti M_o'ın $1/3$'ünden fazla olmayacaktır.
    - Binanın her bir kenar aksında yer alan perde/perdelerin veya çelik çaprazlı çerçeve/çerçevelerin aldığı taban devrilme momenti M_{DEV} veya M_{DEV}'lerin toplamı, o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momenti M_o'ın $1/6$'sından az olmayacaktır.
    - Yukarıda verilen koşullardan herhangi birinin sağlanamaması durumunda R yerine $(4/5)R$ kullanılacaktır. Dayanım fazlalığı katsayısında değişiklik yapılmayacaktır.
- Boşluklu perdenin $\Omega \geq 1/3$ sağlaması durumunda perde tek bir perde olarak göz önüne alınacaktır.
- Tasarım Aşaması-I deprem hesapları DD-2 deprem yer hareketi altında Mod Birleştirme Yöntemi veya Zaman Tanım Alanında Mod Toplama Yöntemi ile yapılacaktır.

- Modal Hesap Yöntemleri kullanılarak elde edilen taban kesme kuvveti, yüksek binalar için verilen minimum taban kesme kuvvetine göre büyütülecektir. Büyütme işlemi Denklem (3.13) kullanılarak yapılacaktır.

$$V_{t,min} = 0.04\,\alpha_H\,m_t\,S_{DS}\,g \qquad ; \qquad \beta_{tE} = \frac{\gamma_E V_{t,min}}{V_t} \geq 1 \tag{3.13}$$

Burada;

$V_{t,min}$: Minimum taban kesme kuvveti

β_{tE} : Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı

m_t : Baza ve kulenin toplam kütlesi

S_{DS} : DD-2 için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı

g : Yer çekimi ivmesini

olmak üzere

$\alpha_H = 1.0$ $H_N \leq 105\ m$

$\alpha_H = 2.5 - 0.01H_N$ $105\ m < H_N \leq 155\ m$

$\alpha_H = 0.5$ $155\ m\ < H_N$

olarak dikkate alınacaktır.

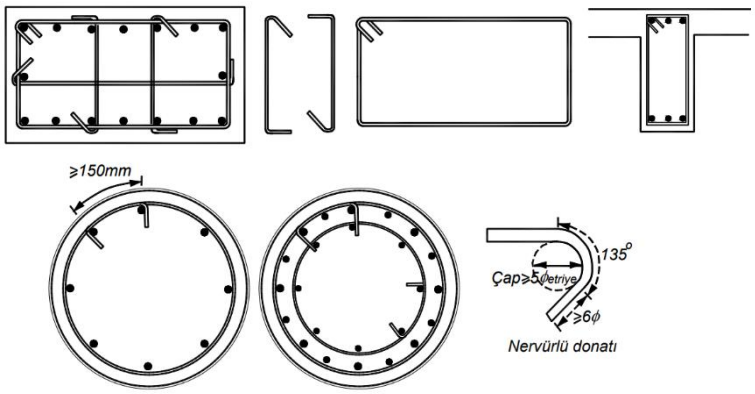
Bu aşamada kullanılacak hesap yöntemleri Mod Birleştirme Yöntemi veya Zaman Tanım Alanında Hesaba Dayalı Mod Toplama Yöntemi'dir. Modal hesap yöntemleri kullanılarak yapılacak analizlerde hesaba katılacak yeterli mod sayısı, TBDY 2018'e göre modal katılım oranının %95'inden daha az olmayacak şekilde belirlenecektir.

3.4.2.4 Taşıyıcı Sistemin Boyutlandırılması

Sunulan çalışma kapsamında betonarme yapıları kapsadığından verilen boyutlandırma ve tasarım kuralları sadece betonarme yapıları içermektedir. Tasarım Aşaması-I için deprem hesapları sonunda elde edilen maksimum kesit tesirlerine göre betonarme elemanlar boyutlandırılır ve donatı hesapları yapılır. Yüksek binalarda sadece süneklik düzeyi yüksek sistemlere izin verildiği için bu başlıkta sadece yüksek süneklik için koşullar ele alınmıştır.

Taşıyıcı sistem hesaplarında Tablo 3.9'da verilen etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır. Yönetmelik gereği C25 beton sınıfından daha düşük beton sınıfı kullanılmasına izin verilmemektedir. Kullanılacak beton sınıfı C25 ile C80 arasında olmalıdır. Daha yüksek bir beton sınıfı kullanılmanın zorunlu olduğu durumunda TS EN 206 kullanılarak basınç dayanımları tayin edilecektir. Yönetmelik kapsamında betonarme elemanlarda B420 ve B500C donatı çeliği kullanılacaktır. S420 donatı sınıfı kullanılması durumunda "çekme/akma dayanımı" oranı 1.35'ten küçük ve eşdeğer karbon oranının %0.55'i geçmemesi gerekmektedir. Bu koşulları sağlamayan S420 donatı çeliğinin kullanılmasına izin verilmemektedir.

Yüksek ve sınırlı süneklik düzeyine sahip betonarme sistemlerde, kolonlarda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde özel deprem etriyeleri kullanılmalıdır. Aynı zamanda bu bölgelerde kullanılacak çirozlarda özel deprem çirozu olmalıdır. Özel deprem etriyesi ve özel deprem çirozunun sağlaması gereken koşullar Şekil 3.5'te verilmektedir.



Şekil 3.5 Özel deprem etriye ve çirozu [26]

<u>Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar;</u>

- Kolonların dikdörtgen olması durumunda en küçük kesiti 30 cm, dairesel olası durumunda ise çapı minimum 35 cm olmalıdır.
- G+Q+E deprem etkisi altında kolonlarda oluşacak maksimum eksenel kuvvet dikkate alınarak $A_c \geq N_{dm}/(0.40f_{ck})$ koşulu sağlanacaktır.
- Kolonların donatı oranı %1 ile %4 arasında olacaktır. Minimum ϕ14 kullanılacaktır. Bindirme bölgelerinde donatı oranı maksimum %6 olacaktır.

- Kolon sarılma bölgelerinde minimum ϕ8 kullanılmalıdır. Sarılma bölgelerinde, etriye ve çiroz aralığı en küçük kesit boyutunun 1/3'ünden, 15 cm'den daha büyük olacaktır. Fakat enine donatı aralarındaki mesafenin 50mm'den ve boyuna donatı çapının 6 katından daha küçük olmayacaktır.
- Etriyeli dikdörtgen kolonlarda $N_d > 0.20 A_c f_{ck}$ (basınç) olması durumunda sarılma bölgelerinde minimum etriye donatı alanı (3.13) ve (3.14) ile hesaplanır. Denklemlerde elverişsiz olanı sağlayacak şekilde donatılandırma yapılmalıdır.

$$A_{sh} \geq 0.30\ s\ b_k \left[\left(\frac{A_c}{A_{ck}}\right) - 1\right] \left(\frac{f_{ck}}{f_{ywk}}\right) \tag{3.14}$$

$$A_{sh} \geq 0.075\ s\ b_k \left(\frac{f_{ck}}{f_{ywk}}\right. \tag{3.15}$$

- $N_d \leq 0.20 A_c f_{ck}$ olması durumunda ise kolon sarılma bölgelerinde (3.13) ve (3.14)'te verilen denklemlerden elde edilen elverişsiz enine donatı alanının minimum 2/3'ü olacak şekilde enine donatısı seçilmelidir.
- Kolon orta bölgelerinde ϕ8'den daha küçük enine donatı kullanılmayacaktır. Enine donatı aralıkları, en küçük enkesit boyunun yarısından ve 20 cm'den az fazla olmayacaktır.
- Çerçeve veya perde ve çerçeve sistemlerin birlikte bulunduğu sistemlerde, tüm kolon-kiriş birleşim noktalarında kolonların taşıma günü momentlerinin toplamı, kirişlerin taşıma gücü momentlerinin toplamından %20 daha büyük olması sağlanmalıdır.

$$(M_{ra} + M_{rü}) \geq 1.20 (M_{ri} + M_{rj}) \tag{3.16}$$

- Düğüm noktasındaki kolonların $N_d \leq 0.10 A_c f_{ck}$ olması, tek katlı binalarda veya üst katta kolonların devam etmemesi durumunda birleşim bölgesinde Denklem (3.16) kullanılması gerekli değildir.
- Kolon enine donatı hesabında dikkate alınacak kesme kuvveti V_e, (3.17) ile hesaplanacaktır.

$$V_e = (M_a + M_{\ddot{u}})/l_n \quad (3.17)$$

- Kolonların kirişlerden daha güçlü olma koşulu sağlanamadığı veya daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda M_a ve $M_{\ddot{u}}$'nün hesabı için (3.18) kullanılabilir.

$$M_{pa} \cong 1.4M_{ra} \quad ; \quad M_{p\ddot{u}} \cong 1.4M_{r\ddot{u}} \quad (3.18)$$

- (3.17) ile hesaplanan kesme kuvveti, V_e, yük katsayılarıyla çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti, V_d'den daha küçük olmayacak ve (3.19) ve (3.20)'de verilen koşulları sağlayacaktır. (3.20)'nin sağlanamaması durumunda kesit boyutları büyütülmelidir.

$$V_e \leq V_r \quad (3.19)$$

$$V_e \leq 0.85A_w\sqrt{f_{ck}} \quad (3.20)$$

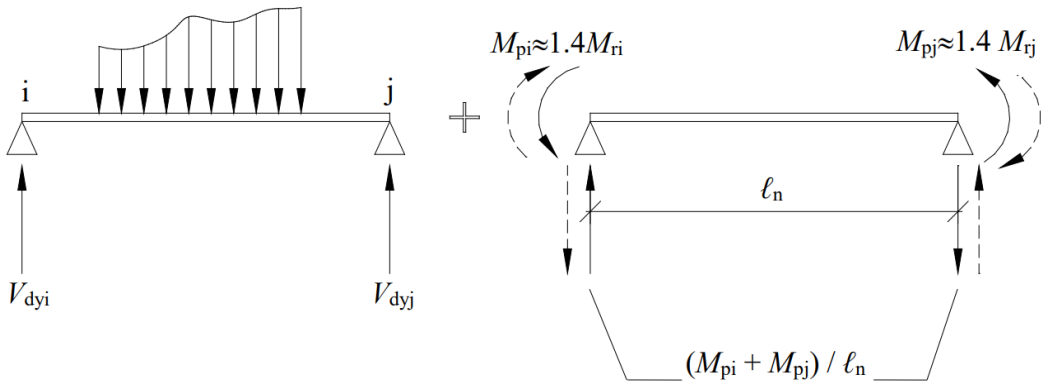
<u>Süneklik Düzeyi Yüksek Kirişler;</u>

- Betonarme kirişlerin gövde genişliği minimum 250 mm olmalıdır. Kiriş gövde genişliği, kiriş yüksekliği ile birleştiği kolonun veya perdenin kirişe dik genişliğinin toplamından büyük olamaz.
- Kiriş yüksekliği, döşeme kalınlığının 3 katından ve 300 mm az olamaz. Döşeme kalınlığının 3 katından az olan veya 300 mm'den az alan kirişler döşeme elemanları ile birlikte modellenir, kiriş gibi donatılandırılır ama çerçeve kirişi olarak kabul edilmez. Ayrıca kiriş yüksekliği, gövde genişliğinin 3.5 katını geçemez.
- Kiriş yüksekliği serbest açıklığın ¼'ünden fazla olması durumunda kiriş gövdesinin her iki yüzüne gövde donatısı konulacaktır. Bu durumda konulacak olan gövde donatısı alanı, kirişin mesnet bölgelerindeki alt ve üst donatı toplamlarından büyük olanının %30'undan az olmamalıdır. Gövde donatısının çapı 12 mm'den az olmamalı ayrıca donatı aralığı ise 300 mm'den fazla olmamalıdır. Konulacak çirozlar ise kirişin yüksekliği boyunca 600

mm'den fazla aralıklar ile olmamalıdır. Kirişin ekseni boyunca ise 400 mm'yi geçmemelidir.

- Kirişlerin $N_d \leq 0.10 A_c f_{ck}$ koşulunu sağlaması gerekmektedir. Aksi takdirde bu elemanlar kolon olarak tasarımı yapılmalıdır.
- Kirişlerin mesnet bölgesinde çekme donatısı minimum $\rho \geq 0.8\, f_{ctd}/f_{yd}$ koşulunu sağlaması gerekmektedir. Boyuna donatıların çapı minimum 12 mm olmalıdır. Ayrıca kiriş alt ve üstünde minimum 2 adet donatı kiriş boyunca devam etmelidir. (Montaj donatısı)
- DTS = 1, 1a veya DTS = 2, 2a olan sistemlerde, mesnet bölgelerinde yer alan üst donatının minimum %50'si kadar mesnet alt donatısı olarak da yerleştirilmelidir. Diğer DTS sistemlerde bu oran %30 olabilir.
- Açıklık bölgelerinde maksimum donatı oranı TS500'de verilen değerleri sağlamalıdır. Ayrıca bu gölgelerde maksimum donatı %2 olmalıdır.
- Kirişlerde sarılma gölgesinde minimum etriye çapı 8 mm olmalıdır. İlk etriye kolon yüzünden en çok 50 mm uzaklığa konulmalıdır.
- Kirişlerde enine donatı hesabında dikkate alınması gerek kesme kuvveti V_e, depremin tüm durumları için (3.21) ile hesaplanacak ve en elverişsiz olanı seçilecektir (Şekil 3.6).

$$V_e = V_{dy} \pm \left(M_{pi} + M_{pj}\right)/l_n \tag{3.21}$$



Şekil 3.6 Kirişlerde tasarım kesme kuvveti [26]

- Kiriş uçlarındaki moment kapasiteleri kesin hesap yapılmadıkça $M_{pi} \cong 1.4 M_{ri}$ ve $M_{pj} \cong 1.4 M_{rj}$ alınabilir. Düşey yükler de dikkate alınarak

hesaplanan ve D katsayısı ile arttırılmış kesme kuvveti toplamı, V_e ile kıyaslanmalı ve V_e'den küçük olduğu durumda bu kesme kuvveti kullanılmalıdır.

- Yukarıda verilen esaslara göre hesaplanan V_e, (3.22) ve (3.23)'ü sağlamalıdır. (3.23)'ün sağlanamaması durumunda kesit boyutları arttırılmalıdır.

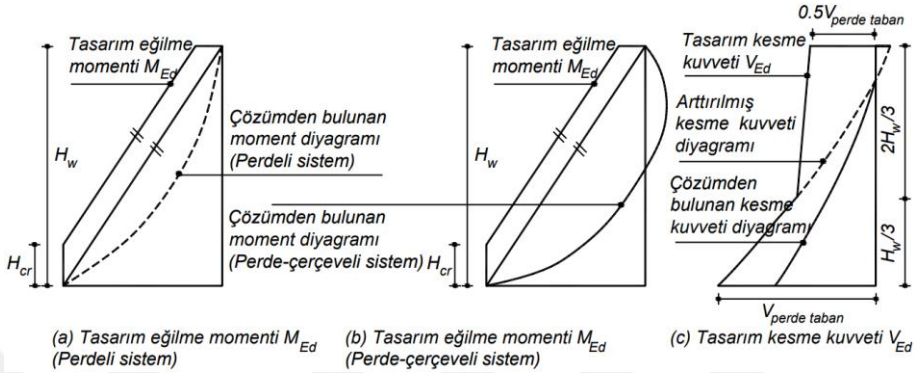
$$V_e \leq V_r \tag{3.22}$$

$$V_e \leq 0.85 b_w d \sqrt{f_{ck}} \tag{3.23}$$

Süneklik Düzeyi Yüksek Perdeler;

- Net perde enkesit alanı, deprem ve düşey yüklerin ortak etkisi şekilden tanımlanmış kombinasyondan gelen eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğünü dikkate alarak, $A_c \geq N_{dm}/(0.35 f_{ck})$ şartını sağlamalıdır.
- Düşey taşıyıcı elemanın perde olabilmesi için, uzun kenarın kalınlığa oranı en az altı olmalıdır.
- Bazı özel durumların haricinde, perdelerin gövde kalınlıkları, kat yüksekliklerinin 1/16'sından ve 250 mm'den kalın olmalıdır.
- H_w / $l_w > 2.0$ olması durumunda betonarme perde elemanlarda uç bölge oluşturulacaktır. Burada H_w, zemin kattan itibaren toplam perde yüksekliğini göstermektedir. H_w, temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20 azaldığı veya kesit genişliğinin yarıdan daha fazla değiştiği noktaya kadar olan yüksekliği ifade etmektedir.
- Perdenin plandaki uzunluğunun %20'den daha fazla küçüldüğü seviyeden veya temel üstünden itibaren kritik perde yüksekliği, $2l_w \geq H_{cr} \geq \max [\, l_w ; H_w / 6]$ denkleminden elde edilen en elverişsizi olacak şekilde belirlenir.
- Perde uç bölgelerinin ve gövde donatıları için uyulması gereken esaslar Şekil 3.6'da verilmiştir.
- H_w / $l_w > 2.0$ olan perdelerde tasarıma için eğilme momentleri, kritik perde yüksekliği kadar perde alt tabanında analiz sonucu hesaplanan eğilme momenti değeri alınacaktır. Kritik perde yüksekliğinden itibaren perde

tabanından perde tepesine hesaplanan momentleri birleştiren doğruya paralel olan doğrusal moment diyagramı uygulanacaktır. $H_w \,/\, l_w \leq 2.0$ olan perdelerde ise deprem hesaplarından elde edilen eğilme momentleri, tasarım eğilme momentine eşit kabul edilecektir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Perde tasarım eğilme momentleri [26]

- $H_w \,/\, l_w > 2.0$ koşulunu sağlayan perdelerin enine donatıların hesabı için kullanılacak tasarım kesme kuvveti V_e, (3.24)'te verilen denklem ile hesaplanır.

$$V_e = \beta_v \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} V_d \qquad (3.24)$$

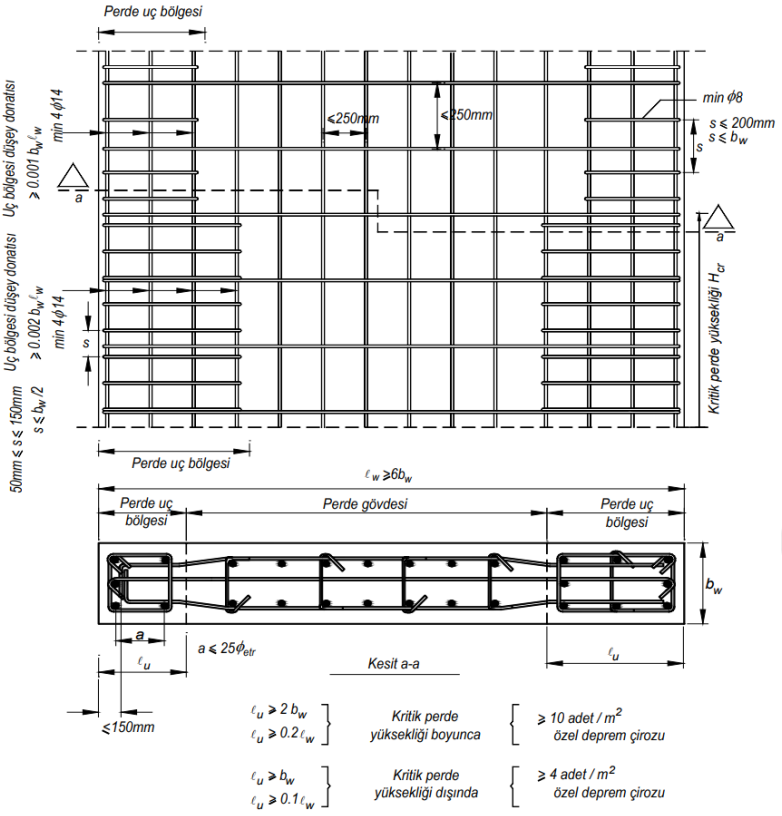
- (3.24)'te deprem yükünün tamamının betonarme perdeler ile karşılanması durumunda $\beta_v = 1$ alınacaktır. Diğer durumlarda $\beta_v = 1.5$ alınacaktır. Kesin hesap yapılmadığı durumda $(M_p)_t \leq 1.25(M_r)_t$ olarak kabul edilebilir. Düşey yükler dikkate alınarak depremden hesaplanan kesme kuvvetinin $1.2D$ *(boşluksuz perdeler)* veya $1.4D$ *(boşluklu perdeler)* katı olarak tanımlanan kesme kuvvetini V_e ile kıyaslanmalı ve küçük olması halinde V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılmalıdır.
- Perdelerde kesme dayanımı $V_r = A_{ch}(0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd})$ denklemi ile hesaplanır.
- Tasarım kesme kuvvetinin aşağıda verilen denklemleri sağlaması gerekmektedir. Bu denklemlerin sağlanamaması durumunda donatı veya

kesit boyutları arttırılmalıdır. TBDY 2018'e göre örnek donatı yerleşimi Şekil 3.8'de verilmektedir.

$$V_e \leq V_r \tag{3.25}$$

$$V_e \leq 0.85 A_{ch} \sqrt{f_{ck}} \quad \text{(Boşluksuz perdeler)} \tag{3.26}$$

$$V_e \leq 0.65 A_{ch} \sqrt{f_{ck}} \quad \text{(Bağ kirişli perdeler)} \tag{3.27}$$



Şekil 3.8 Perde gövde ve uç donatıları [26]

3.4.3 Tasarım Aşaması-II

Bu aşama yapının ön tasarımı yapılmış bina için değerlendirme aşamasıdır. Yapı normal performans hedefi için DD-4 depremi altında Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı esas alınarak, kesintisiz kullanım performans sınıfını sağlaması hedeflenir. İleri performans hedefi istenmesi durumunda DD-3 depremi kullanılarak Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) esasları dikkate alınarak sınırlı hasar performans düzeyi sağlanmalıdır [26]. Sunulan

çalışmada dikkate alınan yapı normal performans hedefi için değerlendirildiğinden bu başlık altında, tasarım aşaması-II için DGT yaklaşımı kullanılarak açıklamalar yapılmıştır. Tasarım aşaması-III başlığı altında ŞGDT yaklaşımı akratılmıştır.

Bu tasarım aşamasında DGT esas alındığı için Tasarım Aşaması-I başlığı altında verilen modelleme ve deprem hesabı esasları bu aşamada için de genel itibariyle geçerli olmaktadır. Ön tasarım aşamasına göre farklı olan esaslar aşağıda açıklanmıştır.

3.4.3.1 Taşıyıcı Sistemin Modellenmesi

Taşıyıcı sistem modellemesinde, Tasarım aşaması-I'de verilen esaslar geçerli olmaktadır. Fakat bazı kurallarda farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar aşağıda özetlenmiştir.

- 3.4.2.2'te tanımlanan yük birleşimleri kullanılacaktır.
- DGT için Tablo 3.11'de verilen etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılacaktır.

Tablo 3.11 II. Aşama için etkin kesit jijitliği çarpanları

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanları	**Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı**	
Perde- Döşeme (Düzlem İçi)	**Eksenel**	**Kayma**
Perde	0.75	1.00
Bodrum perde	1.00	1.00
Döşeme	0.50	0.80
Perde- Döşeme (Düzlem Dışı)	**Eğilme**	**Kesme**
Perde	1.00	1.00
Bodrum perde	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 dışmerkezlik etkisi ihmal edilecektir.
- Taşıyıcı sistemin doğrusal veya doğrusal davranışa çok yakın olması beklenir. Bu sebeple sönüm oranı %2.5 kabul edilir.

3.4.3.2 Deprem Hesabı

Tasarım Aşaması-II kapsamında yapılması gereken deprem hesapları aşağıda özetlenmiştir.

- DGT kullanıldığı için doğrusal hesap yöntemleri kullanılarak deprem hesabı yapılmalıdır. Modal hesap yöntemleri kullanılarak doğrusal hesap yapılacaktır.
- Doğrusal deprem hesabında iç kuvvetler tayin edilirken $R / I = 1$ ve $D = 1$ alınacaktır.
- Tasarım Aşaması-I'de yer alan minimum taban kesme kuvveti kuralı kullanılmayacaktır.
- Deprem hesaplarında %2.5 sönüm kullanılması gerekli olduğundan tasarım spektrumu bu sönüm oranına göre büyütülmelidir. DD-4 depremi için tanımlanan yatay elastik tasarım spektral ivmesi değerleri 1.25 katsayısı ile artırılarak %2.5 sönüm oranı için yatay elastik tasarım spektral ivmesi değerlerine dönüştürülecektir.
- Tam Karesel Mod Birleştirme Yöntemi kullanılması durumunda çapraz korelasyon katsayılarının hesaplarında sönüm oranı %2.5 alınmalıdır.

3.4.3.3 Performans Değerlendirmesi

Tasarım Aşaması-II deprem hesabı sonucunda kesitlerin iç kuvvetleri elde edilir. Bu kuvvetler, değerlendirmede kullanılacak iç kuvvetler olarak tanımlanır. Betonarme elemanların değerlendirmesinde aşağıda verilen kurallar uygulanmaktadır.

- Aşağıda belirtilen sünek davranışa sahip elemanlarda etki(talep)/kapasite oranı (E/K) sınır değer olan 1.5'i aşmamalıdır.
    - Perdelerin taban kesitlerinde veya belli bir yüksekliğe kadar olan bölgede P-M-M etkisinde akmaya sahip betonarme perdeler,

- Kiriş uçlarında eğilme etkisinde akma, kolon taban kesitlerinde P-M-M etkisinde akmaya sahip kiriş ve kolon elemanlar, sünek davranış gösteren elemanlar,

olarak adlandırılır.

- Aşağıda tanımlanan sünek davranışın söz konusu olmadığı elemanlarda etki(talep)/kapasite oranı (E/K) sınır değer olan 0.7'yi aşmamalıdır.
  - Perdelerde, bodrum perdelerinde, kolonlarda ve kirişlerdeki kesme kuvveti,
  - Sadece eksenel yüke maruz kalan kolonlarda,
  - Zımbalama donatısı içermeyen döşeme veya radye temellerdeki zımbalama etkisi,
  - Temellerde kesme kuvvetleri,
  - Döşemelerden veya transfer katlardaki döşemelerden düşey taşıyıcı elemanlara aktarılan kuvvetler,

sünek davranışa sahip olmayan iç kuvvetlerdir.

Belirtildiği üzere, gevrek göçmeye sebep olabilecek özellikte kesme kuvvetleri için E/K oranının 0.7'yi aşmaması istenmektedir.

Bu itibarla elemanların değerlendirilmesi yanı sıra kolon, kirişler ve perdelerde eğilme kesit tesirleri değerlendirilirken sünek davranışa göre değerlendirme yapılmalıdır. Bununla birlikte elamanlardaki kesme talebinin, kesme kapasitesine oranını değerlendirilirken sünek davranış göstermeyen eleman olarak ele alınması gerekmektedir.

Bu aşamada elemanlarda belirtilen koşulları sağlamayan eleman bulunması durumunda gerekli düzenleme yapılarak ve tasarım aşamaları tekrarlanmalıdır. Bu aşamada DGT yaklaşımı kullanılarak yapılan hesaplar doğrultusunda verilen koşulları sağlaması, elemanların kesintisiz kullanım performans hedefini karşılaması anlamını taşımaktadır.

3.4.4 Tasarım Aşaması-III

Son aşamada ilk iki aşaması tamamlanmış yapı ŞGDT yaklaşımı ile doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak değerlendirilmektedir. Bu aşamada yönetmelikte göz önüne alından en büyük deprem yani DD-1 kullanılır. Bu deprem düzeyi altında normal performans hedefi için taşıyıcı sistem elemanların göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağlaması gerekmektedir. İleri performans hedefi için ise taşıyıcı sistem elemanları kontrollü hasar performans düzeyini sağlamalıdır.

Bu aşamada oluşturulan yüksek bina modelinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri sonucunda, taşıyıcı sistem elemanlarında elde edilen şekildeğiştirmeler, iç kuvvetler ve göreli kat ötelemesi değerlerinin yönetmelikte belirtilen sınır değerleri aşmaması gerekmektedir.

3.4.4.1 Taşıyıcı Sistemin Modellenmesi

Taşıyıcı sistem modellemesinde, Tasarım Aşaması-I'de verilen esaslar geçerli olmaktadır. Fakat bazı kurallarda farklılıklar bulunmaktadır. Bu aşamada tasarımı ve ikinci aşamada değerlendirilmesi yapılan taşıyıcı sistem zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi için modellenecektir. Bu aşamada modelleme yapılırken ŞGDT'a göre modelleme yapılmalıdır. Yapı sistemi 3 boyutu olarak modellenmelidir. Bir birine iki yatay deprem mutlaka dikkate alınacaktır. Yapının sönüm oranı yüksek binalar için %2.5 alınacaktır. Yeni yapılacak olan yüksek binaların performans değerlendirmesinde malzemenin karakteristik dayanımı yerine beklenen (ortalama) dayanımı kullanılacaktır. Tablo 3.12'de malzemenin beklenen dayanımları verilmektedir.

Tablo 3.12 Beklenen malzeme dayanımları

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

Mevcut binalarda performans değerlendirmesi yapılması durumunda malzemenin mevcut dayanımları esas alınacaktır. Yapı kütlelerinin modellenmesi ilk aşamaya uygun olarak yapılacaktır.

- **Kolon ve kirişlerin modellenmesi:**
  - Tüm kiriş ve kolonlar çubuk sonlu eleman olarak modellenecektir. Doğrusal olmayan davranış modeli olarak yayılı veya yığılı plastik davranış modeli kullanılabilmektedir. Uygulama kolaylığı ve analiz sürelerinin daha kısa olmasından yığılı plastik davranış modelini kullanmak yeterlidir.
  - Kolon-kiriş birleşim noktalarında toplam altı serbestlik derecesi olacaktır. Rijit diyafram kullanılması durumunda rijit harekete karşı gelen serbestlikler kaldırılabilir.
  - Çubuk eleman olarak modellenen kolon ve kirişlerde plastik mafsallar net açıklıkların uçlarına konulabilir.
  - Plastik mafsallar arasında çubuk elemanın doğrusal davrandığı için bu bölgede kullanılacak etkin kesit rijitliği (3.28) ve (3.29)'da verilen bağıntılar ile hesaplanacaktır.

$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y}\frac{L_s}{3} \tag{3.28}$$

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta\left(1 + 1.5\frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \tag{3.29}$$

  - Denklem (3.28) ve (3.29)'da M_y akma momentini, θ_y akma dönmesini, L_s kesme açıklığını, ϕ_y akma eğriliğini, d_b ortalama donatı çapını, f_{ye} beklenen donatı akma dayanımını, f_{ce} ise beklenen beton dayanımını göstermektedir.
- **Perdelerin ve döşemelerin modellenmesi:**
  - Perdelerin doğrusal olmayan davranış modeli oluşturulurken yayılı plastik davranış modeli kullanılmalıdır. Yüksek binalarda zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz kullanılması zorunlu olduğundan bu yapılarda perdelerde yığılı plastik davranış kullanılmasına izin verilmemektedir.

- Bu elemanlar modellenirken kesit yeteri kadar kesit hücrelerine bölünmelidir.
- Perdelerde kullanılacak sonlu eleman ağı, yeteri doğruluk sağlayacak şekilde bölünmelidir.
- Bodrum perdeleri modellenirken doğrusal olmayan modelin kullanılması zorunlu değildir. Sadece yapının bodrum kat sayısının birden fazla olması durumunda zemin kattan sonraki ilk bodrum katta bulunan perde elemanların da doğrusal olmayan davranış modeli ile modellenmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır.
- Döşemelerin doğrusal olmayan davranış kullanılarak modellenmesi zorunlu değildir. Bu sebeple modelin çözümünü hızlandırmak için döşemeler doğrusal olarak modellenir.
- Doğrusal olarak modellenen bodrum perdeleri ve döşemeler için Tablo 3.7'de verilen etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılacaktır.

- **Ek dışmerkezlik etkisi**
  - Yapıda burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} > 1.5$ olması durumunda kat kütle merkezine gelen yatay deprem etkileri kat plan boyutunun +%5 ve -%5'i kadar şaşırtılacak ve bu durumlar için de ayrı ayrı deprem analizi yapılacaktır.

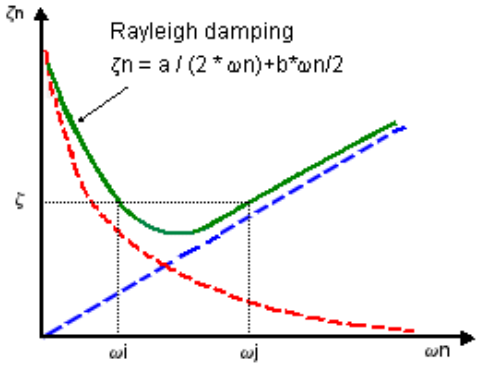
3.4.4.2 Deprem Hesabı

Bu aşamada Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi kullanılarak deprem hesapları yapılmalıdır. Bu yöntem sırasında doğrusal olmayan davranış sebebi ile sistemin rijitlik matrisi zamanla değişimi de göz önüne alınır.

Bu aşamada 11 adet deprem yer hareketi takımı seçilmelidir. Deprem hareketlerinin seçilmesinde dikkat edilmesi gereken esaslar bölüm 3.2.3'te verilmiştir. Depremin H1 ve H2 yatay bileşenleri taşıyıcı sisteme birlikte etki edecektir. Daha sonra bu deprem yer hareketi ivme kayıtları 90^0 döndürülerek sistem tekrardan çözülecektir. Böylece toplamda 2x11=22 hesap yapılmış olmalıdır.

Deprem hesabı aşamasında dikkate alınması gereken hususlar aşağıda özetlenmiştir;

- Taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal olmayan ve doğrusal olan elemanlardaki oluşan dinamik enerji kaybı hareket denklemlerinde viskoz sönüm matrisi olarak göz önüne alınır. Viskoz sönüm matrisi, Rayleigh orantılı sönüm matrisi veya modal sönüm matrisi olarak oluşturulacaktır. Bu sönüm matrisinin oluşturulması sırasında sönüm oranı %2.5 kabul edilecektir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Rayleigh sönüm fonksiyonu

- Deprem analizleri öncesinde ilk olarak deprem dışı yükleme durumları altında doğrusal olmayan artımsal statik analiz yapılmalıdır. Bu hesap sonucunda yeni yapılacak yüksek binalarda doğrusal olmayan şekildeğiştirmelere izin verilmemektedir. Yapılan bu analiz zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesabın başlangıç değeri olarak göz önüne alınmalıdır.

Yukarıda verilen esaslara göre yapılan analizler sonucunda sünek davranışa sahip elemanların şekildeğiştirme talepleri, tüm analizlerin (2x11=22 hesap) en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olmaktadır. Elde edilen bu şekildeğiştirme değeri isin verilen sınır değer ile karşılaştırılıp elemanın performans sınıfı belirlenecektir.

3.4.3.3'de tanımlanan sünek davranışa sahip olmayan elemanların kritik iç kuvvetleri, tüm hesaplar sonucunda elde edilen değerlerin en büyük mutlak değerleri ortalamasına standart sapma değeri eklenerek hesaplanacaktır. Fakat hesaplanan bu değer ortalama değerin 1.5 katından büyük olmayacak ve ortalamanın 1.2 katından az olmamalıdır.

3.4.4.3 Performans Değerlendirmesi

Yüksek binaların son aşamasında yapılan hesaplar sonucunda elde edilen değerler, yönetmelikte yer alan sınır değerler ile karşılaştırılmalıdır. Bu aşamada yapı normal performans hedefi için değerlendirme yapılacak ise taşıyıcı sistem elemanlarının göçmenin önlenmesi performans sınırını sağlaması istenmektedir. Yapı ileri performans hedefi için değerlendirmek istenirse taşıyıcı sistemin elamanlarının kontrollü hasarı sınırlarını aşmaması istenmektedir.

- Yayılı plastik davranış modelinin kullanılması durumunda Göçmenin Önlenmesi (GÖ), Kontrollü Hasar (KH) ve Sınırlı Hasar (SH) sınıfları için beton ve donatı çeliklerinde sınır birim şekildeğiştirme bağıntıları aşağıda verilmiştir.

<u>Göçmenin Önlenmesi (GÖ) için;</u>

a) Beton birim kısalması

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \text{ (Dikdörtgen kesit)} \quad (3.30a)$$

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \text{ (Dairesel kesit)} \quad (3.30b)$$

$$\omega_{we} = \alpha_{se}\rho_{sh,min}\frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad ; \quad \alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0}\right)\left(1 - \frac{s}{2b_0}\right)\left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s}$$

b) Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (3.31)$$

S420 sınıfı çelik için $\varepsilon_{su} = 0.08$ olduğundan;

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4x0.08 = 0.032$$

<u>Kontrollü Hasar (KH) için;</u>

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} \quad ; \quad \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} \quad (3.32)$$

Sınırlı Hasar (SH) için;

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad ; \quad \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \tag{3.33}$$

- Yığılı plastik davranış modelinin kullanılması durumunda Göçmenin Önlenmesi (GÖ), Kontrollü Hasar (KH) ve Sınırlı Hasar (SH) sınıfları için plastik dönme sınırları aşağıda verilmiştir.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) için;

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3}\left[\left(\phi_u - \phi_y\right)L_p\left(1 - 0.5\frac{L_p}{L_s}\right) + 4.5\phi_u d_b\right] \tag{3.34}$$

Kontrollü Hasar (KH) için;

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(G\ddot{O})} \tag{3.35}$$

Sınırlı Hasar (SH) için;

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \tag{3.36}$$

Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyinde plastik dönmelere izin verilmemektedir.

- Zaman tanım alanında deprem hesapları sonucunda ortalama göreli kat ötelemesi oranı sınır değer olan 0.03 değerini aşmamalıdır. Bir depremde elde edilecek göreli kat ötelemesi ise maksimum 0.045 olabilir.

3.5 Tasarımın Sonuçlandırılması

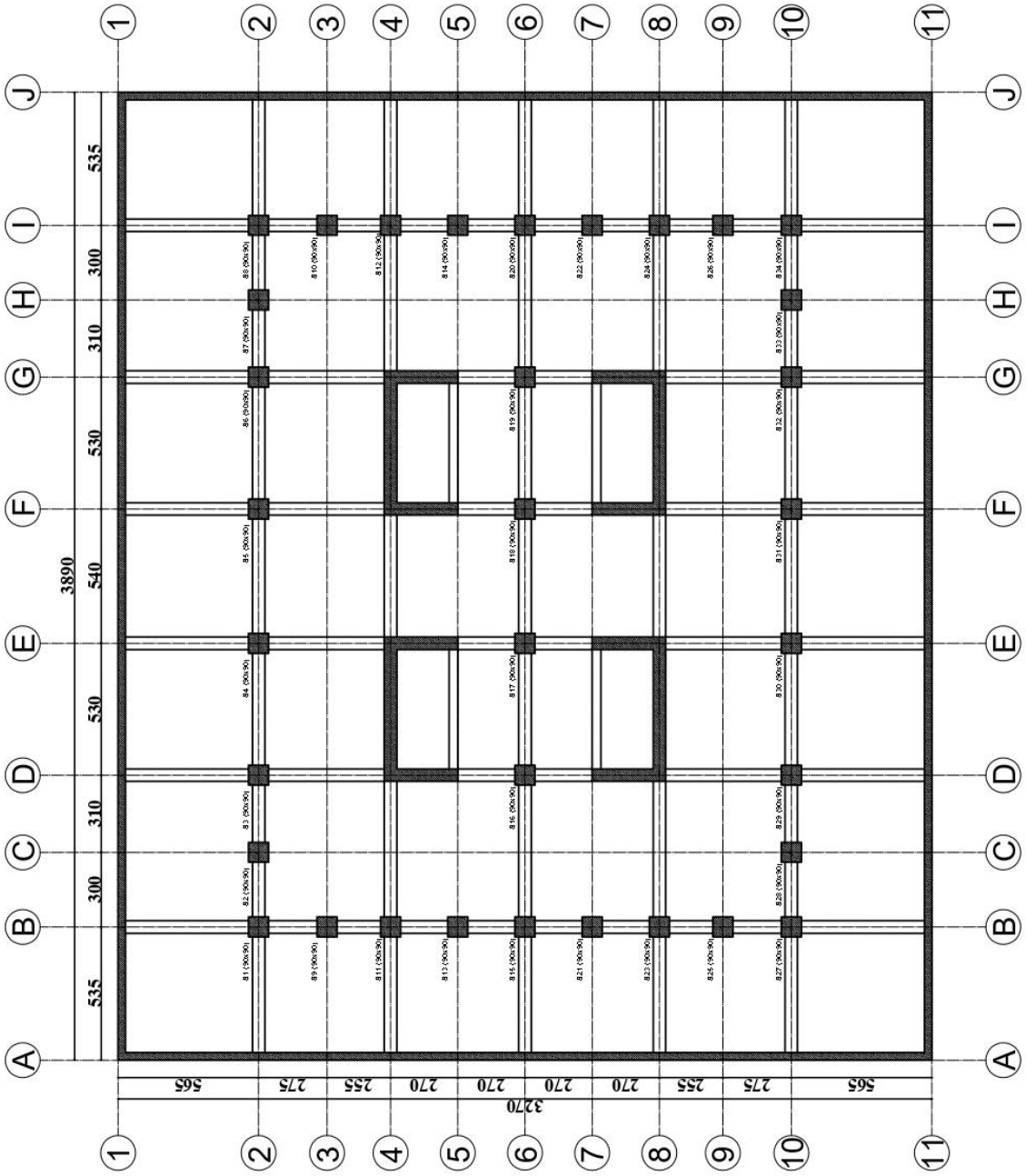
Tasarım Aşaması-I'de ön tasarımı yapılan binanın, Tasarım Aşaması-III hesap esasları sonucunda düşey taşıyıcı sistem elemanlarının donatıları veya boyutlarında herhangi bir azaltma yapılmayacaktır. Azaltma yapılmak istenirse tüm aşamalar tekrarlanmalıdır. Düşey taşıyıcı elemanı olmayan kiriş vb. elemanlarda son aşamada gerekli görülmesi durumunda azaltma işlemi yapılabilmektedir. Bu durumda sadece son aşama analizleri tekrarlanacaktır.

4
SAYISAL ÇALIŞMALAR

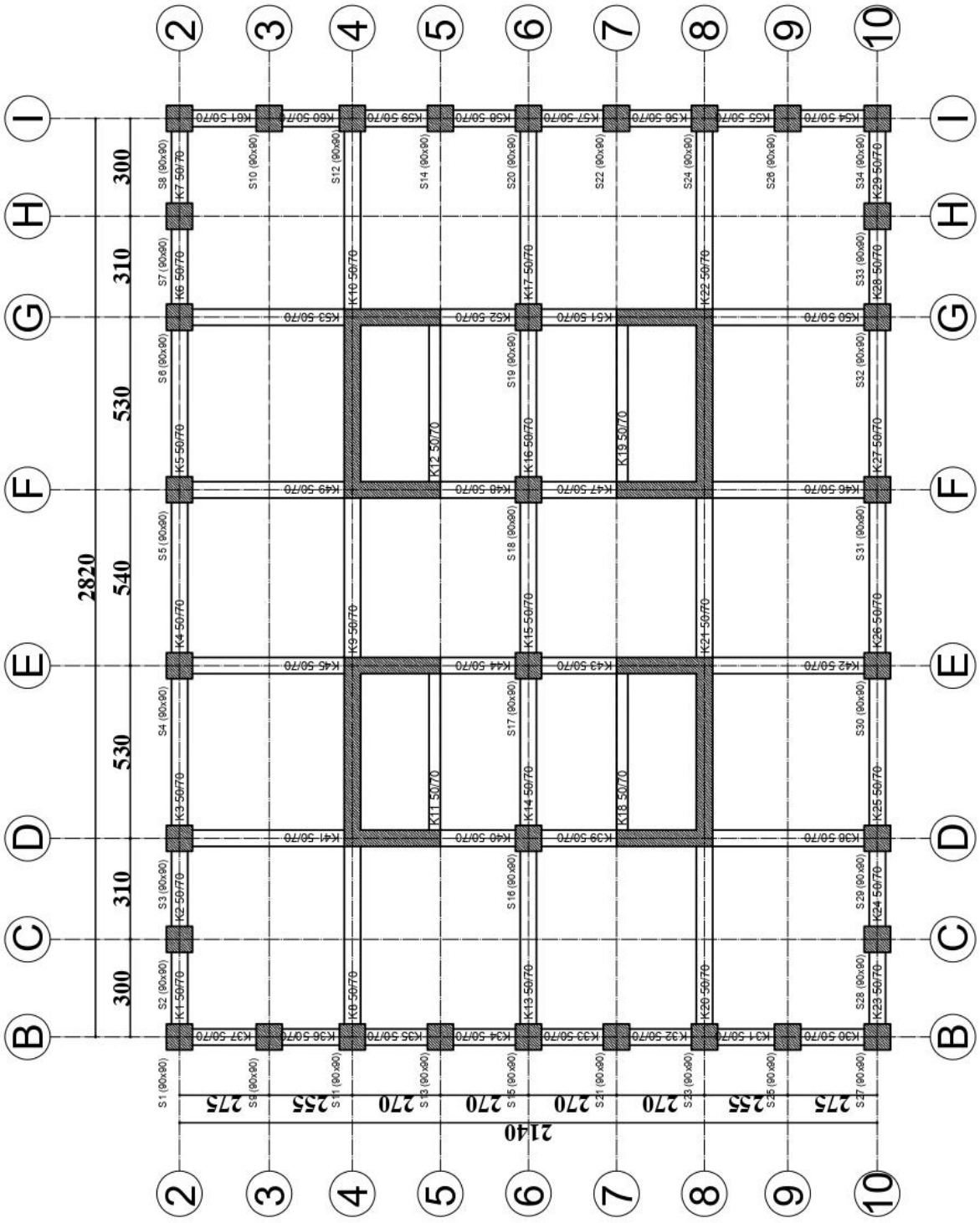
Bu bölümde Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsünde yapılacağı öngörülen yüksek bir betonarme yapının sayısal çalışması hakkında bilgiler verilmiştir. Sayısal çalışmada tasarlanan model hakkında bilgiler verilmiş ve doğrusal yöntemler kullanılarak tasarımı yapılmıştır. Anılan binanın ZTADOHY kullanılarak performansı değerlendirilmiş ve her aşamadaki sonuçlar TBDY 2018'de verilen sınır değerler ile kıyaslanmıştır. Çalışma sonunda TBDY 2018'de yüksek binalar için verilen esasların örnek bir proje üzerinden uygulanabilirliği irdelenmiştir.

4.1 Yapı Genel Bilgileri

Çalışmada ele alınan binanın kullanım amacı konut olup 2 bodrum kat, 30 zemin kotu üstü kattan oluşmaktadır. Bir başka ifadeyle, yapının bodrum üstü baza bölümü toplam 30 kattan oluşmaktadır. Tüm kat yükseklikleri 3.6 m olup, yapının zeminden itibaren toplam yüksekliği 108 m'dir. Yapının merkezinde çekirdek perdeler konumlandırılmış kenar bölgelerde sık yerleştirilmiş kolonlar ile çerçeve sistemler oluşturulmuştur. Yapı taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve-perdeli sistem olarak tasarlanmıştır. Binanın plandaki boyutları bodrum katlarda X doğrultusunda 38.9 m, Y doğrultusunda 32.7 m'dir. Zemin üstü katlarda ise yapının plandaki boyutları X doğrultusunda 28.2 m, Y doğrultusunda 21.6 m'dir. Uygulama kolaylığı açısından bina planda her iki yönde de simetrik olacak şekilde oluşturulmuştur. Bununla birlikte, katlar arasında eleman benzeştirmeleri yapılmış ve kesitlerin olabildiğince aynı boyutlarda olması sağlanmıştır. Tasarlanan yapının bodrum kat ve normal katlardaki planı, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Yapının ön tasarım aşamasında kolon kesitleri tüm katlarda 90x90 cm ve kiriş kesitleri tüm katlarda 50x70 cm olarak seçilmiştir. Perde genişlikleri 45 cm olarak kabul edilmiştir. Tasarım Aşaması-I sonucunda kiriş, kolon ve perde elemanların kesit boyutları azaltılmıştır.



Şekil 4.1 Bodrum kat planı (cm, 1/250) (Boyutlar: cm)



Şekil 4.2 Normal kat planı (1/200) (Boyutlar: cm)

Yapı modeli 3 boyutlu olarak ETABS yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır [30]. İlk iki aşama hesapları ETABS yazılımı üzerinden, son aşama zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler SAP2000 kullanılarak yapılmıştır. SAP2000 üzerinden farklı deprem ivme kayıtlarına ait hesaplar eşzamanlı olarak yapılabildiğinden bu yazılım tercih edilmiştir [31]. Bu şekilde toplam analiz süresi ciddi şekilde azalmıştır.

Bina modelinde yük kabulleri TS498'e uygun olarak yapılmıştır. Hesap modelinde yük kabulleri ve kısaltmaları Tablo 4.1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında rüzgâr yükleri dikkate alınmamıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarının öz ağırlıkları malzeme özelliklerine ve kesit boyutlarına göre değişmektedir [32].

Tablo 4.1 Yük tanımları

Yük Tanımı	Kısaltma	Yük Değeri
Öz Ağırlık	SW	-
Duvar ağırlığı	WW	6.5 kN/m
Cephe kaplaması	FW	7.5 kN/m
Zemin kaplama	CW	2.5 kN/m^2
Hareketli Yük	Q	3.5 kN/m^2

4.2 Yapı Taşıyıcı Sistemi

Çalışma kapsamında yapının taşıyıcı sistemi çerçeve+perde sistem olarak oluşturulmuştur. Çekirdek bölgede asansör olması planlanan bölgelere rijit perde elemanları yerleştirilmiş dış akslarda kolon kirişler ile çerçeve sistem oluşturulmuştur. Oluşturulan taşıyıcı sistem, yapı ömrü boyunca gelecek olan yükleri emniyetli bir şekilde zemine aktaracak şekilde TS500 ve TBDY 2018 yönetmelik koşullarına uygun olarak tasarımı yapılmıştır.

Yüksek binalarda artan kat adedi sebebi ile yapı ağırlığı önemli düzeyde artmaktadır. Bu sebebe bağlı olarak yapıya etkiyen deprem kuvvetleri önemli ölçüde artmaktadır. Düşey yüklerin ve deprem kuvvetlerin etkisinden dolayı özellikle alt katlar bulunan düşey taşıyıcı elemanlar yüksek eksenel yüke maruz kalmaktadır. Alt katlarda bulunan düşey taşıyıcı elemanlara gelen eksenel yükten dolayı bu kesitlerin ekonomik olarak boyutlandırılması amacıyla yüksek dayanımlı

beton kullanılması gerekmektedir. Günümüzde yüksek binalarda kullanılan beton sınıfı C50~C60 olmaktadır. Yönetmelikte beton sınıfı olarak alt sınır C25, üst sınır ise C80'dir. Daha yüksek beton sınıfı kullanılması gerekli olması durumunda TS EN 206 esas alınmalıdır. Sunulan çalışmada kullanılan beton sınıfı C50 olarak seçilmiştir [26].

Yönetmelikte betonarme yapılarda B420C veya B500C donatı çeliğinin kullanılması gerekmektedir. S420 donatı çeliğinin kullanılması durumunda TS 708'e ek olarak çekme/akma dayanımının 1.35 değerinden küçük olması istenmektedir. Ayrıca S420 donatı çeliğinin karbon oranı %0.55'i geçmemelidir. Bu çalışmada donatı çeliği olarak S420 kullanılmış ve yönetmelikte verilen sınırları sağladığı kabul edilmiştir.

Taşıyıcı sistem elemanları olabildiğince benzer kesitlerden oluşturulmaya çalışılmıştır. Kolon, kiriş ve perde kesitleri alt katlarda eksenel yükten dolayı daha büyük seçilmiş üst katlara doğru kesitler bina ağırlığını azaltmak amacıyla küçültülmüştür. Tüm katlarda betonarme kirişli plak döşeme sistemi kullanılmış ve kalınlığı TS500'e göre sehim hesabı gerektirmeyecek şekilde 20 cm seçilmiştir [25]. Döşeme elemanları üzerine gelen yükleri güvenli bir şekilde düşey taşıyıcı elemanlarına aktaracak şekilde boyutlandırılmıştır. Oluşturulan modele ait kesit bilgileri Tablo 4.2'de verilmiştir.

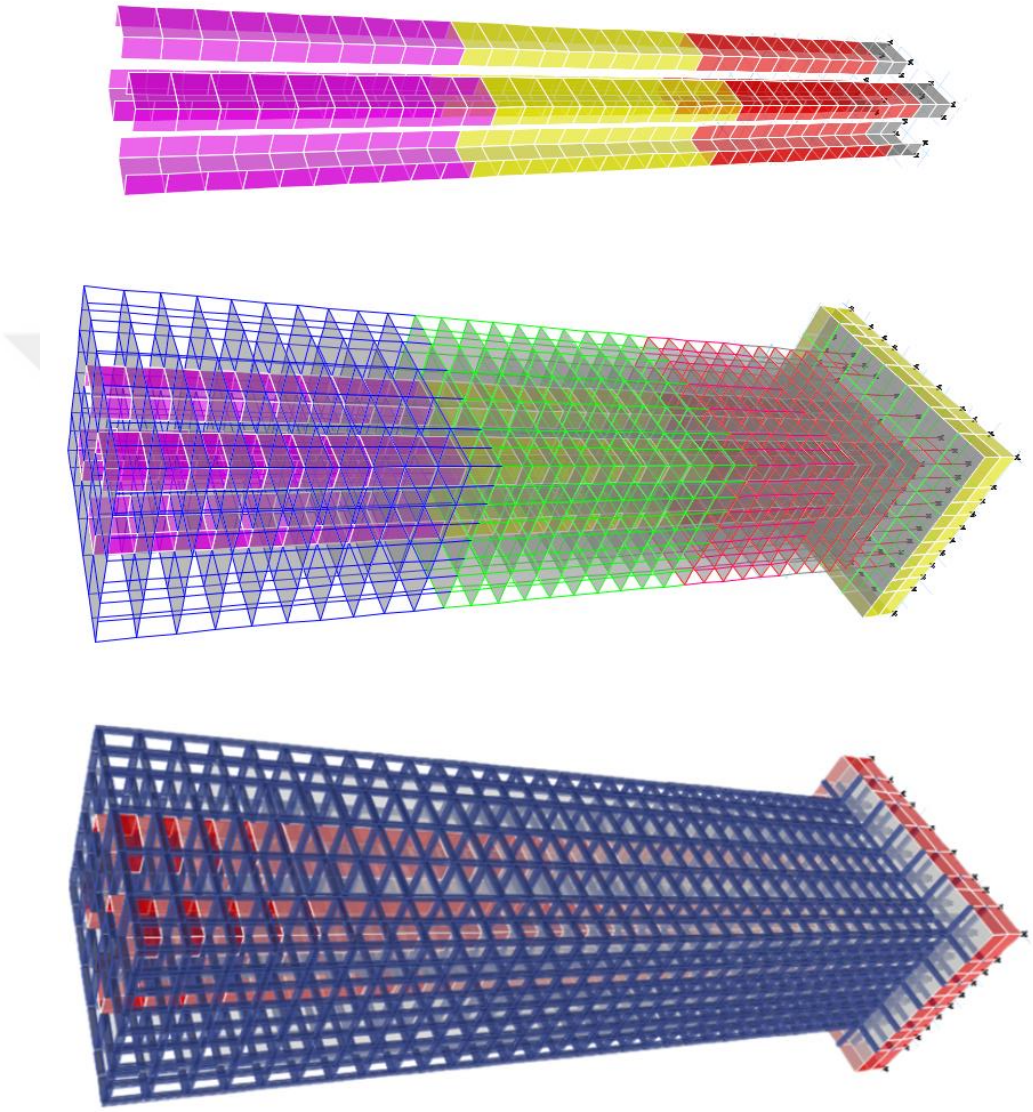
Bodrum katlarda üst katlardaki kesitler kullanılmış, bodrumu çevreleyen perde kesiti ise 30 cm kalınlığında modellenmiştir.

Tablo 4.2 Katlara göre eleman kesit değişimi

Elemanlar	**Katlar**			
	1-5	**6-10**	**11-20**	**20-30**
Kolonlar [cm]	80x80	70x70	60x60	50x50
Kirişler [cm]	50x70	50x70	40x70	35x60
Perde [cm]	45	45	35	25

Çekirdek perdelerin kalınlıkları ilk on katta 45 cm, sonraki on katta 35 cm, son on katta ise 25 cm olarak şekilde modellenmiştir. Olabildiğince benzer kesitli elemanların kullanılmasının sebebi doğrusal olmayan hesaplarda matematiksel olarak daha hızlı ve kolay model oluşturulmak istenmesidir. Verilen bilgilere göre

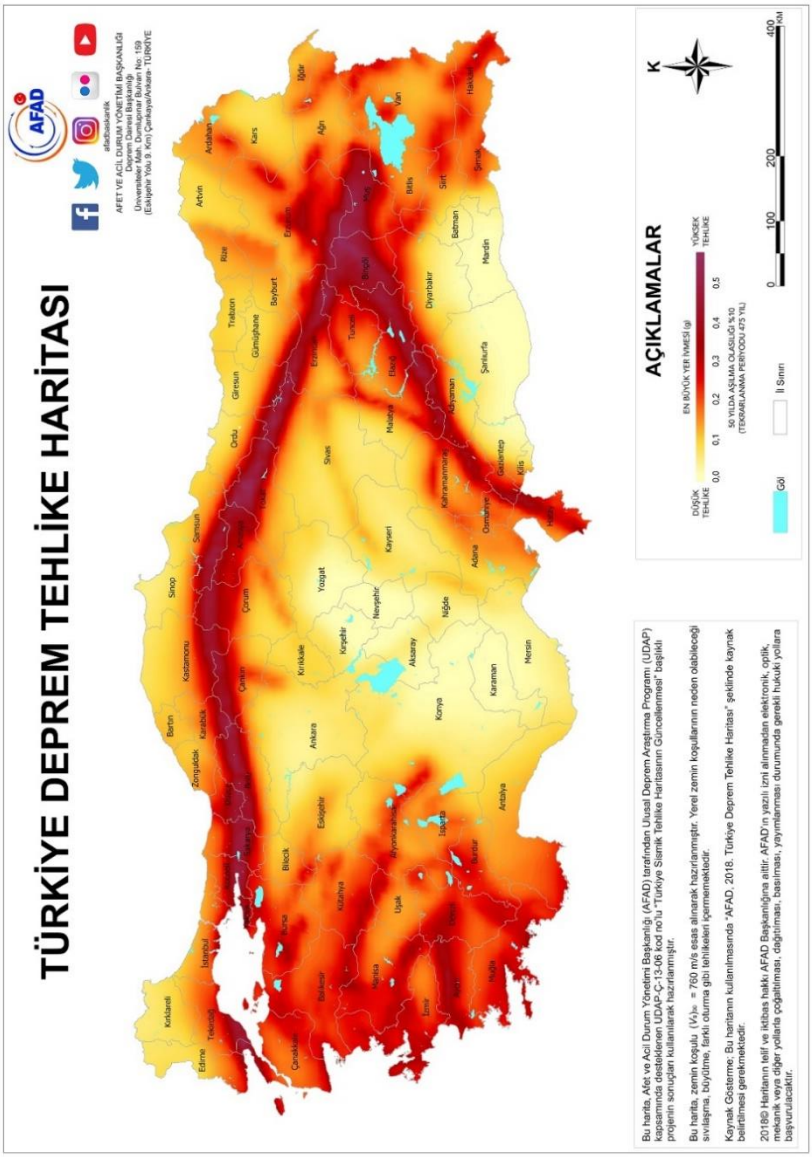
ETABS üzerinden oluşturulan üç boyutlu sonlu elemanlar modeli Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 Yüksek binanın üç boyutlu sonlu eleman modeli

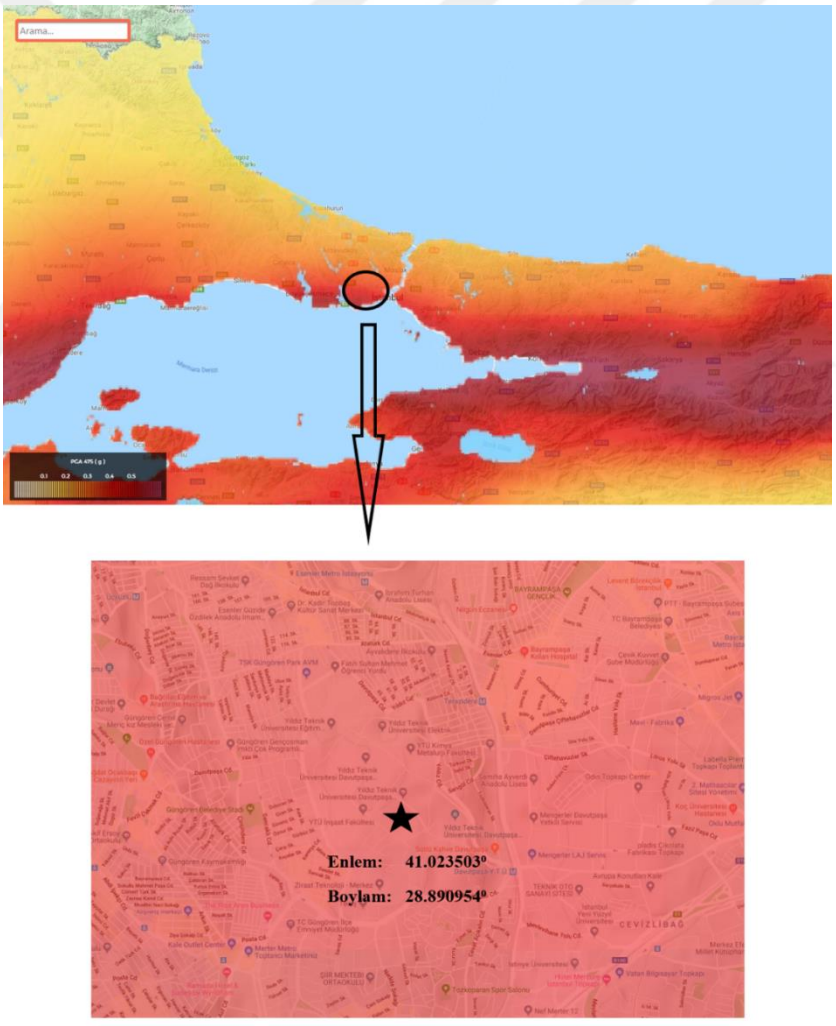
4.3 Deprem Parametreleri

AFAD tarafından Türkiye Deprem Tehlike Haritası yayınlanmıştır (Şekil 4.4). Bu harita kullanılarak binanın yapılacağı konuma göre deprem parametreleri belirlenmelidir [33]. Binanın yapılması planlanan Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü için deprem verileri Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan alınmıştır. Hesap aşamalarında kullanılacak farklı deprem düzeyleri için kısa periyot ve 1.0 saniye periyot için değerler belirlenmeli, tasarım ivme spektrumları oluşturulmalıdır.



Şekil 4.4 Türkiye deprem tehlike haritası

Türkiye Deprem Tehlike Haritası, interaktif web uygulaması üzerinden yapının yapılması planlanan bölge için tasarım spektrumu doğrudan olarak alınabilir. Aynı zamanda uygulama üzerinden bölgeye ait PGA, PGV gibi parametreler de alınabilmektedir. Yapının yapılması planlanan konumu 41.023503^0 enlem, 28.890954^0 boylamdır (Şekil 4.5). Bu konumda farklı deprem düzeyleri için parametreler Tablo 4.3'te verilmiştir. Binanın yapılacağı konumun zemin parametreleri ayrıntılı zemin etüdü ile belirlenebilmektedir. Sunulan çalışmada yapı zemin etkileşimi dikkate alınmamıştır. Bu sebeple ayrıntılı hesap yapılmadan binanın yapılması planlanan konumda zemin sınıfı ZC olarak kabul edilmiştir. Bu sebeple deprem parametreleri belirlenirken zemin sınıfı da dikkate alınmıştır (Tablo 4.3).

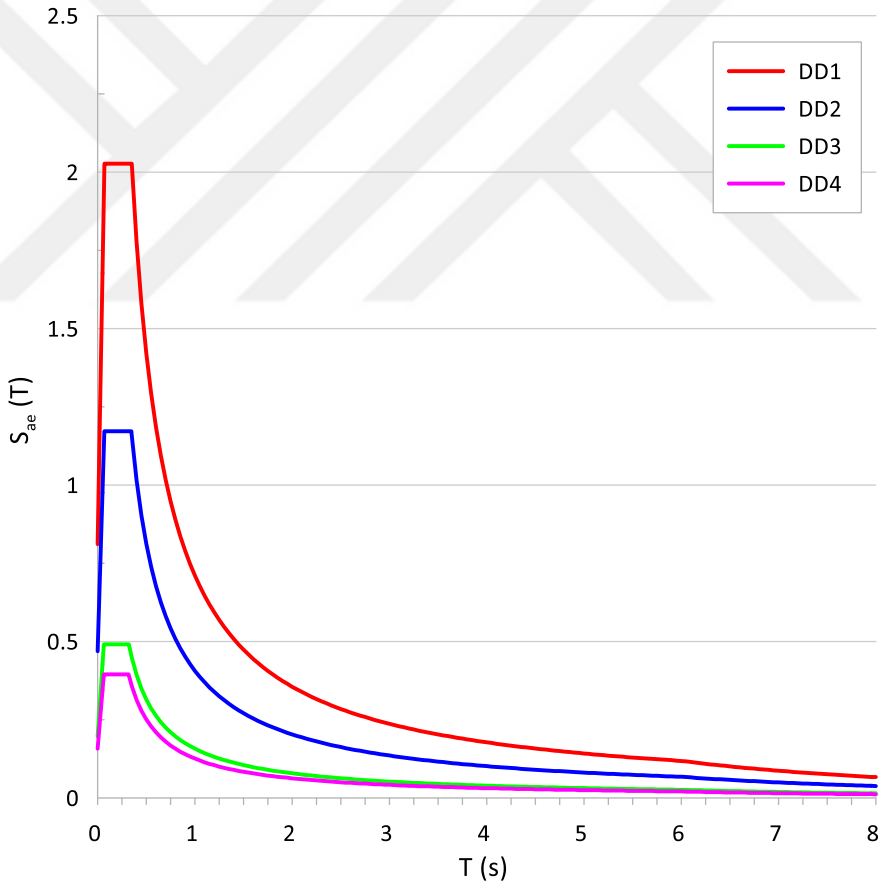


Şekil 4.5 Bina konum bilgisi

Tablo 4.3 Deprem düzeyleri için Spekral ivme değerleri

Spektral Parametreler	Deprem Düzeyleri			
	DD-1	DD-2	DD-3	DD-4
PGA	0.671	0.402	0.164	0.105
S_s	1.689	0.977	0.378	0.243
S_1	0.474	0.271	0.105	0.067
PGV	42.329	24.758	10.095	6.459
F_s	1.2	1.2	1.3	1.3
F_1	1.5	1.5	1.5	1.5
S_{DS}	2.027	1.172	0.491	0.316
S_{D1}	0.711	0.406	0.157	0.101
T_A	0.070	0.069	0.064	0.064
T_B	0.351	0.347	0.321	0.318

Tablo 4.3 esas alınarak hazırlanan tasarım ivme spektrumu diyagramı Şekil 4.6'de verilmiştir.



Şekil 4.6 Deprem düzeyleri için tasarım ivme spektrumu

TBDY 2018 kapsamında düşey tasarım ivme spektrumu da tanımlanmalıdır. Fakat düşey deprem etkisi yönetmelikte verilen koşulları sağladığı için $E_d^{(Z)} = \left(\frac{2}{3}\right) S_{DS} G$ olarak dikkate alınmıştır.

4.4 Tasarım Aşaması-I

Bu aşamada oluşturulan analiz modeli için DD-2 deprem yer hareketi düzeyi altında deprem hesabı yapılacak ve kontrollü hasar sınırını sağlayacak şekilde tasarımı yapılacaktır. Tasarım Aşaması-I'de Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu sebeple azaltılmış deprem yükleri altında doğrusal elastik hesap yöntemi ile yapının ön tasarımı yapılacaktır. Hesap yöntemi olarak Mod Birleştirme Yöntemi (MBY) kullanılmıştır. Deprem hesaplarında ETABS yazılmı kullanılmıştır.

Yapı sisteminin modellenmesinde Bölüm 4'te verilen esaslar dikkate alınmıştır. Kiriş ve kolon elemanları çubuk sonlu eleman, perdeler ise kabuk olarak modellenmiştir. Tüm elemanlarda Tablo 3.9'da verilen etkin kesit rijitlikleri kullanılmıştır. Deprem hesabı olarak Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır.

4.4.1 Tasarım Spektrumlarının Tanımlanması

Türkiye Deprem Tehlike Haritası, interaktif web uygulaması üzerinden yapının inşa edilmesi planlanan bölge için tasarım spektrumu direkt olarak alınabilir.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) yönetmeliğe göre 6 olarak belirlenmiştir. Fakat yönetmelikte verilen tabloda BYS=1 için taşıyıcı sistem katsayıları verilmemiştir. Bu sebeple BYS ≥2 olan sistemler için verilen katsayı seçilmiştir. Deprem yükü azaltma katsayısı (4.1) ve (4.2)'de verilen bağıntılar ile hesaplanır [26].

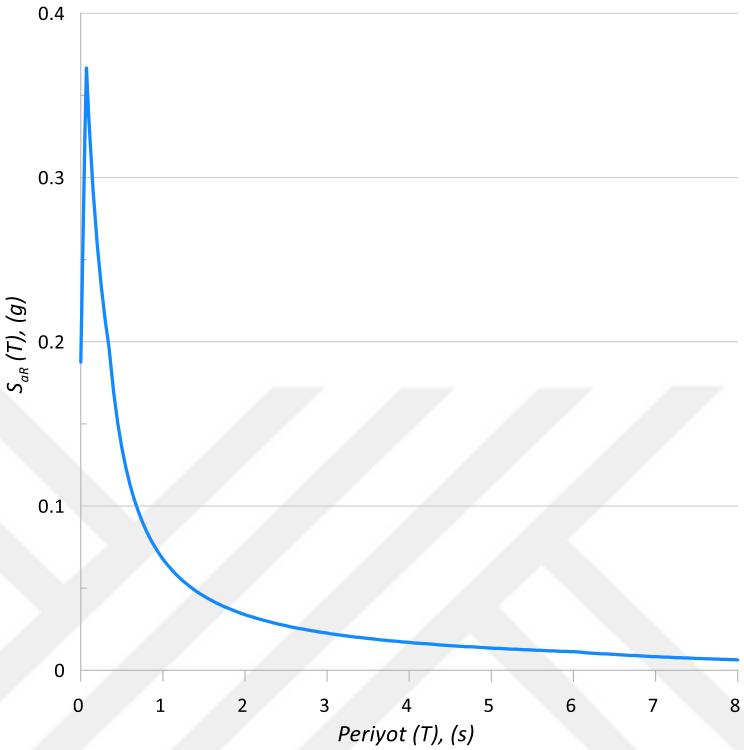
$$R_a(T) = \frac{R}{I} \qquad T > T_B \tag{4.1}$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right)\frac{T}{T_B} \qquad T \leq T_B \tag{4.2}$$

Tasarım Aşaması-I'de deprem hesaplarında azaltılmış tasarım ivme spektrumu kullanılmaktadır. Tasarım ivme spektrumu, (4.1) ve (4.2)'de verilen bağıntılar ile hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısına bölünmesiyle, azaltılmış tasarım ivme

spektrumu elde edilir. DD-2 için tanımlanan azaltılmış tasarım ivme spektrumu diyagramı Şekil 4.7'de verilmiştir.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \tag{4.3}$$



Şekil 4.7 Azaltılmış tasarım ivme spektrumu

Deprem yükleri tanımlanırken TBDY-2018'de verilen yük kombinasyonları dikkate alınmıştır. Tanımlanan yük kombinasyonları (4.4)'te verilmiştir.

$$G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)}$$

$$0.9G + H + 0.2S + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \tag{4.4}$$

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

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

Analizlerde dikkate alınan gerekli mod sayısı, modal kütle katılım oranının en az %95'i olacak şekilde seçilmiştir. Mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karasel Mod Birleştirme (CQC) kuralı uygulanmıştır. Hareketli yük katılım katsayısı 0.3 olarak alınmış ve kat kütleleri ile kat ağırlıkları Tablo 4.4'te verilmiştir. Tablo 4.4'ten

görüleceği üzere bodrum katların kütlesi göz önüne alınmadan deprem hesabı yapılmıştır. Bunun sebebi yönetmelikte, bodrumlu binalarda sadece bodrum üstü katların kütlesi alınarak bu elemanların tasarımı yapılması istenmektedir.

Tablo 4.4 Kat kütle ve ağırlıkları

Kat sayısı	Kat Kütlesi	Kat Kağırlığı
	$m_{x,y}$ (kN s² / m)	**W (kN)**
30	876.03	8593.88
29	947.43	9294.25
28	947.43	9294.25
27	947.43	9294.25
26	947.43	9294.25
25	947.43	9294.25
24	947.43	9294.25
23	947.43	9294.25
22	947.43	9294.25
21	947.43	9294.25
20	1021.22	10018.17
19	1058.02	10379.20
18	1058.02	10379.20
17	1058.02	10379.20
16	1058.02	10379.20
15	1058.02	10379.20
14	1058.02	10379.20
13	1058.02	10379.20
12	1058.02	10379.20
11	1058.02	10379.20
10	1133.33	11117.97
9	1173.25	11509.61
8	1173.25	11509.61
7	1173.25	11509.61
6	1173.25	11509.61
5	1192.64	11699.80
4	1216.04	11929.38
3	1216.04	11929.38
2	1216.04	11929.38
1	1216.04	11929.38
Toplam (Σ)	**31829.44**	**312246.78**

Yapılan analizlerde deprem yüklemesinden dolayı oluşan taban kesme kuvveti, minimum taban kesme kuvvetine göre büyütülmeli ve analiz tekrarlanmalıdır. (3.13) kullanılarak minimum taban kesme kuvveti;

$$\alpha_H = 2.05 - 0.01 * 108 = 0.97$$

$$V_{t,min} = 0.04\ \alpha_H\ m_t\ S_{DS}\ g = 0.04 * 0.97 * 31829.44 * 1.172 * 9.81 = 14198.99\ kN$$

Bu durumda bina ağırlığına göre minimum taban kesme kuvveti katsayısı oluşturmak istenirse, 0.04*0.97*1.172=0.0455 olarak hesaplanacaktır. Bu durumda, bina ağırlığının yaklaşık olarak %4.55'i kadar yatay yük yapıya uygulanmalıdır.

Mod birleştirme hesap yöntemi sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değerleri, ${V_t}^{(X)} = 6314.51\ kN$ ve ${V_t}^{(Y)} = 5953.67\ kN$ olmaktadır.

Buna göre eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı;

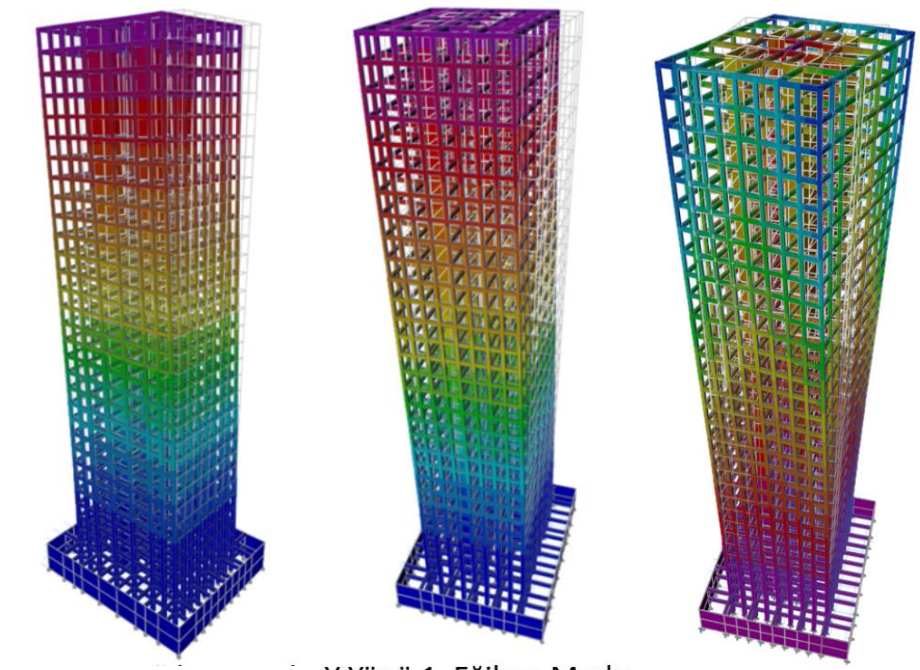
${\beta_{tE}}^{(X)} = \frac{14198.99}{6314.51} = 2.248$ ve ${\beta_{tE}}^{(Y)} = \frac{14198.99}{5953.67} = 2.385$ olacaktır.

X ve Y doğrultuları için hesaplanan deprem kuvvetleri sırasıyla 2.25 ve 2.39 katsayıları ile büyütülmüştür. Deprem kuvvetleri, düşey yükler yönetmelikte verilen kombinasyonlara göre birleştirilmiş ve elde edilen elverişsiz duruma göre gerekli kontroller ve tasarım yapılmıştır.

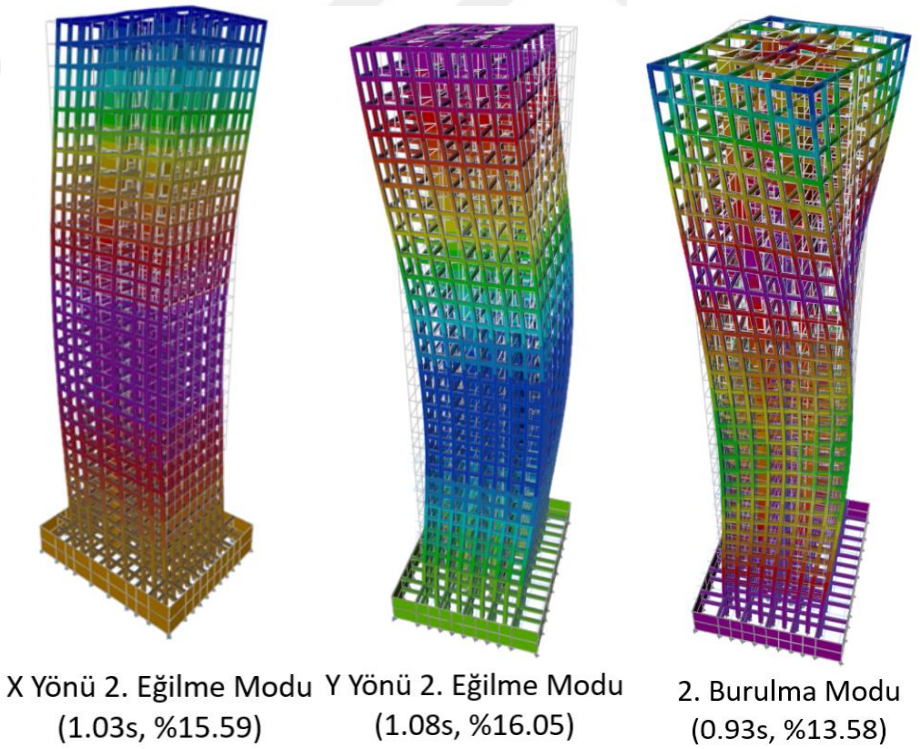
Analizler sonucunda dikkate alınan mod sayısı 30'dur. Modal analiz sonucunda, modlara ait periyot, frekans ve kütle katılımları Tablo 4.5'te verilmiştir. Tablo 4.5'ten görüleceği gibi X ve Y yönleri için modal kütle katılım oranı %95 değerini 16. modda sağlamaktadır. Normal katlı yapılarda genellikle her bir yön için ilk üç mod yeterli olurken yüksek binalarda ileri modların da yapı davranışında etkili olduğu görülmektedir. Aynı zamanda TBDY-2018'e göre modal kütle katılım oranı %3'ün üstünde olan modlar dikkate alınmalıdır [26]. Yapının her bir yön için ilk 3 modu periyot ve modal kütle katılım oranları ile birlikte verilmektedir (Şekil 4.8-10).

Tablo 4.5 Modal analiz kütle katılım oranları

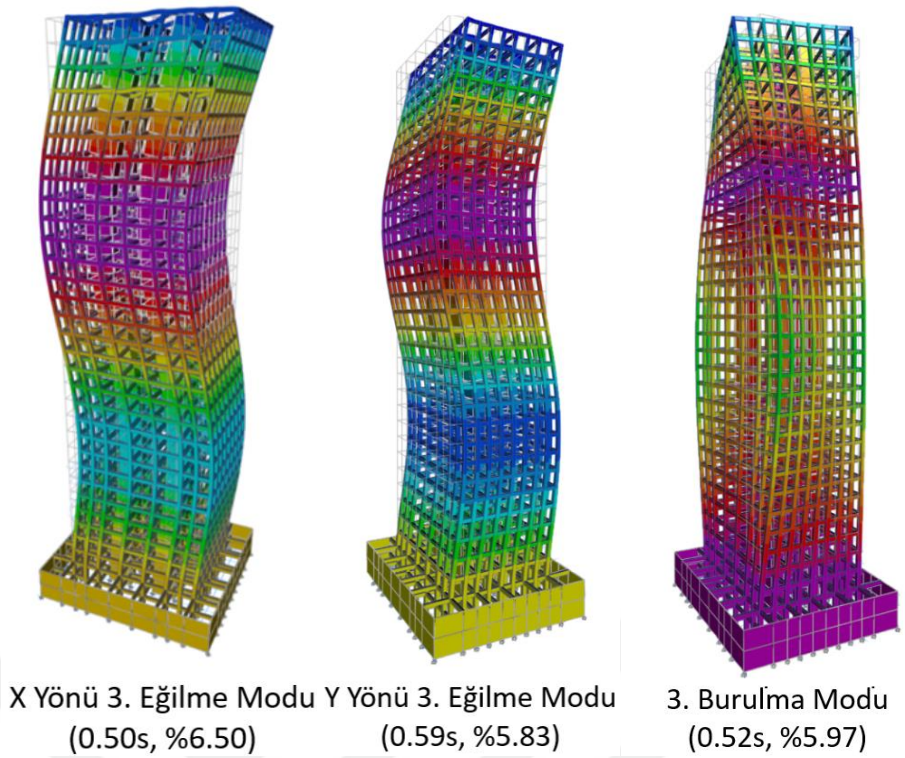
Mod	Periyot (s)	Frekans (çevrim/s)	Açısal Frekans (rad/s)	Kütle Katılım Oranları					
				UX (%)	UY (%)	RZ (%)	ΣUX (%)	ΣUY (%)	ΣRZ (%)
1	3.30	0.30	1.91	67.46	0.00	0.00	67.46	0.00	0.00
2	3.21	0.31	1.95	0.00	68.41	0.00	67.46	68.41	0.00
3	2.55	0.39	2.46	0.00	0.00	69.90	67.46	68.41	69.90
4	1.08	0.92	5.79	0.00	16.05	0.00	67.46	84.46	69.90
5	1.03	0.97	6.09	15.59	0.00	0.00	83.05	84.46	69.90
6	0.93	1.08	6.76	0.00	0.00	13.58	83.05	84.46	83.49
7	0.59	1.69	10.64	0.00	5.83	0.00	83.05	90.29	83.49
8	0.52	1.93	12.12	0.00	0.00	5.97	83.05	90.29	89.45
9	0.50	1.99	12.51	6.50	0.00	0.00	89.55	90.29	89.45
10	0.39	2.57	16.17	0.00	2.51	0.00	89.55	92.80	89.45
11	0.30	3.33	20.91	3.40	0.00	0.00	92.95	92.80	89.45
12	0.29	3.51	22.07	0.00	1.78	0.00	92.95	94.58	89.45
13	0.27	3.75	23.54	0.00	0.00	0.00	92.95	94.58	89.45
14	0.23	4.45	27.96	0.04	0.00	0.00	92.99	94.58	89.45
15	0.22	4.54	28.53	0.00	1.17	0.00	92.99	95.75	89.45
16	0.20	4.89	30.74	2.09	0.00	0.00	95.08	95.75	89.45
17	0.19	5.31	33.35	0.00	0.47	0.00	95.08	96.22	89.45
18	0.18	5.68	35.67	0.00	0.00	0.04	95.08	96.22	89.49
19	0.17	5.81	36.49	0.00	0.00	0.16	95.08	96.22	89.66
20	0.15	6.48	40.73	0.00	1.01	0.00	95.08	97.23	89.66
21	0.15	6.61	41.50	1.32	0.00	0.01	96.39	97.23	89.66
22	0.14	7.20	45.26	0.03	0.00	0.55	96.42	97.23	90.22
23	0.12	8.49	53.33	0.96	0.00	0.00	97.38	97.23	90.22
24	0.11	9.05	56.88	0.01	0.00	0.03	97.39	97.23	90.25
25	0.11	9.29	58.35	0.00	1.25	0.00	97.39	98.48	90.25
26	0.09	11.67	73.30	1.23	0.00	0.03	98.62	98.48	90.27
27	0.08	13.18	82.79	0.02	0.00	0.07	98.64	98.48	90.34
28	0.06	17.12	107.57	0.00	1.17	0.00	98.64	99.65	90.34
29	0.05	20.71	130.14	1.04	0.00	0.03	99.68	99.65	90.37
30	0.04	24.88	156.32	0.01	0.00	0.11	99.69	99.65	90.48



Şekil 4.8 1. Eğilme ve burulma modu şekilleri



Şekil 4.9 2. Eğilme ve burulma modu şekilleri



Şekil 4.10 3. Eğilme modu şekilleri

4.4.2 Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü

Yönetmeliğe göre göreli kat ötelemeleri kontrol edilerek verilen sınırı aşmaması istenmektedir. Bu sebeple Tablo 4.6-4.7 ve Şekil 4.7'de göreli kat öteleme değerleri sınır değer ile karşılaştırılmıştır. Göreli kat ötelemenin hesaplanmasında kullanılan bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$\Delta_i{}^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)}$$

$$\delta_i{}^{(X)} = \frac{R}{I}\Delta_i{}^{(X)}$$

Duvarların esnek derz ile bağlanmadığı durumlarda;

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}{}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008\,\kappa$$

Duvarların esnek derz kullanılarak taşıyıcı sistemden bağımsız olması durumunda;

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}{}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016\,\kappa$$

kullanılacaktır.

λ katsayısı, DD-3 depremi için hesaplanan elastik tasarım spektral ivme değerinin, DD-2 depremi için hesaplanan elastik tasarım spektral ivme değerine oranı olarak tanımlanır. Yapımda her iki yönde de hakim titreşim periyodu T_B ile T_L arasında olduğu için λ katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanacaktır. Ayrıca κ katsayısı betonarme yapılar için 1 alınacaktır.

$$\lambda = \frac{(S_{D1})_{DD-3}}{(S_{D1})_{DD-2}} = \frac{0.157}{0.406} = 0.387$$

Buna göre yapının duvar elemanları taşıyıcı sisteme esnek derz olmadan bağlandığı dikkate alınırsa göreli kat öteleme sınır değeri;

$$\frac{\delta_{i,max}{}^{(X)}}{h_i} \leq 0.02067$$

olmaktadır.

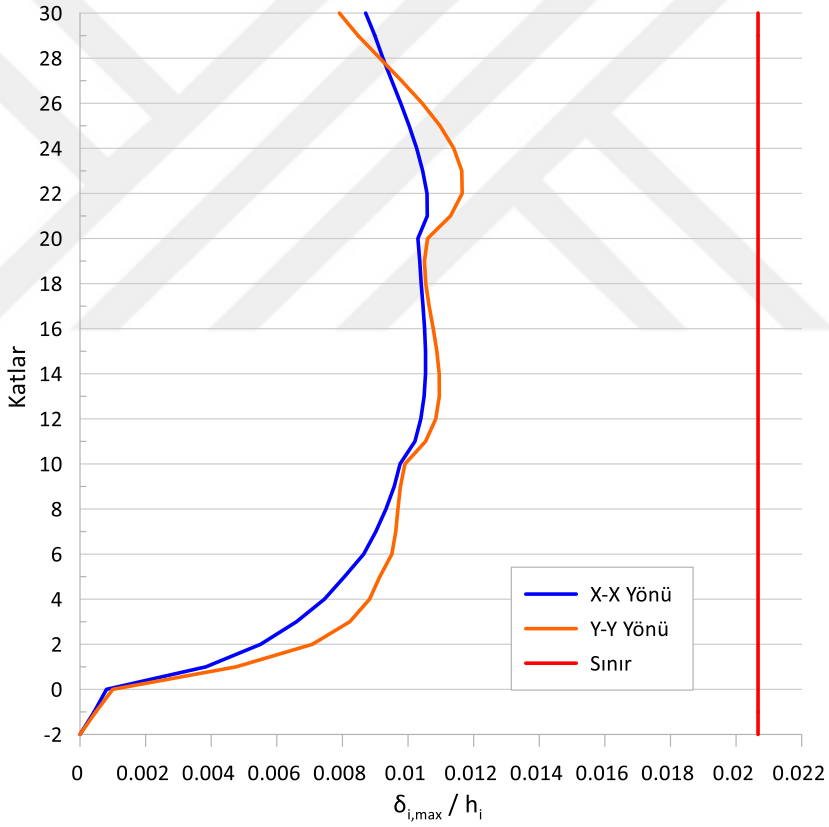
Tablo 4.6 X-X yönü göreli kat ötelemesi

Kat	h_i (mm)	$d_{i,max}$ (mm)	$\Delta_{i,max}$ (mm)	$\delta_{i,max}$ (mm)	$\delta_{i,max} / h_i$	Sınır
30. Kat	3600	168.7930	5.2250	31.3500	0.0087	0.02067
29. Kat	3600	163.5680	5.3930	32.3580	0.0090	0.02067
28. Kat	3600	158.1750	5.5400	33.2400	0.0092	0.02067
27. Kat	3600	152.6350	5.7030	34.2180	0.0095	0.02067
26. Kat	3600	146.9320	5.8660	35.1960	0.0098	0.02067
25. Kat	3600	141.0660	6.0200	36.1200	0.0100	0.02067
24. Kat	3600	135.0460	6.1580	36.9480	0.0103	0.02067
23. Kat	3600	128.8880	6.2680	37.6080	0.0104	0.02067
22. Kat	3600	122.6200	6.3470	38.0820	0.0106	0.02067
21. Kat	3600	116.2730	6.3520	38.1120	0.0106	0.02067
20. Kat	3600	109.9210	6.1800	37.0800	0.0103	0.02067
19. Kat	3600	103.7410	6.2140	37.2840	0.0104	0.02067
18. Kat	3600	97.5270	6.2400	37.4400	0.0104	0.02067
17. Kat	3600	91.2870	6.2740	37.6440	0.0105	0.02067
16. Kat	3600	85.0130	6.3030	37.8180	0.0105	0.02067
15. Kat	3600	78.7100	6.3200	37.9200	0.0105	0.02067
14. Kat	3600	72.3900	6.3200	37.9200	0.0105	0.02067
13. Kat	3600	66.0700	6.2940	37.7640	0.0105	0.02067
12. Kat	3600	59.7760	6.2340	37.4040	0.0104	0.02067
11. Kat	3600	53.5420	6.1260	36.7560	0.0102	0.02067
10. Kat	3600	47.4160	5.8540	35.1240	0.0098	0.02067
9. Kat	3600	41.5620	5.7470	34.4820	0.0096	0.02067
8. Kat	3600	35.8150	5.5960	33.5760	0.0093	0.02067
7. Kat	3600	30.2190	5.4110	32.4660	0.0090	0.02067
6. Kat	3600	24.8080	5.1890	31.1340	0.0086	0.02067
5. Kat	3600	19.6190	4.8380	29.0280	0.0081	0.02067
4. Kat	3600	14.7810	4.4700	26.8200	0.0075	0.02067
3. Kat	3600	10.3110	3.9600	23.7600	0.0066	0.02067
2. Kat	3600	6.3510	3.3040	19.8240	0.0055	0.02067
1. Kat	3600	3.0470	2.3040	13.8240	0.0038	0.02067
1. Bodrum Kat	3600	0.7430	0.4840	2.9040	0.0008	0.02067
2. Bodrum Kat	3600	0.2590	0.2590	1.5540	0.0004	0.02067
Taban	3600	0	0	0	0	0.02067

Tablo 4.7 Y-Y yönü göreli kat ötelemesi

Kat	h_i (mm)	$d_{i,max}$ (mm)	$\Delta_{i,max}$ (mm)	$\delta_{i,max}$ (mm)	$\delta_{i,max} / h_i$	Sınır
30. Kat	3600	178.7590	4.7440	28.4640	0.0079	0.02067
29. Kat	3600	174.0150	5.0860	30.5160	0.0085	0.02067
28. Kat	3600	168.9290	5.4840	32.9040	0.0091	0.02067
27. Kat	3600	163.4450	5.8800	35.2800	0.0098	0.02067
26. Kat	3600	157.5650	6.2590	37.5540	0.0104	0.02067
25. Kat	3600	151.3060	6.5850	39.5100	0.0110	0.02067
24. Kat	3600	144.7210	6.8360	41.0160	0.0114	0.02067
23. Kat	3600	137.8850	6.9830	41.8980	0.0116	0.02067
22. Kat	3600	130.9020	6.9900	41.9400	0.0117	0.02067
21. Kat	3600	123.9120	6.7770	40.6620	0.0113	0.02067
20. Kat	3600	117.1350	6.3570	38.1420	0.0106	0.02067
19. Kat	3600	110.7780	6.3000	37.8000	0.0105	0.02067
18. Kat	3600	104.4780	6.3240	37.9440	0.0105	0.02067
17. Kat	3600	98.1540	6.3860	38.3160	0.0106	0.02067
16. Kat	3600	91.7680	6.4610	38.7660	0.0108	0.02067
15. Kat	3600	85.3070	6.5270	39.1620	0.0109	0.02067
14. Kat	3600	78.7800	6.5700	39.4200	0.0110	0.02067
13. Kat	3600	72.2100	6.5720	39.4320	0.0110	0.02067
12. Kat	3600	65.6380	6.5070	39.0420	0.0108	0.02067
11. Kat	3600	59.1310	6.3210	37.9260	0.0105	0.02067
10. Kat	3600	52.8100	5.9440	35.6640	0.0099	0.02067
9. Kat	3600	46.8660	5.8610	35.1660	0.0098	0.02067
8. Kat	3600	41.0050	5.8150	34.8900	0.0097	0.02067
7. Kat	3600	35.1900	5.7750	34.6500	0.0096	0.02067
6. Kat	3600	29.4150	5.7040	34.2240	0.0095	0.02067
5. Kat	3600	23.7110	5.4840	32.9040	0.0091	0.02067
4. Kat	3600	18.2270	5.2960	31.7760	0.0088	0.02067
3. Kat	3600	12.9310	4.9350	29.6100	0.0082	0.02067
2. Kat	3600	7.9960	4.2510	25.5060	0.0071	0.02067
1. Kat	3600	3.7450	2.8570	17.1420	0.0048	0.02067
1. Bodrum Kat	3600	0.8880	0.5990	3.5940	0.0010	0.02067
2. Bodrum Kat	3600	0.2890	0.2890	1.7340	0.0005	0.02067
Taban	3600	0	0	0	0	0.02067

Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de verilen değerler diyagram olarak Şekil 4.11'de verilmiştir. Şekilden ve tablolardan da görüleceği gibi en olumsuz durumun ele alınmasına rağmen göreli kat ötelemeleri değerleri maksimum sınır değerin yarısı kadar olmaktadır. Bunun sebebi katlar arasında anlamlı düzeyde rijitlik farkı olmaması ve binanın olabildiğince simetrik tasarlanmaya çalışılmasıdır. Her iki yön için de göreli kat ötelemesi sınırı değişmemektedir. Yapı simetrik bir plana sahip olduğundan dolayı göreli kat öteleme değerleri iki yönde de birbirine yakın değerler elde edilmiştir. İki yönde göreli kat ötelemesi arasında pek fark olmamasına rağmen Y-Y yönü değerleri bir miktar daha fazla olmaktadır. Bunun sebebi, diğer yönün yatay kuvvetlere karşı rijitliğinin daha fazla olmasındandır.



Şekil 4.11 Göreli kat ötelemesi

Betonarme elemanların tasarımı yapılmadan önce düzensizlikler hesaplanmalıdır. Yapı düzenli bir plana sahip olduğu için A2, A3, B2 ve B3 düzensizlikleri söz konusu değildir. Bu sebeple rijit diyafram kullanılabilir. A1 düzensizliği kontrol edilmelidir. A1 düzensizliği kontrolü için eşdeğer deprem yükü hesap yöntemi kullanılarak

yapılan hesaplar sonucunda göreli kat ötelemeleri değerlerine bakılır. Herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin aynı kattaki ortalama göreli kat ötelemesine oranı 1.2'den küçük olmalıdır.

X-X yönü için A1 düzensizliği kontrolü;

$$\eta_{bi} = \frac{\left(\Delta_i^{(X)}\right)_{max}}{\left(\Delta_i^{(X)}\right)_{ort}} = \frac{10.548}{9.213} = 1.144 < 1.2$$

Y-Y yönü için A1 düzensizliği kontrolü;

$$\eta_{bi} = \frac{\left(\Delta_i^{(X)}\right)_{max}}{\left(\Delta_i^{(X)}\right)_{ort}} = \frac{11.609}{10.039} = 1.156 < 1.2$$

olarak yapılmıştır. Görüleceği gibi yapıda A1 düzensizliği de bulunmamaktadır.

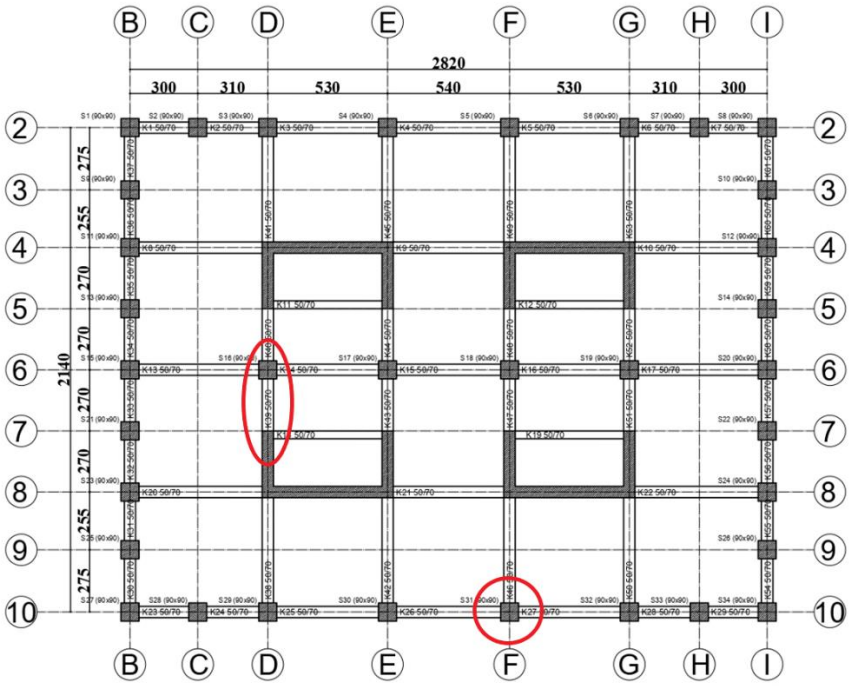
4.4.3 Betonarme Elemanların Tasarımı

Deprem hesaplarının ve gerekli kontrollerin yapılmasının ardından betonarme elemanların tasarımı yapılmalıdır. Deprem hesabı sonucunda kombinasyonlardan elde edilen elverişsiz kesit tesiri, elemanın tasarımında kullanılacaktır. Elemanların tasarımları yapılırken yönetmelikte verilen kurallara dikkat edilmelidir. Yüksek binalarda sünek olmayan tasarıma izin verilmediğinden elemanların tasarımında sünek davranış dikkate alınmıştır. Modelde bulunan kiriş, kolon ve perde elemanların tasarımı sırasıyla aşağıda verilmiştir. Örnek olması açısından sadece bazı elemanların tasarımı ayrıntılı anlatılmıştır. Elemanların tasarımında ETABS yazılımı kullanılmıştır. Elemanların tasarımları yapılırken TS500 ve TBDY2018'de verilen kurallar dikkate alınmıştır [25-26, 30].

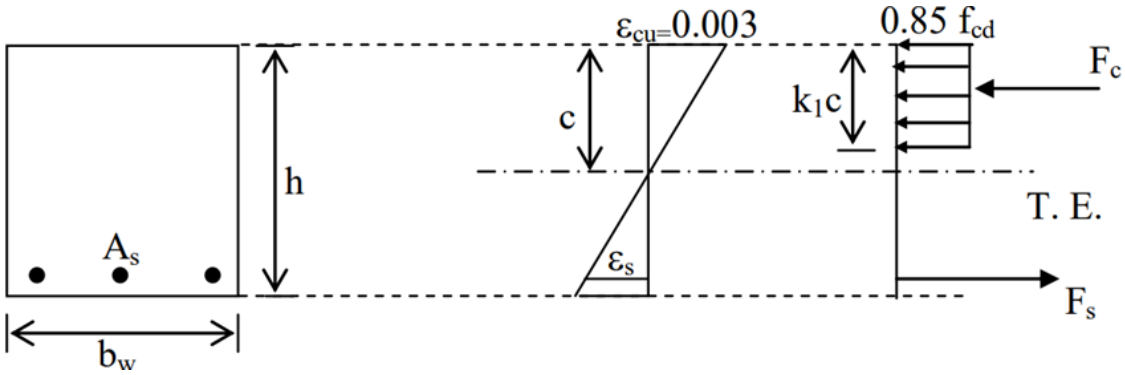
4.4.3.1 Kirişlerin Tasarımı

Kirişlerin boyuna ve enine donatıları yapılan hesap sonucu ETABS yazılımından alınmıştır. Tüm kirişlere ait betonarme hesaplar gösterilmeyip, sadece bir elemanın hesabı yapılmıştır. Seçilen elemanların kalıp planı yerleşimi Şekil 4.12'de verilmiştir. Kirişlerde modelleme kolaylığı açısından mesnet bölgelerinde hesaplanan donatı tüm kiriş boyunca devam ettirilmiştir. Aynı zamanda hesap sırasında tabla etkisi dikkate alınmamıştır.

K50/70 kirişi için maksimum kesit tesirleri hesap sonucunda alınmış ve buna göre eleman donatı hesabı ile kesme güvenliği hesapları yapılmıştır. Analizler sonucunda 4. katta bulunan B34 numaralı kirişin momentleri $M_d^{üst}$ = *712.38 kNm* ve M_d^{alt} = *746.02 kNm* olarak hesaplanmıştır. Betonarme dikdörtgen kesitli elemanlar için gerilme ve deformasyon değişimi Şekil 4.13'te verilmektedir.



Şekil 4.12 İncelenen kolon ve kirişin kalıp planındaki konumu



Şekil 4.13 Betonarme elemanlarda gerilme ve deformasyon değişimi

Kiriş bilgileri;

$d' = 0.03m$

$b_w = 0.50m$

$h = 0.70m$

Mesnet alt donatı hesabı;

$M_d = 0.85 f_{cd} b_w a(d - 0.5a)$

$746 = 0.85 * \left(\frac{50}{1.5}\right) * 10^3 * 0.7 * a * (0.67 - 0.5a)$

$9916a^2 - 13288a + 746 = 0 \rightarrow \text{a} = 0.059\text{m}$

$F_c = F_s \ ; \ A_s f_{yd} = 0.85 f_{cd} b_w a$

$A_s * \left(\frac{420}{1.15}\right) * 10^3 = 0.85 * \left(\frac{50}{1.5}\right) * 10^3 * 0.7 * 0.059$

$A_s = 32.04\ cm^2 \quad \rightarrow \quad$ Seçilen $6Ø24 + 2Ø20 \ \ (34.72\ cm^2)$

$\rho \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \ \rightarrow \ \rho \geq 0.8 * \frac{1.65}{365} = 0.00362$

$\rho_{seçilen} = \frac{34.72}{70*50} = 0.00992 > 0.00362$

Mesnet üst donatı hesabı;

$\frac{\varepsilon_s'}{0.003} = \frac{x - d'}{x} \qquad \varepsilon_s' = 0.003\left(1 - \frac{d'}{x}\right)$

$a = k_1 x \qquad (k_1 = 0.7) \qquad \rightarrow \qquad \varepsilon_s' = 0.003\left(1 - k_1 \frac{d'}{a}\right) < \ \varepsilon_y$

$F_s' = A_s' E_s \varepsilon_s' = 0.003\left(1 - k_1 \frac{d'}{a}\right) E_s A_s' < f_{yd} A_s'$

$\Sigma F = 0 \ olduğundan \ \rightarrow \ 0.85 f_{cd} b_w a + \ E_s 0.003 A_s' \left(1 - k_1 \frac{d'}{a}\right) - A_s f_{yd} = 0$

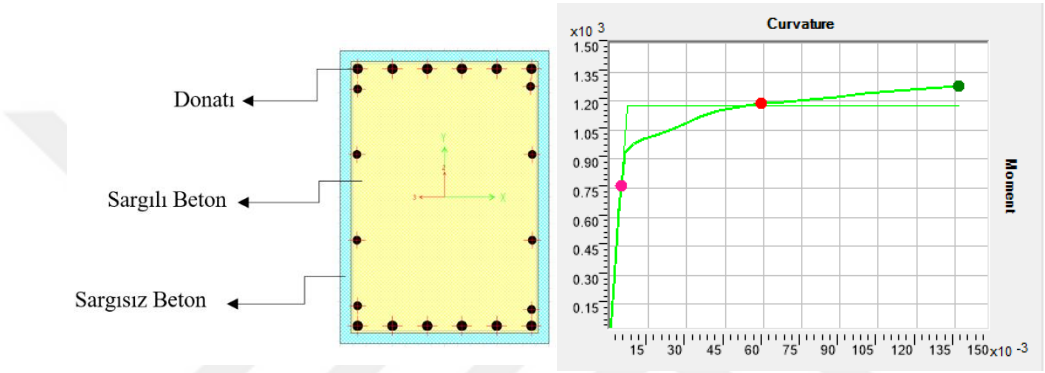
$14166a^2 + 752a - 40.37 = 0 \rightarrow \text{a} = 0.0331\text{m}$

$\varepsilon_s' = 0.003\left(1 - 0.7 \frac{0.03}{0.0331}\right) = 0.0011 < 0.0021$

Basınç donatısında meydana gelen şekil değiştirmeler çok küçük olduğundan basınç donatısı akmamıştır. Seçilen üst donatı ($6Ø24 + 2Ø20$) moment taşıma gücü açısından yeterlidir.

Kesit gövde donatısı mesnet alt ve üst donatı alanlarından en büyüğünün %30'undan az olmamalıdır. Bu yüzden kesite konulacak gövde donatısı $2 * 2Ø20$ ($12.56\ cm^2$) olarak seçilmiştir.

Kirişlerin kesme güvenliğini kontrol edebilmek için kesitteki plastik moment değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Plastik moment değerleri SAP2000 programında, "Section Designer" programı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan donatılar yönetmeliğe uygun şekilde programda modellenip kesitin plastik moment değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.14'da oluşturulan kesit verilmiştir.

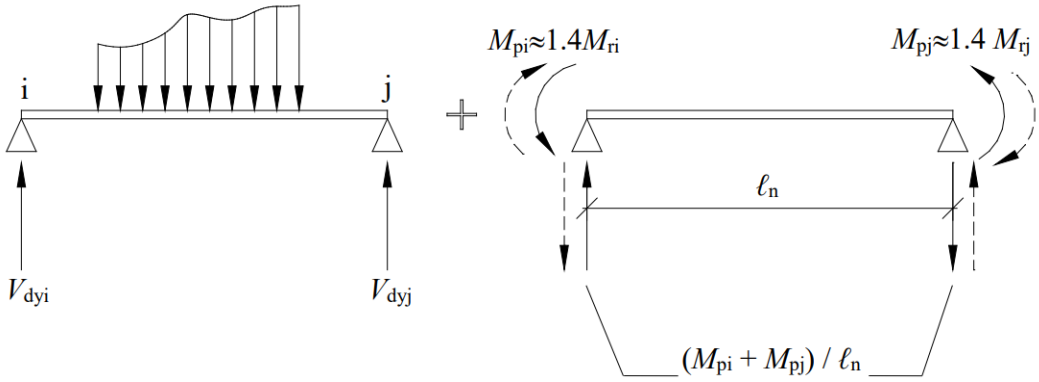


Şekil 4.14 İdealleştirilmiş moment-eğrilik diyagramı

Kesitin alt ve üst donatıları aynı olduğundan hesap değerleri aynıdır.

$M_y = 765.61\ kNm \quad ; \quad M_p = 1176.23\ kNm$

$Ø_y = 0.004335 \frac{1}{m} \quad ; \quad Ø_{y(idealized)} = 0.00666 \frac{1}{m}$



Şekil 4.15 Kirişlerde kesme tasarımı

$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj})/l_n$

$V_e \leq V_r$

$V_e \leq 0.85 b_w d \sqrt{f_{ck}}$

Hesap sonucunda örnek bir K50/70 kirişinde elde edilen değerler;

$V_{dyi} = -131.68\ kN\ ;\ V_{dyj} = 85.32\ kN\ ;\ M_{pi} = M_{pj} = 1176.23\ kN.m\ ;\ l_n = 2.35\ m$

$V_e = -131.68 \pm \frac{(1176.23+1176.23)}{2.35} = 1132.73\ kN$

Düşey yükler ile birlikte depremden hesaplanan dayanım fazlalığı katsayısı (D) ile büyütülmüş kesme kuvveti, V_e'den küçük olması durumunda bu değer kullanılacaktır.

$V_{e,art} = 1147.50\ kN \quad \rightarrow \quad V_e = \min(V_e, V_{e,art}) = 1132.73$ kN

$1132.73\ kN \leq 0.85 * 0.5 * 0.67 * \sqrt{50} * 10^3 = 2013.48\ kN$

Sarılma bölgesinde enine donatı hesabında, yalnız depremden oluşan kesme kuvveti değeri, depremin dikkate alınarak elde edilen kesme kuvveti değerinin yarısından daha büyük olduğundan betonun kesme dayanımına olan katkısı ihmal edilecektir.

$V_r = V_c + V_w \ \rightarrow V_c = 0,\ V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} \mathrm{d}$

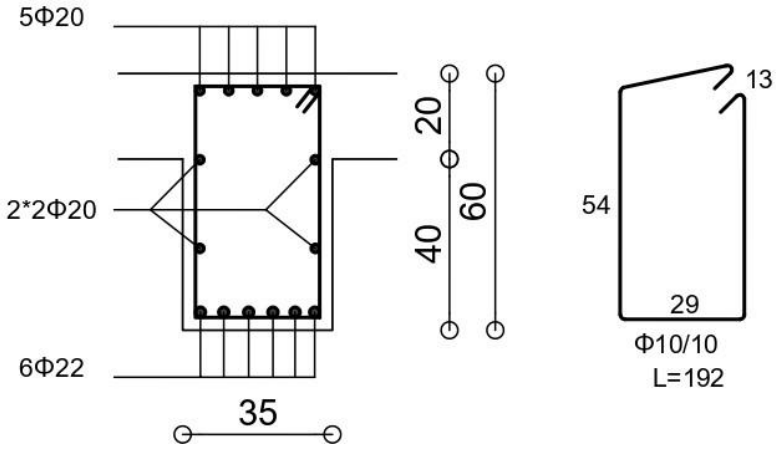
$$\frac{A_{sh}}{s} \geq \frac{V_w}{f_{ywd}\mathrm{d}} \quad \rightarrow \quad \frac{A_{sh}}{s} \geq \frac{1132}{36.5 * 67} = 0.462\ \frac{cm^2}{cm}$$

Seçilen enine donatı → 4 kollu Ø12/9

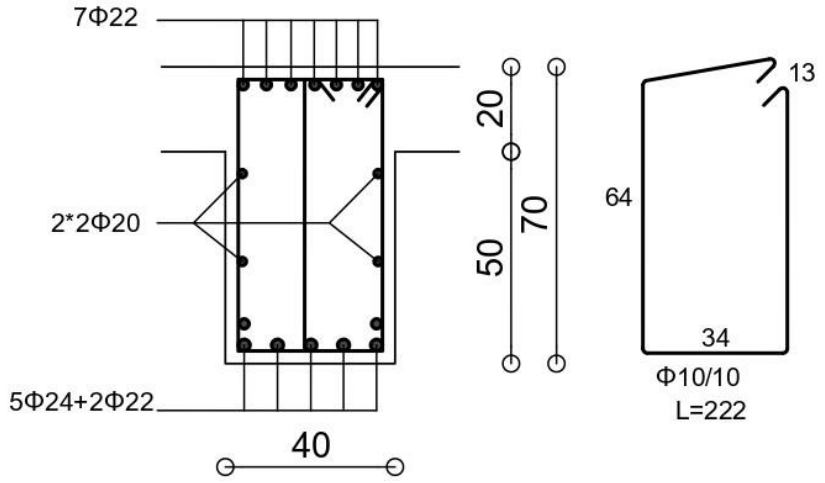
Diğer kirişlere ait boyuna ve enine donatılar Tablo 4.8'de verilmektedir. Tasarımı yapılan kirişlerin donatı yerleşimleri Şekil 4.16-18'de verilmiştir.

Tablo 4.8 Kiriş kesit donatıları

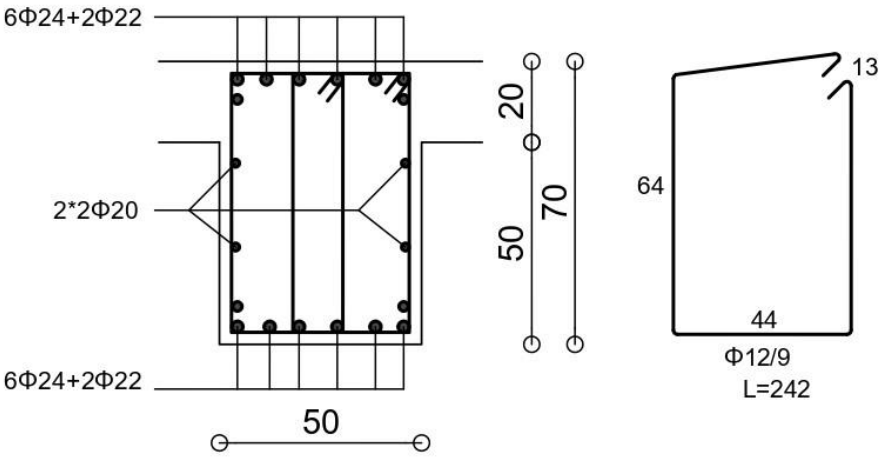
Kiriş Kesiti		Boyuna Donatı	Gövde Donatısı	Enine Donatı	Kol sayısı
K50/70	Alt	6 Φ 24+2 Φ 20	2*2 Φ 20	Φ 12/9	4
	Üst	6 Φ 24+2 Φ 20			
K40/70	Alt	7 Φ 22	2*2 Φ 20	Φ 10/10	3
	Üst	5 Φ 24+2 Φ 22			
K35/60	Alt	5 Φ 20	2 Φ 20	Φ 10/10	2
	Üst	6 Φ 22			



Şekil 4.16 K35/60 Kiriş donatı detayı



Şekil 4.17 K40/70 Kiriş donatı detayı



Şekil 4.18 K50/70 Kiriş donatı detayı

4.4.3.2 Kolonların Tasarımı

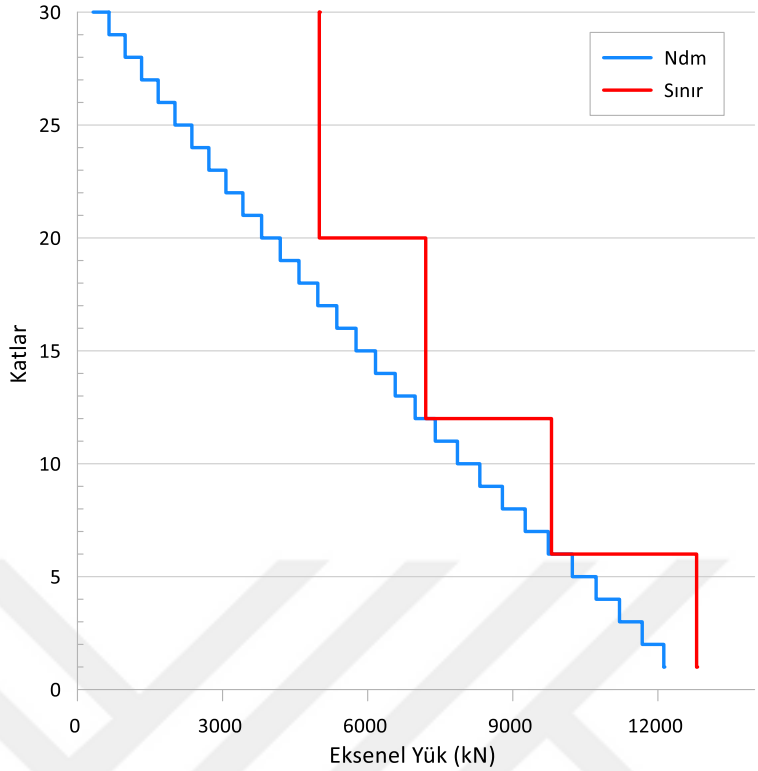
Düşey taşıyıcı elemanlar olan kolonlarda eksenel yükün alt katlarda büyük artış göstermesinden dolayı tarafsız eksen derinliği artmakta, bu da kesitin sünek davranıştan uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Elemanın sünek davranış gösterebilmesi için gelen düşey yükün belli sınırlar içerisinde kalması gerekmektedir. Yönetmelikte kolonlar için düşey yükün sınırlandırılması istenmektedir. Çalışma kapsamında 4 farklı kesite sahip kolon kullanılmıştır. Bu elemanlara etkiyen maksimum eksenel kuvvet, depremli ve depremsiz duruma göre kontrol edilmiştir, (Tablo 4.9).

TBDY 2018'e göre depremli durumda $N_{dm}/A_c f_{ck}$ < 0.4 olmalıdır. TS500'e göre ise $N_{dm}/A_c f_{ck}$<0.6 olmalıdır. Tablodan da görüleceği gibi tüm kolonlar için maksimum eksenel kuvvetler sınırları aşılmamıştır.

Tablo 4.9 Kolon eksenel kuvvet sınırları

Kolon Kesiti	Alan (m^2)	f_{ck} (kN/m^2)	*1.4G+1.6Q* (kN)	$N_d/A_c f_{ck}$	G+Q+E (kN)	$N_{dm}/A_c f_{ck}$	*Limit* $N_{dm}/A_c f_{ck}$	*Kontrol*
S80x80	0.64	50000	11524	0.36012	12121	0.37878	0.4	√
S70x70	0.49	50000	9166	0.37412	9734	0.39730		√
S60x60	0.36	50000	6553	0.36405	6981	0.38783		√
S50x50	0.25	50000	3317	0.26536	3420	0.2736		√

Hesaplar açısından temsili olması amacıyla C31 kolonunun katlara göre eksenel yük değişimi ve sınır eksenel yük durumu Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19 C31 kolonu için eksenel yük değişimi

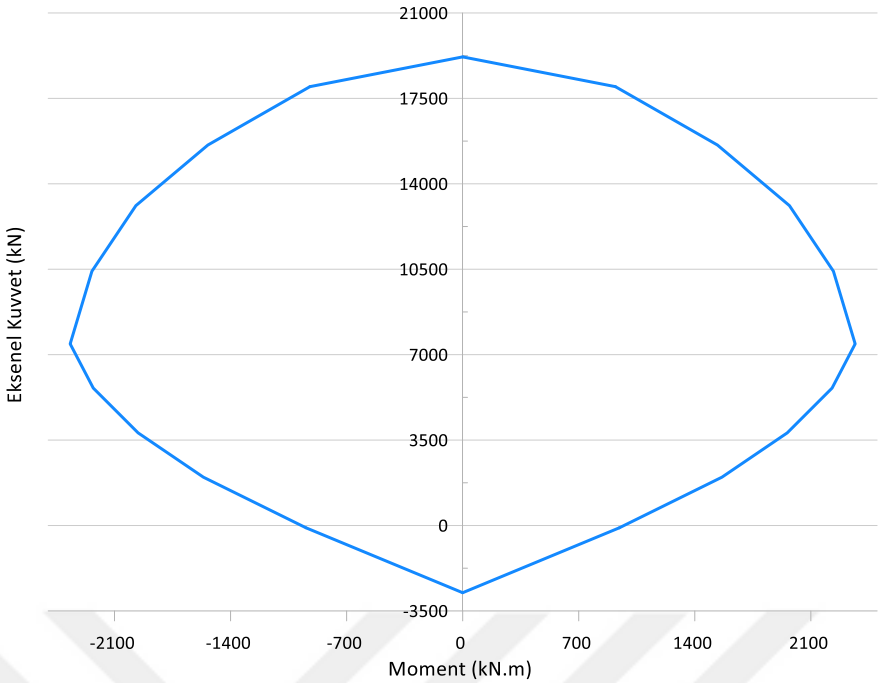
Deprem hesapları sonucunda ETABS yazılımı kullanılarak kolonların gerekli donatı alanları hesaplanmıştır. Hesaplanan donatı alanları örnek olarak S80x80 kolonu üzerinde gösterilmiştir.

Analiz sonucunda S80x80 kolonu için;

$\rho_{gerekli} = \rho_{min} = 0.01 \rightarrow A_{s,min} = 80x80x0.01 = 64\ cm^2$ olarak hesaplanmıştır.

$Buna\ göre\ seçilen\ donatı \rightarrow 26Ø20$ ve $\rho = (26 * 3.14)/(80 * 80) = 0.0127$ olarak elde edilmiştir.

Kolona ait akma yüzeyi Şekil 4.20'de verilmiştir. Doğrusal deprem hesabı sonucunda en elverişsiz kuvvet değerlerinin, tanımlanan akma yüzeyi içinde kaldığı görülmüştür. Bu sonuçlar esas alındığında tasarımın yeterli olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.20 S80x80 kolon için akma yüzeyi

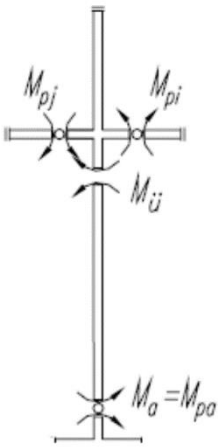
Kolonun enine donatısının hesabı maksimum basınç kuvveti oranına göre değişmektedir. N_d>$0.20\ A_c f_{ck}$ koşulunu sağladığı için sarılma gölgelerindeki enine donatı hesabı aşağıda gösterilmektedir:

$$\frac{A_{sh}}{s} \geq 0.30 * 69.6 \left[\left(\frac{(80*80)}{(76*76)}\right) - 1\right]\left(\frac{50}{420}\right) = 0.2685 \frac{cm^2}{cm}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \geq 0.075 * 69.6 \left(\frac{50}{420}\right) = 0.621 \frac{cm^2}{cm}$$

$$Seçilen\ enine\ donatı\ 4Ø14/9/15 \rightarrow 0.683\ \frac{cm^2}{cm}$$

Enine ve boyuna donatılar için tasarım yapılan kolonun kesme güvenliği hesabı yapılmalıdır. Kesme güvenliği, hesabında kullanılacak plastik momentler SAP2000 "Section Designer" yazılımı kullanılarak elde edilmiştir [31].



Şekil 4.21 Kolon $M_{ü}$ hesabı [26]

Zemin katta yer alan örnek bir S80x80 kolonunun kesme güvenliği aşağıda hesaplanmıştır.

$$M_{p,j} = 0, \qquad M_{p,i} = 727{,}28\ kN.m$$

$$M_{ü} = \Sigma M_p \frac{M_{ü(i)}}{M_{ü(i)} + M_{ü(i+1)}} = 727{,}28 \frac{39{,}47}{39{,}47 + 246{,}46} = 100.39\ kN.m$$

$M_a = 301.70\ kN.m$

$V_e = \frac{M_a + M_{ü}}{l_n} = \frac{100.39 + 301.70}{2{,}9} = 138.651\ kN$

Düşey yükler de dikkate alınarak depremden alınmış arttırılmış kesme kuvveti değeri V_e'den küçük olması durumunda V_e yerine bu değer kullanılmalıdır.

$$V_{e,art} = 827.65\ kN \quad \rightarrow \quad V_e = \min(V_e, V_{e,art}) = 138.65\ kN$$

$$V_e = 138.65 < V_{max} = 0.85 * 800 * 800 * 10^{-3}\sqrt{50} = 3847\ kN$$

Kesit boyutları kesme güvenliği açısından uygundur. Sarılma bölgesinde enine donatı hesabında, yalnız depremden oluşan kesme kuvveti değeri, depremin dikkate alınarak elde edilen kesme kuvveti değerinin yarısından daha büyük olduğundan betonun kesme dayanımına olan katkısı ihmal edilmektedir.

$V_r = V_c + V_w \;\; \rightarrow \; V_c = 0, \;\; V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} \mathrm{d}$

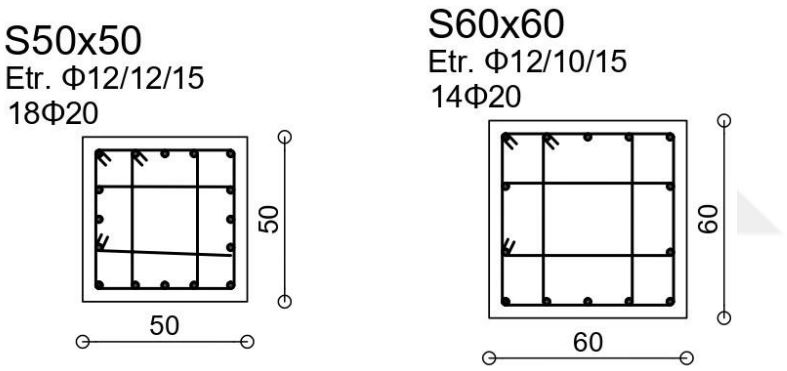
$V_r = V_w = 0.683 * 36.5 * 76 = 1894.64 \; kN$

$V_e = 138.65 \; kN \leq V_r = 1894.64$

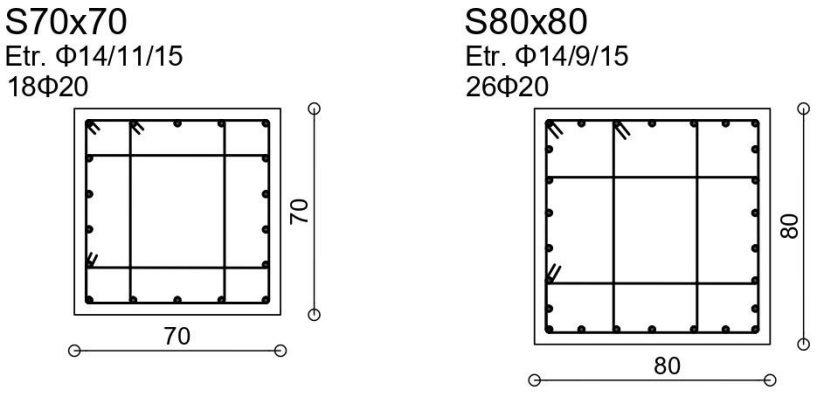
Yapılan hesaplar sonucunda kolonların boyuna ve enine donatı tasarımları Tablo 4.10'da verilmiştir. Kolon kesitlerinin donatı yerleşimi Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de verilmektedir.

Tablo 4.10 Kolon kesit ve donatıları

Kolon boyutu	Boyuna donatı	Donatı oranı	Enine donatı	Kol sayısı
S80x80	26 Φ 20	1.27	Φ 14/9/15	4
S70x70	18 Φ 20	1.15	Φ 14/11/15	4
S60x60	14 Φ 20	1.22	Φ 12/10/15	4
S50x50	18 Φ 20	2.24	Φ 12/12/15	4



Şekil 4.22 S50x50 ve S60x60 kolonu donatı detayı



Şekil 4.23 S70x70 ve S80x80 kolonu donatı detayı

4.4.3.3 Perdelerin Tasarımı

Yönetmelik kapsamında perdelerin sünek davranışa sahip olması istenmektedir. Alt katlara doğru artan eksenel kuvvet, bu elemanların sünek davranıştan uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple yönetmelikte perdeler için eksenel yükün sınır değeri verilmiştir. Perdelerin depremli durumdaki enkesit alanı $A_c \geq N_{dm}/(0.35f_{ck})$ şartını sağlamalıdır. Tablo 4.11'de perdelerin minimum enkesit alanı şartını sağladığı görülmektedir.

Tablo 4.11 Perde eksenel kuvvet sınırları

Perde Kesiti (Perde Genişliği)	f_{ck} (kN/m²)	G+Q+E (kN)	(A_c) Alan (m²)	$N_{dm}/0.35f_{ck}$ (m²)	*Kontol*
P45 (45cm)	50000	53785	5.265	3.073	√
P35 (35cm)	50000	33910	4.095	1.937	√
P25 (25cm)	50000	16382	2.925	0.936	√

Süneklik düzeyi yüksek olan betonarme perdelerin tasarımında enkesit koşulları, donatı oranları ve kesme güvenliği hesapları TBDY 2018'e göre yapılmıştır. En alt katta hesaplanan donatıları tüm katlarda kullanılmıştır. Donatı hesapları ETABS yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Perde elemanlarında $\frac{H_w}{l_w} = \frac{108}{5.9} = 18.31 > 2$ olduğundan perde uç bölgelerinde başlık bölgeleri oluşturulmuştur. Perde uç bölgeleri oluşturulurken TBDY 2018'de verilen kurallar esas alınmıştır.

Kritik perde yüksekliği (H_{cr});

$2l_w \geq H_{cr} \geq \max [\, l_w; H_w \,/\, 6]$

$11.8 \geq H_{cr} \geq \max [5.9; 108 \,/\, 6] \rightarrow \quad H_{cr} = 18$ m (5. kat)

Perdelerin gerekli donatı oranları, analiz hesapları sonucunda programdan alınmış ve bu orana göre donatı kesitleri seçilmiştir.

$\rho_{gerekli} = 0.0028 \rightarrow \quad A_{s,gerekli} = 0.0028 * (45 * 590) = 74.34\ cm^2$

Perde kesitinde gövdede ve başlıkta bulunması gereken minimum donatı oranlarına göre;

$Başlık\ donatısı \rightarrow \rho_{min} = 0.002 \rightarrow \quad A_{s,min} = 0.002 * (45 * 590) = 53.1\ cm^2$ olmak üzere;

$Seçilen\ başlık\ donatısı$ Ø14'tür

$Gövde\ donatısı \rightarrow \rho_{min} = 0.0025$

$A_{s,min} = 0.0025 * (590 - 2 * 45) * 45 = 56.25\ cm^2$ olmak üzere;

$Seçilen\ gövde\ donatısı$ Ø14'tür

Başlık ve gövde donatıları, hesaplanan donatı alanlarını sağlayacak şekilde kesite yerleştirilmiştir. Kesitlerin donatı yerleşimleri Şekil 4.24-26'de verilmiştir.

Perde uç bölgelerindeki enine donatılar X ve Y doğrultuları için ayrı olarak hesaplanmıştır.

X doğrultusu için;

$\frac{A_{sh}}{s} \geq \frac{2}{3} * 0.075 * 84 * \left(\frac{50}{420}\right) = 0.50 \frac{cm^2}{cm}$

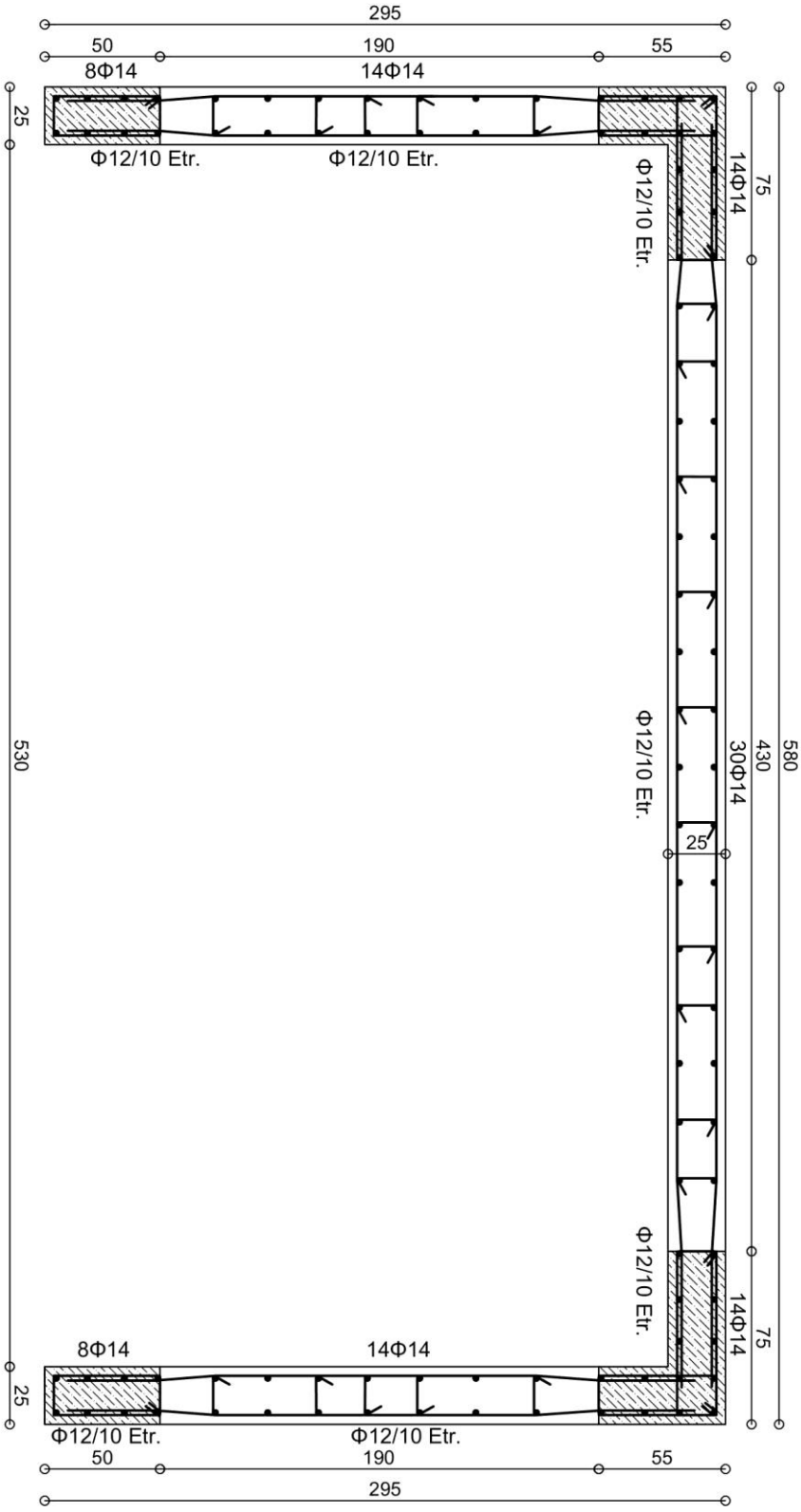
ve

Y doğrultusu için;

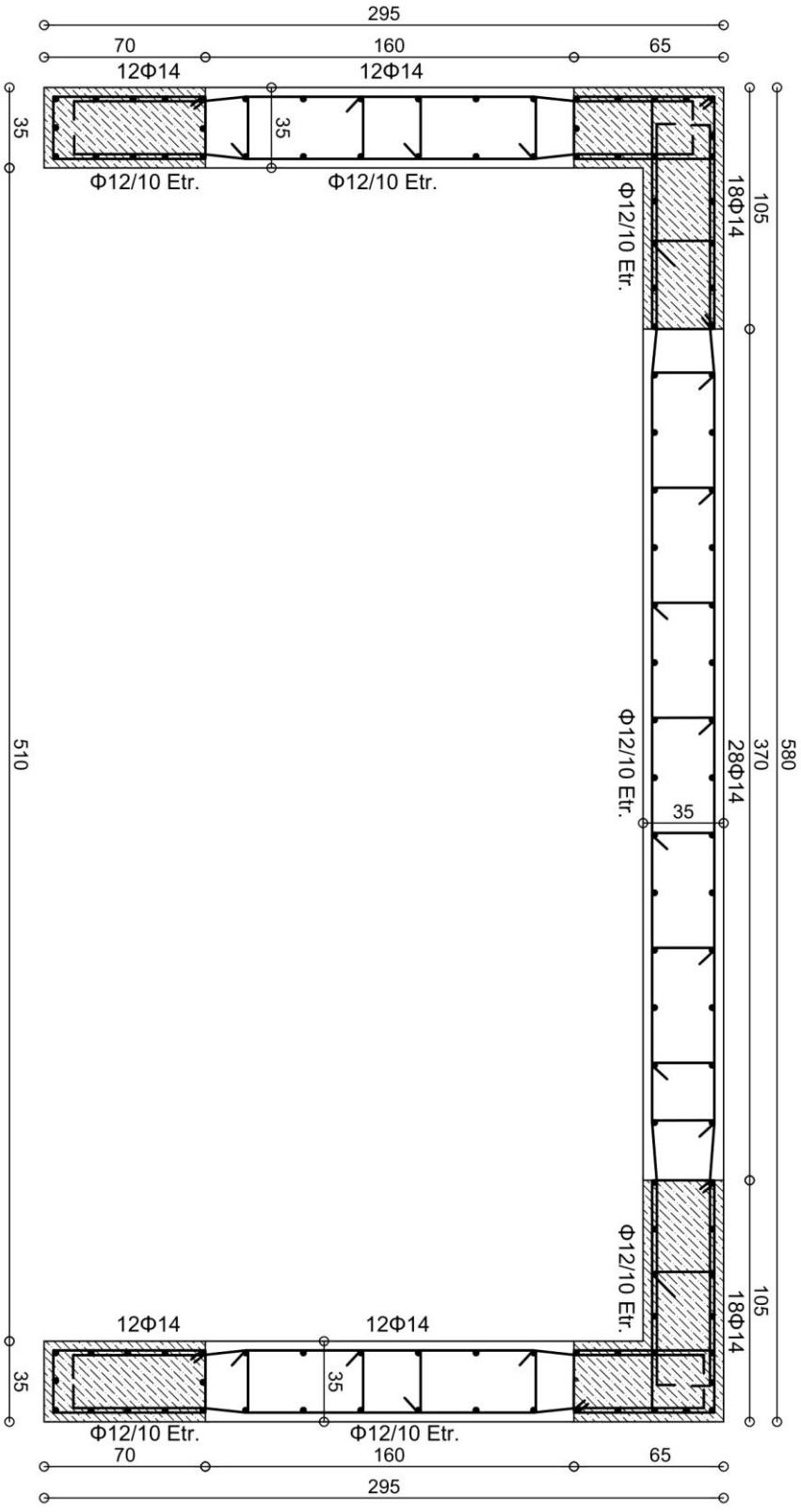
$\frac{A_{sh}}{s} \geq \frac{2}{3} * 0.075 * 39 * \left(\frac{50}{420}\right) = 0.232 \frac{cm^2}{cm}$ olmak üzere

Enine donatı Ø12/9 olarak seçilmiştir.

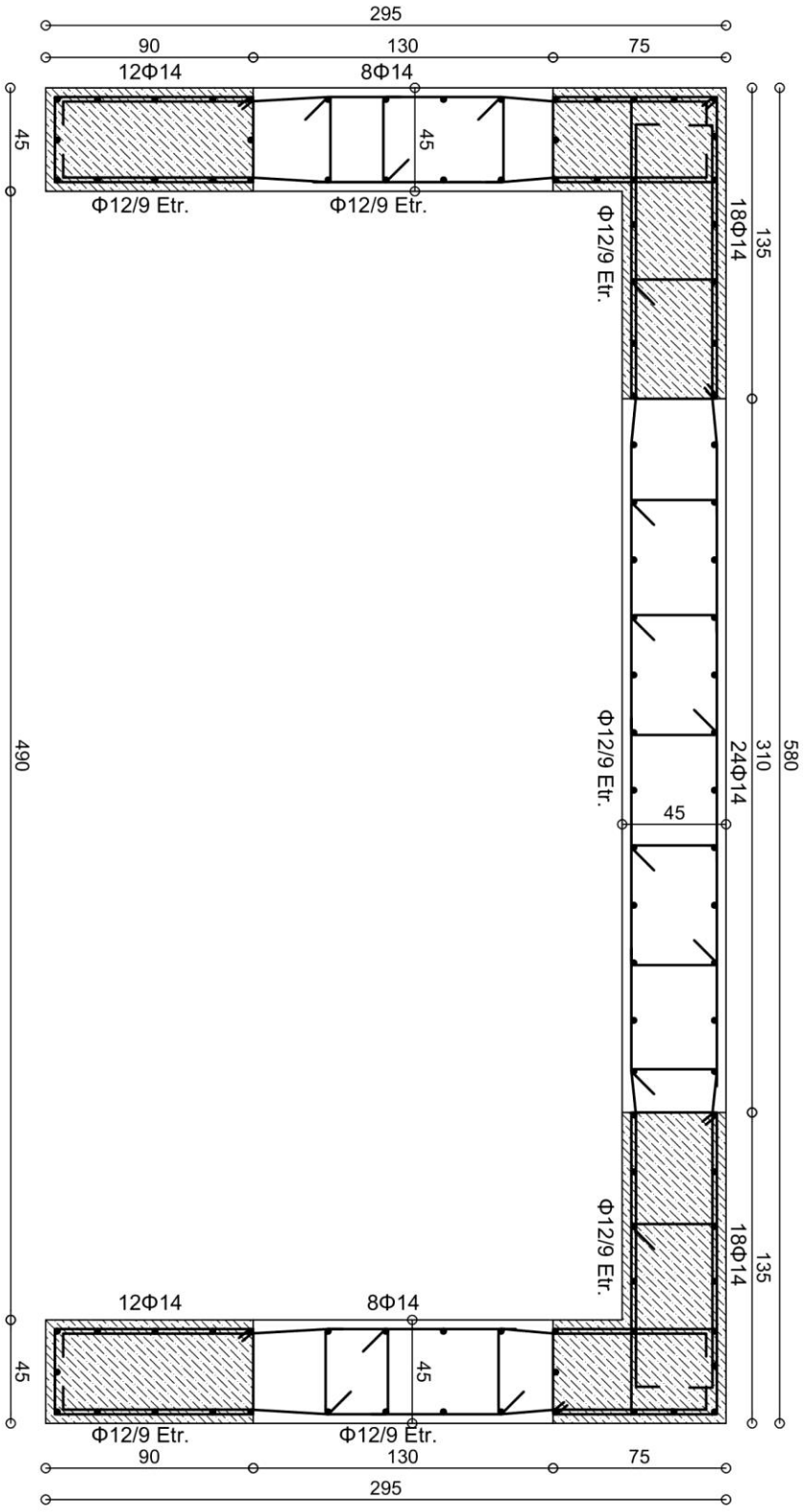
Perde kesitleri için seçilen donatılar tüm katlarda kullanılmıştır. Modelin daha kolay hazırlanması amacıyla başlık bölgeleri dışında, gövde bölgelerinde Ø14/15 boyuna, Ø12/15 enine donatı yerleştirilmiştir. Başlık bölgeleri için yönetmelikte verilen esaslara göre donatı hesaplanmıştır. Bu hesaplar sonucunda sistemin ön tasarımı yapılmış olmaktadır. Tüm kesitlere ait donatılar ve kesit ebat tasarımı yapıldığından müteakip aşamalardaki değerlendirme esaslarına geçilmektedir.



Şekil 4.24 P25 perde donatı detayı



Şekil 4.25 P35 perde donatı detayı



Şekil 4.26 P45 perde donatı detayı

4.5 Tasarım Aşaması-II

Bu aşamada, ön tasarımı yapılmış olan taşıyıcı sistem elemanlarının, normal performans hedefi için DD-4 deprem düzeyinde Kesintisiz Kullanımı (KK), ileri performans hedefi için ise DD-3 depremi altında Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyini sağlaması istenmektedir. Normal performans hedefi için doğrusal yöntemlerin kullanılması istenirken, ileri performans hedefi için ŞGDT uygulanarak doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kullanılması istenmektedir [26]. Çalışmada ele alınan yapının Deprem Tasarım Sınıfı 1 olduğu için normal performans hedefine göre değerlendirme yapılacaktır [26].

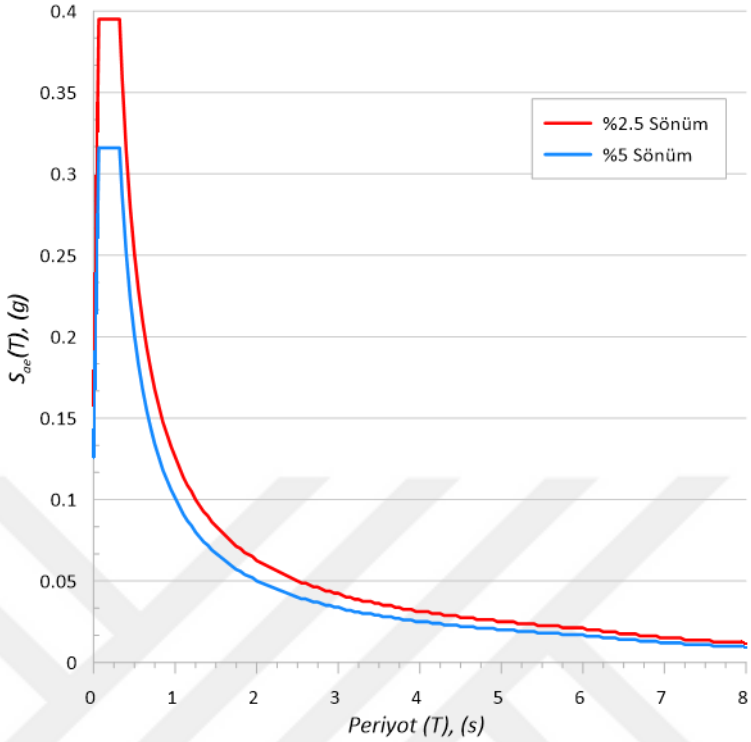
Bu aşamada taşıyıcı sistem modellemesinde Bölüm 3'te verilen esaslar dikkate alınmalıdır. Dayanıma Göre Tasarım (DGT) esaslı değerlendirme yapılacağından ilk aşamada kullanılan yük birleşimleri bu aşamada da aynen kullanılacaktır. Aynı zamanda bu aşamada Tasarım Aşaması-II'de verilen etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır. Bu aşamada sönüm oranının %2.5 alınması TBDY 2018'de belirtilmektedir.

4.5.1 Tasarım Aşaması-II için Deprem Hesapları

Bu aşamada deprem hesapları doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak yapılabilir. Çalışmaya konu yapı konut türü tasarlandığından yapının normal performans hedefini sağlaması istenmektedir. Bu aşamada Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımı kullanılarak doğrusal deprem hesabı yapılacaktır.

Bu aşamada deprem hesabı Mod Birleştirme Yöntemi (MBY) kullanılarak yapılacaktır. Mod katkılarının birleştirilmesinde, CQC esas alınacaktır. Yönetmeliğe göre deprem hesabı sırasında sönüm oranın %2.5 olması istenmektedir. DD-4 deprem düzeyi için tanımlanan yatay elastik tasarım spektrumu kullanılacaktır. Deprem tehlike haritasından elde edilen tasarım spektrumu %5 sönüm oranı için elde edilmiştir. Bu sebeple %2.5 sönüm oranı için spektrum $S_{ae}(T)$ değerleri 1.25 ile

büyütülecektir [26]. Şekil 4.27'de %2.5 sönüm oranı için spektrum diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.27 DD-4 için tasarım spektrumu

Deprem hesaplarında R/I=1 ve D=1 alınacağından azaltılmış tasarım ivme spektrumu, Şekil 4.27'de verilen spektruma eşit olmaktadır. İlk aşamada yapılan minimum taban kesme kuvvetine göre deprem kuvvetinin büyütülmesi bu aşamada yapılmayacaktır.

4.5.2 Tasarım Aşaması-II için Performans Değerlendirmesi

Deprem hesapları sonucunda elde edilen elverişsiz kesit tesirleri performans değerlendirmesinde kullanılacaktır. Elde edilen iç kuvvetler sünek davranışa sahip elemanlar için Etki/Kapasite(E/K)=1.5 değerini aşmamalıdır. Sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda ise $E/K=0.7$ değerini aşması istenmemektedir. Bu aşamada tüm kesitlerin moment ve kesme kapasiteleri hesaplanmalı ve gelen etki kuvvetlerine oranları sınır değerleri aşmaması sağlanmalıdır. Performans değerlendirmesi S80x80 kolonu ve K50/70 kirişi özelinde gösterilmiştir.

S80x80 kolonu için;

Deprem yüklemesi altında elde edilen etki (talep) kuvvetleri;

$M_{max} = 370.04\ kNm$ $V_{max} = 210.93\ kN$

S80x80 kolonu için kapasite değerleri;

$M_r = 839.93\ kNm$ $V_r = 1894.64\ kN$

Kolona ait performans değerlendirmesi;

$\frac{E}{K} = \frac{370.04}{839.93} = 0.465 < 1.5\ (Sünek\ davranış\ için)$

$\frac{E}{K} = \frac{210.93}{1894.64} = 0.111 < 0.7\ (Sünek\ olmayan\ davranış\ için)$

K50/70 kirişi için;

Deprem yüklemesi altında elde edilen etki (talep) kuvvetleri;

$M_{max} = 689.46\ kNm$ ve $V_{max} = 393.53\ kN$

K50/70 kolonu için kapasite değerleri;

$M_r = 727.78\ kNm$ ve $V_r = 1129.82\ kN$ olmak üzere,

Kirişe ait performans değerlendirmesi;

$\frac{E}{K} = \frac{689.46}{727.78} = 0.947 < 1.5\ (Sünek\ davranış\ için)$

$\frac{E}{K} = \frac{393.53}{1129.82} = 0.348 < 0.7\ (Sünek\ olmayan\ davranış\ için)$

olarak kontrol edilmiştir.

Yapılan hesap sonucu tüm elemanların E/K oranlarının yönetmelikte verilen sınır değeri sağladığı görülmüştür. Bu sebeple yapının DD-4 depremi altında Kesintisiz Kullanım (KK) performans düzeyini sağladığı görülmüştür. Yönetmelikte tekrarlanma periyodu en sık olarak belirtilen DD-4 depremi altında yapıda hiçbir hasar oluşmaması yani doğrusal davranması istenmektedir. Hesaplar sonucunda DD-4 deprem düzeyi altında yapının hasar almadığı ve depremin ardından hiçbir onarım gerektirmeden kullanıma devam edilebileceği belirlenmiştir. Bu itibarla bu aşamadaki değerlendirme tamamlanmış olmaktadır.

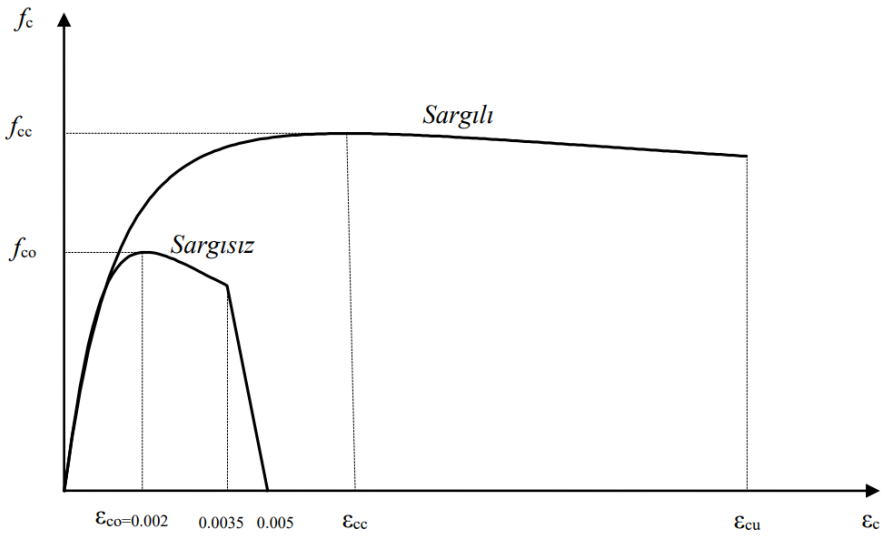
4.6 Tasarım Aşaması-III

Bu aşamada yapılmış olan ön tasarıma göre sistem yönetmelikte en büyük yer hareketi olarak tanımlanan DD-1 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) deprem düzeyine göre analiz yapılacak ve değerlendirilecektir. Bu aşamada normal performans hedefi istenilmesi durumunda taşıyıcı sistem elemanları Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyini sağlamalıdır. İleri performans hedefi için ise taşıyıcı sistem elemanları Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyini sağlaması istenmektedir. Bu aşamada hesaplar SAP2000 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. ETABS yazılımı ilk iki aşamada kullanılan model SAP2000 yazılımına aktarılmış ve doğrusal olmayan hesap için yeniden düzenlenmiştir [31]. Her iki programın da çözüm yöntemleri ve kullanım menüleri aynı olmasına karşın model SAP2000 programına aktarılmıştır. Bunun en önemli sebebi SAP2000 yazılımının farklı deprem kayıtları için tanımlanan analizleri paralel olarak (bilgisayarın fiziksel işlemci çekirdek sayısına bağlı) yapılmasına imkân vermesidir. Bu şekilde analiz süresi önemli ölçüde azalmaktadır. Tasarım Aşaması-III'te on bir deprem kaydı için ayrı ayrı analiz yapılmakta ve bu deprem kayıtları yatayda doksan derece döndürülerek tekrarlanmaktadır. Bu yöntem ile toplamda 22 analiz yapılmaktadır. Analizlerin aynı anda paralel olarak SAP2000 üzerinden yapılmış ve böylelikle önemli ölçüde analiz süresi kısaltılmıştır.

4.6.1 Taşıyıcı Sistemin Modellenmesi

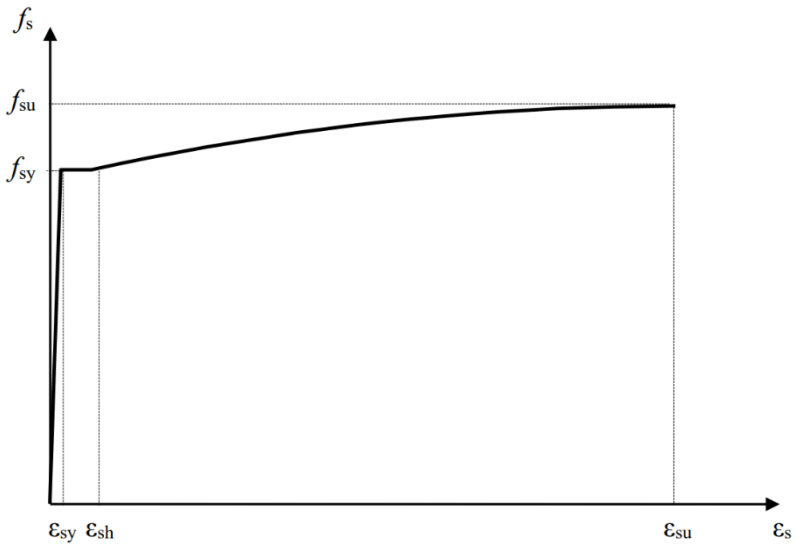
Taşıyıcı sistem modellenirken yönetmelikte verilen kurallar esas alınmıştır. Taşıyıcı sistem modellenirken doğrusal olmayan modeller kullanılmıştır. Malzeme modelleri oluşturulurken karakteristik dayanım yerine beklenen dayanım değerleri kullanılmıştır.

Malzemeler doğrusal olmayan davranışa göre modellenmiştir. Gerek donatı çeliği gerekse beton malzeme modelleri oluşturulurken yönetmelikte verilen kurallar dikkate alınmıştır.



Şekil 4.28 Beton malzeme modeli

Şekil 4.28'den görüleceği gibi beton modelinde sargılı beton ile sargısız beton farklı davranışa sahiptir. Betonarme elemanlarda sargı etkisinin artması ile beton dayanımında artış olmaktadır. Her kesitte sargı etkisinin farklı olmasından dolayı tüm kesitlerde sargısız beton modeli aynı olmasına karşın, sargılı beton modeli farklı olmaktadır. Tüm kesitlerde kullanılacak donatı modeli örneği Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.29 Donatı çeliği malzeme modeli

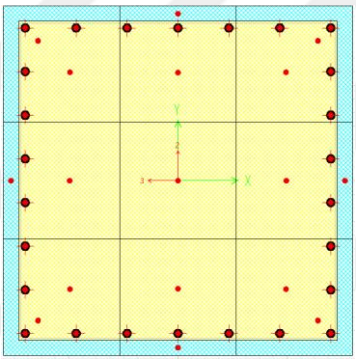
Yapı tasarımında S420 donatı çeliği kullanılmıştır. Bu donatı çeliğine ait bilgiler aşağıda sunulmuştur.

$f_{sy} = 420MPa\,,\qquad \varepsilon_{sy} = 0.0021$

$\varepsilon_{sh} = 0.008\,,\qquad \varepsilon_{su} = 0.08$

$f_{su} \,/\, f_{sy} = 1.15 - 1.35$

Kolon ve kiriş elemanlar yayılı -veya yığılı- plastik davranış modeline göre modellenebilmektedir. Sunulan çalışma kapsamında kolon elemanları yayılı plastik davranış modeli kullanılarak modellenmiştir. Kiriş elemanları ise uçlarına plastik mafsal yerleştirilerek, yığılı plastik davranış modeline göre modellenmiştir. Kolon elemanların lif modeli, S80x80 kolonu için Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30 S80x80 kolonu lif modeli

Yayılı plastik davranış modeli kullanılan kesitlerde, etkin kesit rijitliğinin kullanılmayacaktır. Bunun sebebi malzemenin doğrusal olmayan modeli kullanıldığından herhangi bir gerilme-şekildeğiştirme noktasında elemanın direkt olarak rijitliği hesaplanmaktadır. Yığılı plastik davranış modellinin kullanıldığı kiriş elemanlarında, iki plastik mafsal arası doğrusal olarak davranmaktadır. Bu sebeple iki mafsal arasında kalan eleman için etkin kesit rijitliği kullanılmalıdır. Kirişler için etkin kesit rijitliği (3.28) ve (3.29)'da verilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

Perde elemanları yönetmelik gereği yayılı plastik davranış kullanılarak modellenmiştir. İlk aşamada yapılan tasarıma göre modelleme yapılmıştır. Döşemeler ve bodrum perdelerinin doğrusal olmayan davranış kullanılarak modellenmesi zorunlu değildir. Bu sebeple modelin çözümünü hızlandırmak için bu elemanlar doğrusal olarak modellenmiştir. Doğrusal olarak modellenen bodrum

perdeleri ve döşemeler için Tablo 3.9'da verilen etkin kesit rijitliklikleri kullanılmıştır.

4.6.2 Deprem Hesabı

Yüksek bina taşıyıcı sisteminin III. Aşama deprem hesabı, DD-1 deprem etkisi altında ZTADOHY kullanılarak yapılmıştır. Deprem hesabı sırasında sönüm oranı %2.5 alınmıştır. İlk aşama hesaplarında A1 türü düzensizliğin olmaması ve $\eta_{bi} < 1.5$ olduğundan ek dışmerkezlik etkisi dikkate alınmamıştır.

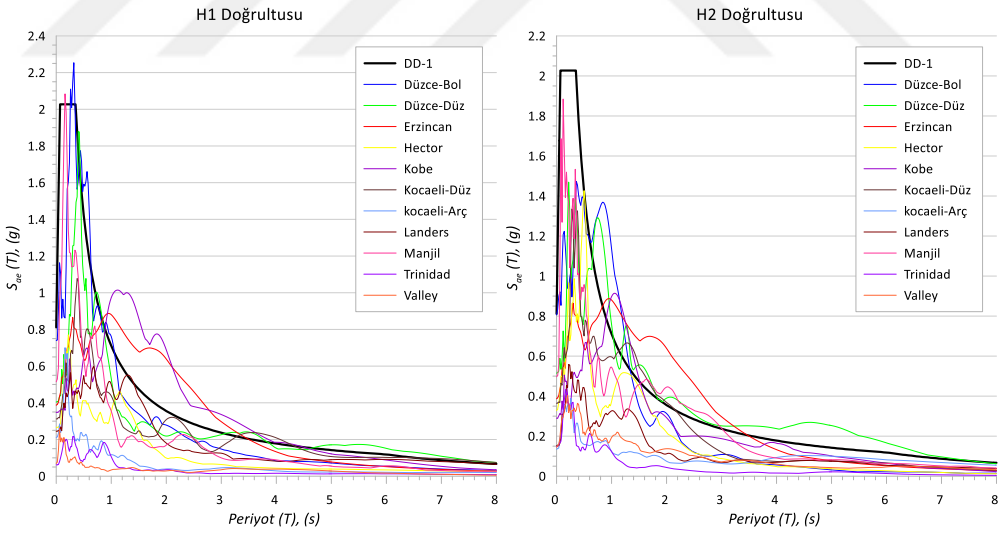
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapta kullanılmak üzere on bir deprem kaydı takımı seçilmiştir. Deprem kayıtları, fay mekanizması, zemin özellikleri, faya olan uzaklık gibi parametreler dikkate alınarak seçilmiştir. Deprem ivme kayıtları PEER NGA veri bankasından seçilmiştir. Seçilen deprem kayıtları Tablo 4.12'de verilmiştir [32]. Binanın yapılması planlanan konumda zemin koşulları ZC olarak kabul edilmiştir. Bu sebeple seçilen deprem kayıtlarının bu zemin sınıfına uygun olması hedeflenmiştir. Binanın yapılacağı konuma en yakın fay olan Kuzey Anadolu Fay hattına olan uzaklığı yaklaşık olarak 16 km'dir. Yanal atımlı fay mekanizmasına sahip bu fayda geçmişte büyüklüğü anlamlı olan depremler meydana gelmiştir. Tablo 4.12'de fay hattı üzerinde gerçekleşmiş depremlere de yer verilmiştir. Özellikle yapının faya olan uzaklığı ve zemin koşulları deprem kayıtlarının seçiminde önemli etken olmuştur. Seçilen tüm kayıtlar, binaya en yakın fayın özellikleri dikkate alınarak yapılmıştır.

Tablo 4.12 Deprem kaydı bilgileri

Deprem Adı	Peer No	Fay Mekanizması	İstasyon	Moment Büyüklüğü	En kısa Uzaklık (Rrup) (km)	Zemin Türü
Düzce 1999	1602	Yanal Atımlı	Bolu	7.14	12.02	C
Düzce 1999	1605	Yanal Atımlı	Düzce	7.14	6.58	C
Erzincan 1992	821	Yanal Atımlı	Erzincan	6.69	4.38	C
Hector Mine 1999	1787	Yanal Atımlı	Hector	7.13	11.66	C
Kobe 1995	1114	Yanal Atımlı	Port Island	6.9	3.31	C
Kocaeli 1999	1158	Yanal Atımlı	Düzce	7.51	15.37	C
Kocaeli 1999	1148	Yanal Atımlı	Arçelik	7.51	13.49	C
Landers 1992	900	Yanal Atımlı	Yermo Fire Station	7.28	23.62	C
Manjil 1990	1633	Yanal Atımlı	Abbar	7.37	12.55	C
Trinidad 1980	280	Yanal Atımlı	Rio Dell Overpass	7.2	76.26	C
Imperial Valley 1979	175	Yanal Atımlı	El Centro Array #12	6.53	17.94	C

Seçilen deprem kayıtlarının iki yatay bileşenine ait ivme spektrum diyagramları hazırlanmış ve DD-1 depremi için elde edilen ivme spektrumu ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.31). DD-1 için ivme spektrumu oluşturulurken yerel zemin koşulları da dikkate alınmıştır.

Tasarım Aşaması-III için 11 adet deprem kaydı takımı seçilmiştir. Deprem kayıtlarının seçilmesinde TBDY 2018'de verilen koşullar dikkate alınmıştır. Günümüzde deprem kayıtları için veri bankaları her ne kadar çok veri de içerseler, yönetmelikle tam uyumlu olarak deprem verisinin seçilmesi olanaksızdır. Zemin parametreleri, faya yakınlık ve pik zemin hızı gibi değerlerin DD-1 depremine uygun olarak seçilmesi son derecede zordur. Bu durum deprem seçimlerinde çok dikkat edilmesine karşın, yönetmeliğe göre tam uygun deprem kaydının bulunması olanak dışıdır.



Şekil 4.31 Deprem kayıtları ivme spektrumları

Şekil 4.31'de görüleceği gibi seçilen deprem kayıtlarına ait ivme spektrumları DD-1 için tanımlanan ivme spektrumunun altında kalmıştır. Bu sebeple seçilen deprem kayıtları DD-1 deprem düzeyi için spektral uyuşum sağlayacak şekilde

ölçeklendirilmelidir. TBDY 2018'e göre deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi iki farklı yöntem ile yapılabilmektedir.

1) Basit Ölçeklendirme

Bu yöntemde deprem ivme kayıtlarından elde edilen spektrum eğrileri ile istenilen deprem düzeyi için hesaplanan ivme spektrumu kıyaslanır. Depremin iki yatay bileşeni dikkate alınarak hesap yapılacak ise, tüm kayıtlar ait spektrumlarının ortalaması alınarak, elde edilen spektrum eğrisinin $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ arasındaki genliği tasarım ivme spektrumu eğrisi genliğinden daha küçük olmayacak şekilde ölçeklendirme katsayısı hesaplanarak ve tüm deprem kayıtlar bu katsayı ile ölçeklendirilmektedir.

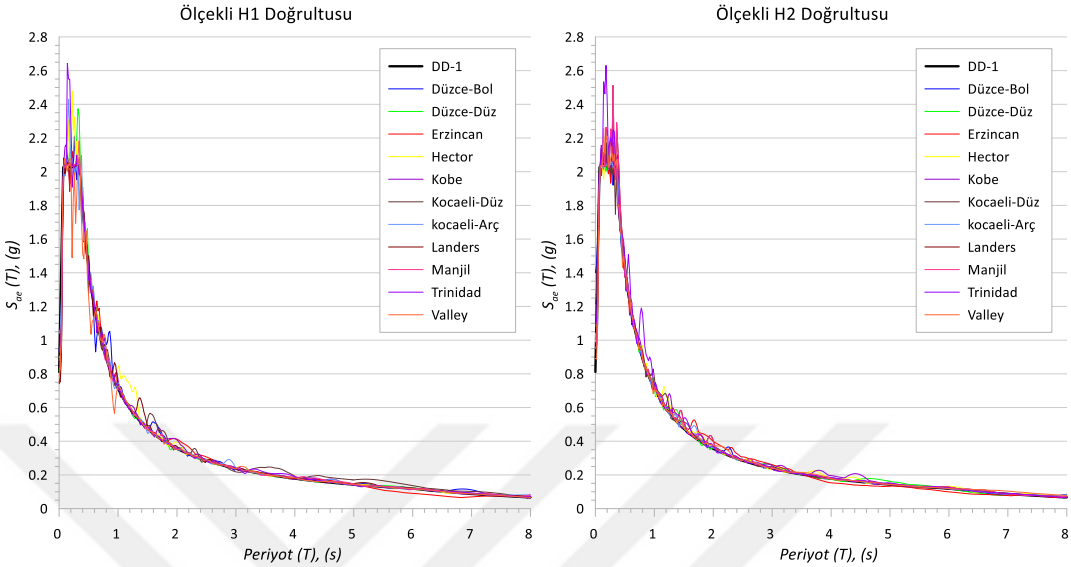
Üç boyutlu hesap yapılması durumunda depremin yatay bileşenlerine ait kayıtlarının spektrumlarının bileşkesi alınacak ve bileşke spektrumun $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ arasındaki genliği tasarım ivme spektrumu eğrisi genliğine oranı 1.3'ten daha küçük olmayacak şekilde ölçeklendirme katsayısı hesaplanacak ve tüm deprem kayıtlar bu katsayı ile ölçeklendirilecektir.

2) Spektral Uyuşum Yöntemi ile Ölçeklendirme

Bu yöntem ile deprem ivme spektrumları tasarım ivme spektrumuna tam uyuşum sağlayacak şekilde ölçeklendirilir. Ölçeklendirme iki farklı yöntem kullanılarak yapılmaktadır. İlk yöntemde ivme spektrumları zaman tanım alanında ölçeklendirilir. İkinci yöntemde ise ivme spektrumları frekans tanım alanında ölçeklendirilir. Bu iki yöntem de tasarım ivme spektrumu ile tam uyuşum sağlayacak şekilde ölçeklendirme yapılmaktadır. Fakat iki yöntemin uygulama adımları birbirlerinden tamamen farklıdır. Frekans tanım alanında ölçeklendirme yönteminin kullanılması durumunda tasarım ivme spektrumu ile daha iyi uyuşum sağlanmaktadır. Fakat frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılması, deprem kaydının frekans içeriğini değiştirmekte bu ise deprem kaydının karakteristik özelliklerinin değişmesine sebep olmaktadır [35].

Ölçeklendirme işleminde SEISMOMATCH 2018 yazılımı kullanılmıştır [36]. Bu yazılım, zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemini kullanarak deprem ivme

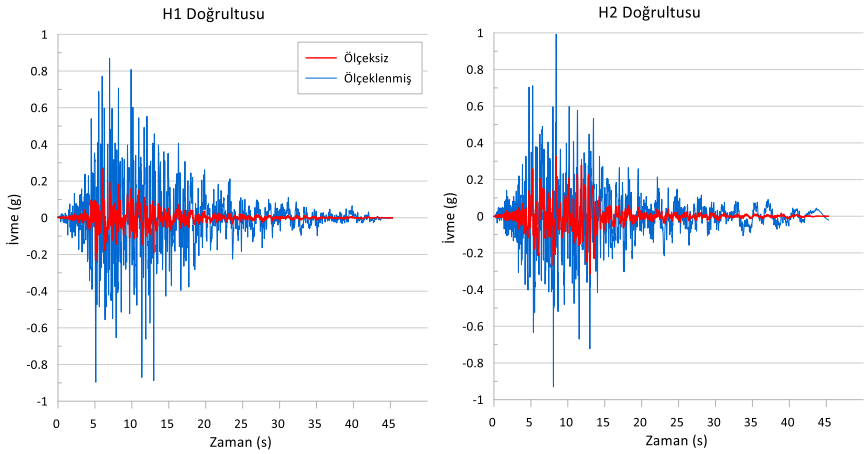
spektrumlarını ölçeklendirmektedir [37]. Bu yazılım kullanılarak deprem kaydı takımlarının içerdikleri bileşenler ayrı ayrı ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarına ait ivme spektrumları Şekil 4.32'de verilmiştir.



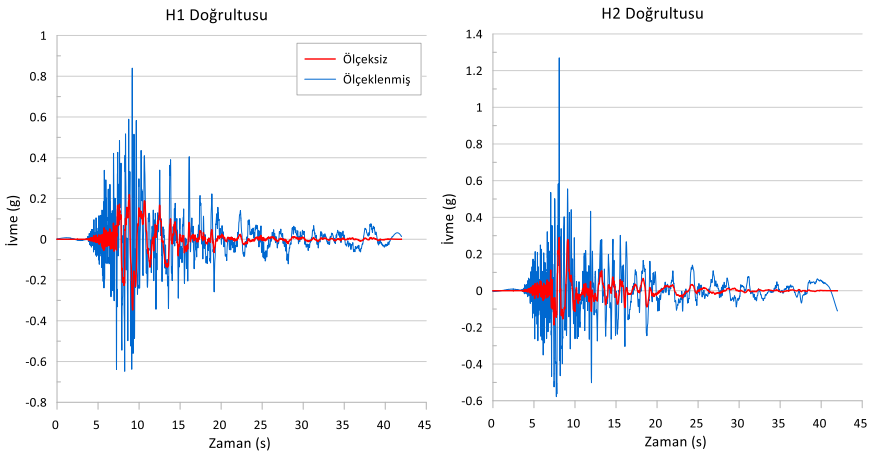
(a) H1 Doğrultusu **(b)** H2 Doğrultusu

Şekil 4.32 Ölçekli deprem kayıtları ivme spektrumları

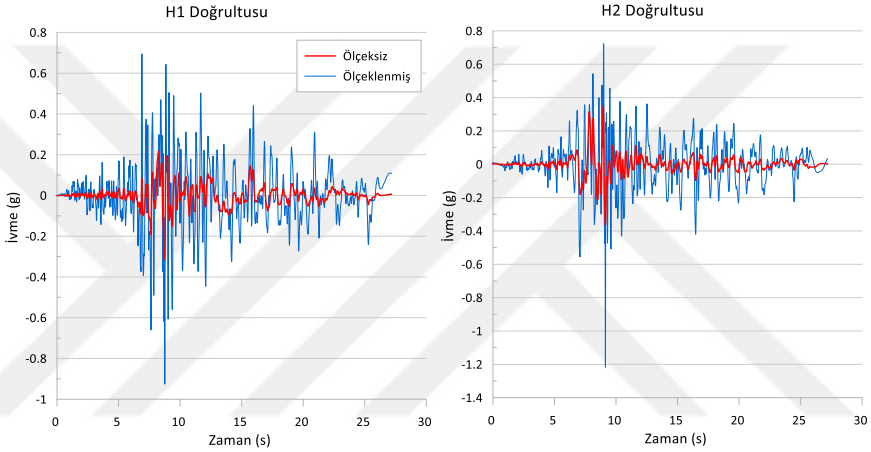
Deprem kayıtlarının spektrum uyuşum sağlayacak şekilde ölçeklendirilmesi sonucunda ivme değerlerinde anlamlı seviyelerde artış olmuştur. Ölçekli ve ölçeksiz durum için ivme-zaman değişimi Şekil 4.33-40 arasında verilmektedir.



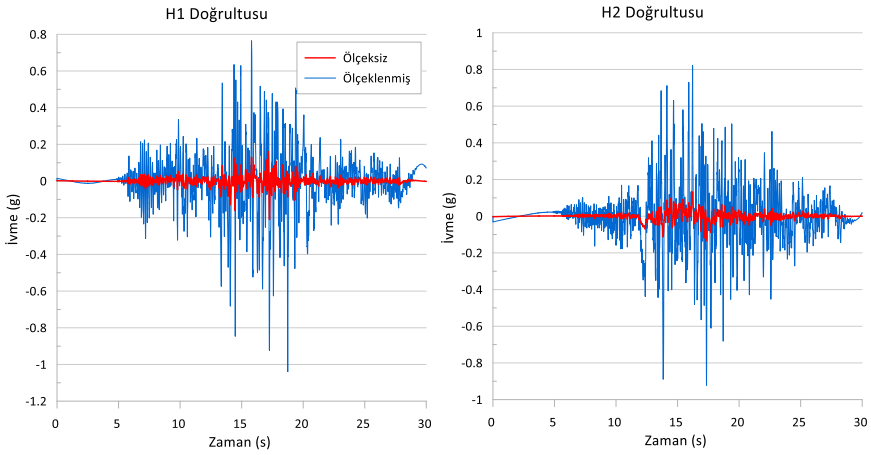
Şekil 4.33 Hector depremi ivme kaydı



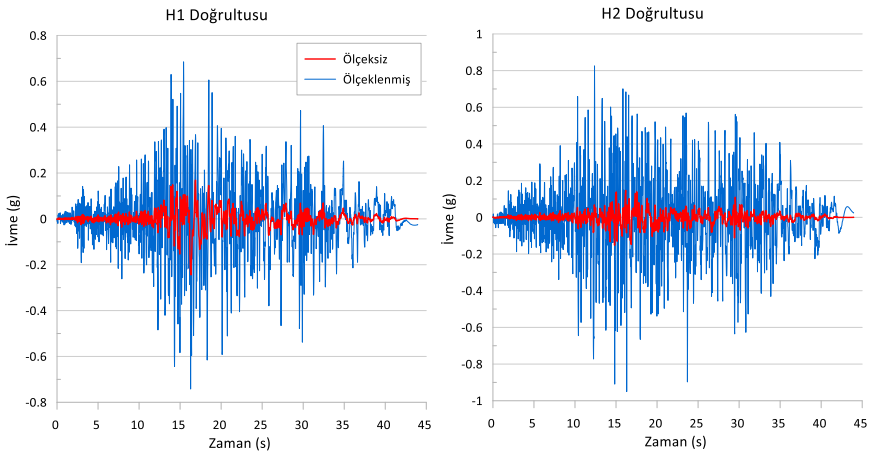
Şekil 4.34 Kobe depremi ivme kaydı



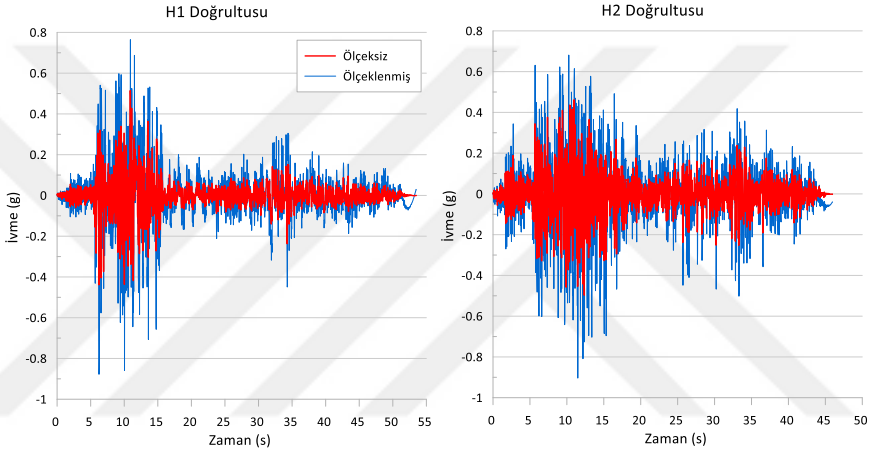
Şekil 4.35 Kocaeli-Düz depremi ivme kaydı



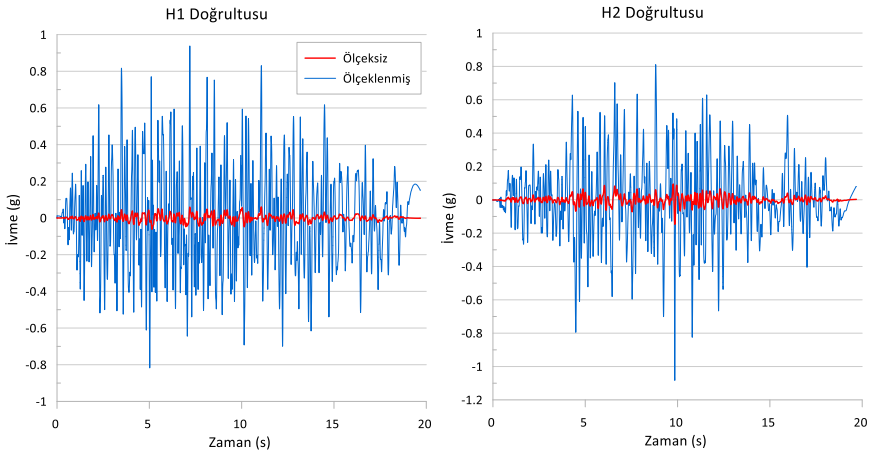
Şekil 4.36 Kocaeli-Arc depremi ivme kaydı



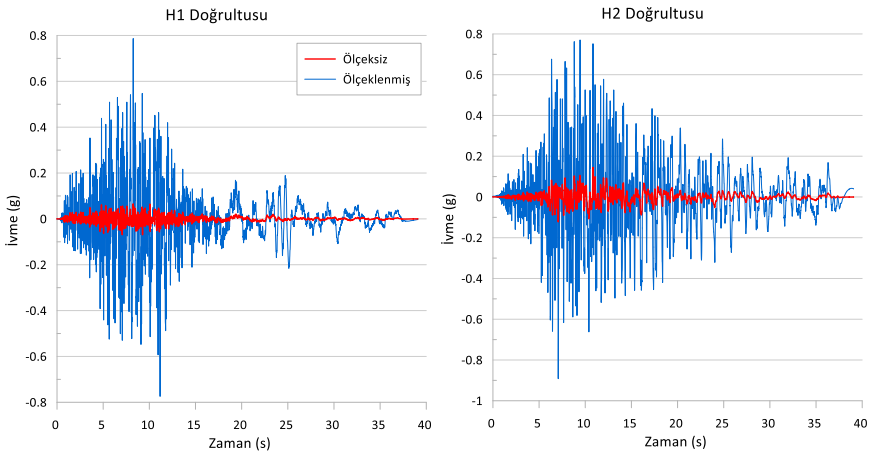
Şekil 4.37 Landers depremi ivme kaydı



Şekil 4.38 Manjil depremi ivme kaydı



Şekil 4.39 Trinidad depremi ivme kaydı



Şekil 4.40 Imperial Valley depremi ivme kaydı

Şekil 4.33-40 arasında verilen şekillerde görüleceği gibi deprem ivme kayıtları önemli oranda büyütülmüştür. Burada, depremlerin frekans içerikleri değişmese de ivme değerleri artmıştır. Ölçeklendirilen deprem ivme kayıtlarının pik değerleri 0.9g-1 g arasında değişmektedir.

Seçilen 11 deprem kaydı takımları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler SAP2000 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerin daha kısa sürede tamamlanabilmesi amacıyla analizler eş zamanlı olarak yapılmıştır. Analiz sonucundaki dosya boyutunun büyüklüğü göz önüne alındığında analizler 4'lü gruplar haline getirilmiş ve ayrı ayrı dosyalara kaydedilmiştir. Böylece, analiz sonuçlarının daha hızlı elde edilmesi sağlanmıştır. Analiz sırasında deprem kayıtlarının düşey bileşenleri de deprem yük kombinasyonları oluşturulurken dikkate alınmıştır. 11 deprem kaydının yatay bileşenleri 90^0 döndürülerek analizler tekrarlanmıştır. Böylelikle, toplamda 22 farklı analiz yapılmış ve sonuçları elde edilmiştir.

4.6.3 Performans Değerlendirmesi

Yüksek bina taşıyıcı sisteminin III. Aşama deprem hesabı, DD-1 deprem etkisi altında ZTADOHY kullanılarak yapılmıştır. Deprem hesabında sönüm oranı %2.5 alınmıştır. İlk aşama hesaplarında A1 (burulma) düzensizliğin olmaması ve $\eta_{bi} <$ 1.5 olduğundan ek dışmerkezlik etkisi dikkate alınmamıştır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak yapılan toplam 22 analiz sonuçları yönetmelikte yeralan sınır değer ile karşılaştırılmıştır. Yayılı plastik davranış modeli kullanılan kolon ve perde elemanları için her bir lifteki birim şekildeğiştirme değerleri hesaplanan sınır değerlere göre kontrol edilmiştir. Yığılı plastik davranış modeli kullanılan kiriş elemanlarında plastik mafsal dönmeleri sınır değerlere göre değerlendirilmiştir.

Kolon elemanlarında göçmenin önlenmesi performans düzeyi için betonun sınır birim kısalması değeri;

S80/80 kolonu için

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

$$\omega_{we} = \alpha_{se}\rho_{sh,min}\frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad ; \quad \alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0}\right)\left(1 - \frac{s}{2b_0}\right)\left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s}$$

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} = \frac{615.44}{800*90} = 0.00854$$

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{86400}{2990616}\right)\left(1 - \frac{90}{1404}\right)\left(1 - \frac{90}{1404}\right) = 0.8506$$

$$\omega_{we} = \alpha_{se}\rho_{sh,min}\frac{f_{ywe}}{f_{ce}} = 0.8506 * 0.00854 * \left(\frac{504}{62}\right) = 0.0590$$

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{0.0590} = 0.0132 \leq 0.018 \quad \surd$$

S420 donatı çeliği için maksimum dayanıma gelen donatı birim şekildeğiştirme değeri TBDY 2018'e göre 0.08 alınmaktadır. Bu sebeple GÖ performans düzeyi

için donatı çeliğinin birim şekil değiştirme sınırı;

$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4 * 0.08 = 0.032$ olarak belirlenmiştir.

Denklemlerde; $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ GÖ performans düzeyi için beton birim kısaltmasını, $\varepsilon_s^{(GÖ)}$ donatı çeliği için GÖ performans düzeyi birim şekildeğiştirme sınırını, ω_{we} sargı donatısının mekanik oranını, α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, ρ_{sh} enine donatı alanını, f_{ywe} enine donatının beklenen akma dayanımını, f_{ce} betonun beklenen akma dayanımını, b_k en uç noktadaki enine donatı arasındaki uzaklığı, b_0 ve h_0 betonu

saran etriye kolları arasındaki uzaklıkları, a_i ise enine donatı tarafından mesnetlenen boyuna donatıların arasındaki mesafeyi göstermektedir.

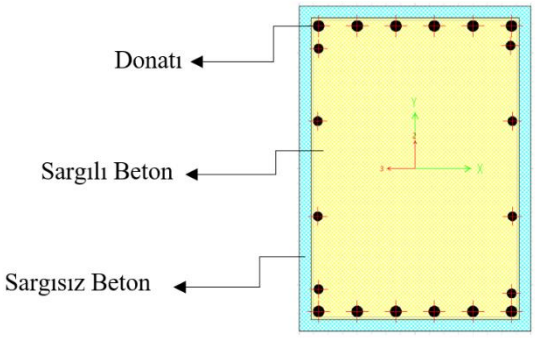
Tüm kolon elemanlar için gerekli işlemler yapılmış, beton ve donatı için hasar sınırları belirlenmiştir. Kolonlara ait birim şekildeğiştirme sınırları Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13 Kolon birim şekildeğiştirme sınırları

Kesit	Beton sınırları			Donatı Çeliği Sınırları		
	$\varepsilon_c^{(GÖ)}$	$\varepsilon_c^{(KH)}$	$\varepsilon_c^{(SH)}$	$\varepsilon_s^{(GÖ)}$	$\varepsilon_s^{(KH)}$	$\varepsilon_s^{(SH)}$
S80x80	0.0132	0.00990	0.0025	0.032	0.024	0.0025
S70x70	0.0131	0.00928	0.0025	0.032	0.024	0.0025
S60x60	0.0122	0.00915	0.0025	0.032	0.024	0.0025
S50x50	0.0123	0.00925	0.0025	0.032	0.024	0.0025

Kiriş elemanlar için kesit analizi SAP2000 yazılımı "Section Designer" kullanılarak yapılmıştır. Oluşturulan K50/70 kiriş kesiti Şekil 4.41'de verilmiştir. Kesit analizleri sonucunda kiriş elemanlarda plastik dönme sınır değerleri;

K50/70 kirişi



Şekil 4.41 K50/70 kiriş kesiti

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

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3}\left[(0.1356 - 0.00666) * 0.35 * \left(1 - 0.5\frac{0.35}{1.175}\right) + 4.5 * 0.1356 * 0.0224\right]$$

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} = 0.0347\ rad \quad ; \quad \theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(KH)} = 0.0260\ rad \quad ; \ \theta_p^{(SH)} = 0$$

Tüm kirişlere ait plastik dönme sınır değerleri Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.14 Kiriş plastik dönme sınırları

Kesit	Plastik Dönme Sınırları		
	$\theta_p^{(GÖ)}$	$\theta_p^{(KH)}$	$\theta_p^{(SH)}$
K50/70	0.0347	0.0260	0
K40/70	0.0345	0.0259	0
K35/60	0.0360	0.0270	0

Hesaplar sonucunda hasar oluşmuş eleman sayıları katlara göre değişimi Tablo 4.15'te verilmiştir. Perde elemanlarda tüm birim şekil değiştirmeler sınırlı hasar performans sınıfı için verilen değerden küçük olup, hasar gözlenmemiştir.

Tablo 4.15 Katlara göre hasarlı eleman sayıları

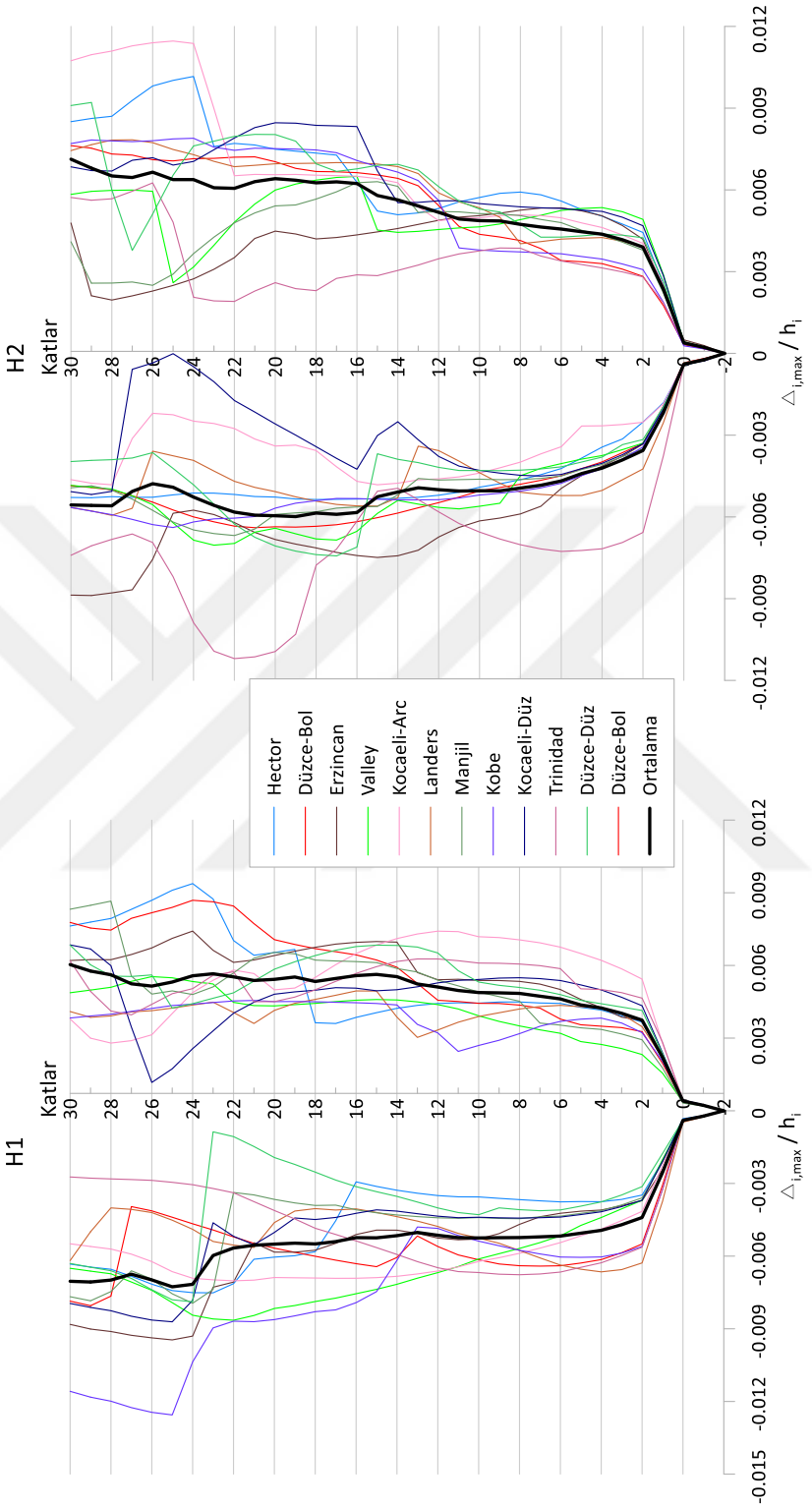
Kat	Kiriş			Kolon		
	SH	KH	GÖ	SH	KH	GÖ
1	6	55	-	31	3	-
2	4	57	-	30	4	-
3	4	57	-	32	2	-
4	4	57	-	34	0	-
5	6	55	-	34	0	-
6	6	55	-	34	0	-
7	6	55	-	31	3	-
8	6	55	-	34	0	-
9	6	55	-	34	0	-
10	6	55	-	32	2	-
11	6	55	-	33	1	-
12	6	55	-	17	17	-
13	6	55	-	15	19	-
14	6	55	-	13	21	-
15	6	55	-	13	21	-
16	6	55	-	14	20	-
17	6	55	-	14	20	-
18	6	55	-	12	22	-
19	6	55	-	13	21	-
20	6	55	-	11	23	-
21	6	55	-	25	9	-
22	6	55	-	9	25	-
23	6	55	-	10	24	-
24	6	55	-	15	19	-
25	6	55	-	17	17	-
26	6	55	-	16	18	-
27	10	51	-	17	17	-
28	10	51	-	17	17	-
29	10	51	-	17	17	-
30	20	41	-	12	22	-

Tablo 4.15'ten de görüleceği gibi göçme öncesi performans düzeyine ulaşan hiçbir eleman bulunmamaktadır. Tüm elemanlar Kontrollü Hasar (KH) performans sınırını sağlamıştır. Yapının normal performans hedefi için elemanların Göçme Öncesi (GÖ) performans sınırını sağlaması istenmektedir. Tablo 4.15 incelendiğinde tüm elemanlar bu sınırı sağlamaktadır. Buna karşın tüm elemanların KH sınırını sağlaması sistemin ekonomik çözüm olmasına engel teşkil etmiştir.

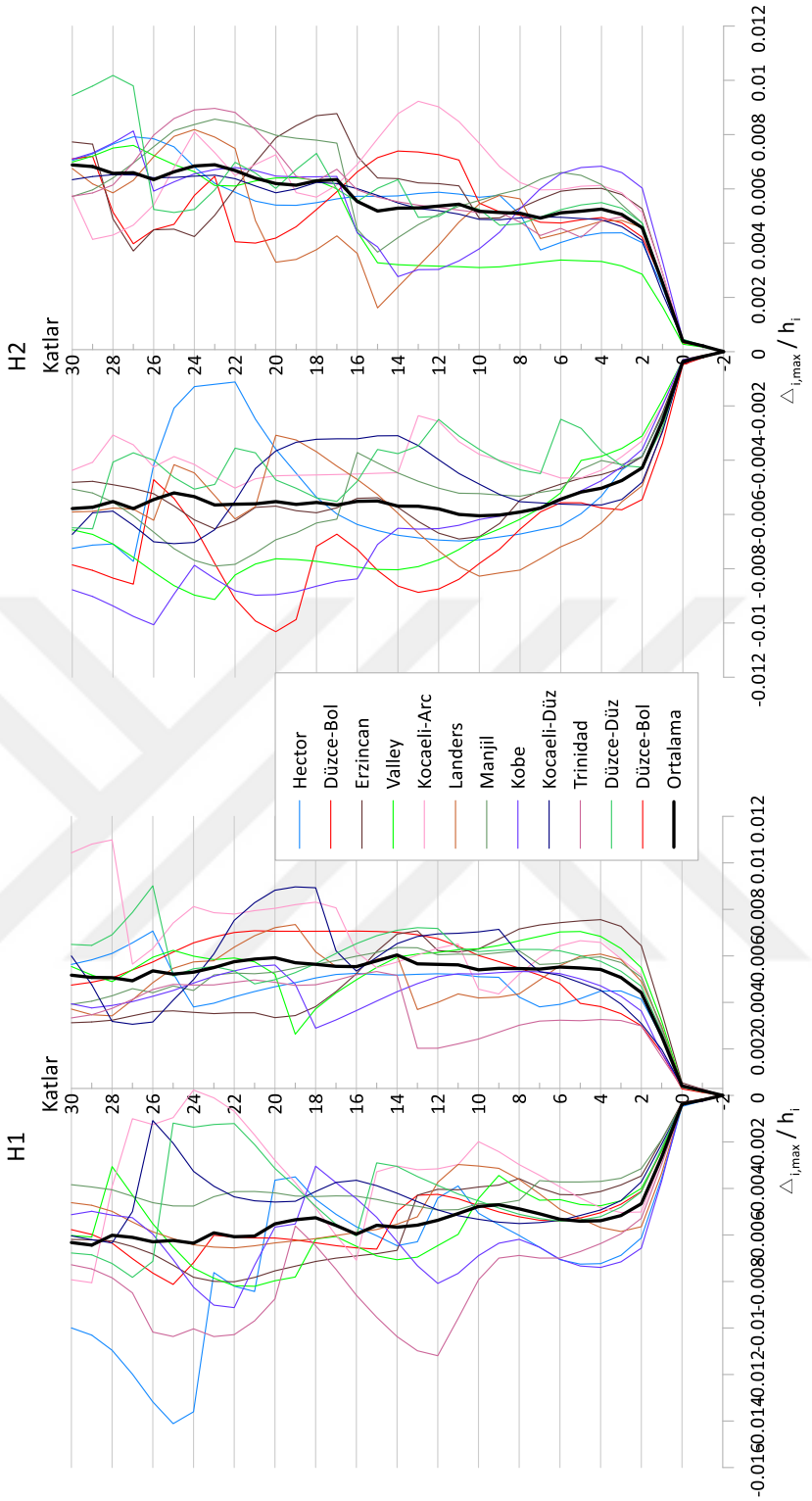
Perde elemanlar için tanımlanan tüm lif modellerde elde edilen birim şekildeğiştirmeler, yönetmelikteki Sınırlı Hasar (SH) sınırını aşmamıştır. Bu nedene bağlı olarak tüm perde elemanların doğrusal veya doğrusala çok yakın davrandığı görülmüştür.

Tüm elemanlar için sünek davranış olmayan kesme kontrolleri yapılmalıdır. Kesitler için elde edilen maksimum kesme kuvveti değerleri ortalaması, kesitin kapasitesinden az değere sahip olmalıdır. Tüm kesitlerde hesaplar sonucu kesme kuvveti kontrolleri yapılmış ve kesit kapasitesinden az olduğu belirlenmiştir.

TBDY 2018'e göre yüksek binalarda yukarıda belirtilen kontrollerin dışında göreli kat öteleme değerleri de sınır değeri aşmamalıdır. Bu amaçla tüm hesaplarda elde edilen maksimum ve ortalama değerler Şekil 4.42 ve Şekil4.43'te verilmiştir. Burada, H1, Depremin yatay doğrultularının normal şekilde tanımlanmasını; H2, ise deprem ivme kaydının yatay bileşenlerinin 90^0 döndürülerek tanımlanmasını göstermektedir.

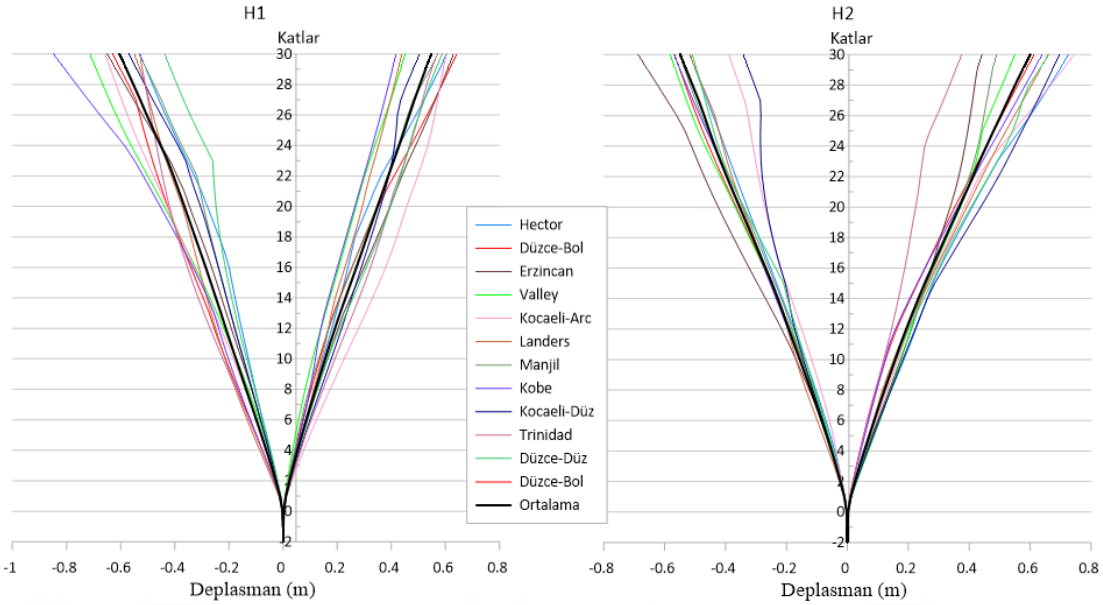


Şekil 4.42 III.Aşama için X-X yönü göreli kat ötelemesi

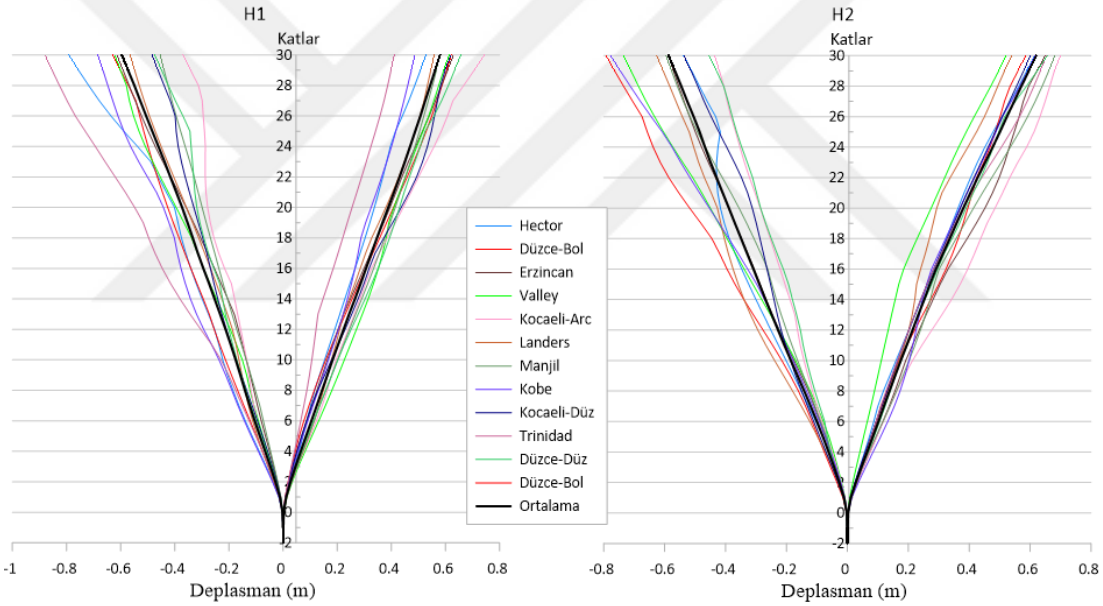


Şekil 4.43 III.Aşama için Y-Y yönü göreli kat ötelemesi

TBDY 2018'e göre bir depremden elde edilen göreli kat ötelemesi değeri 0.045, tüm depremlerden elde edilen ortalama göreli kat ötelemesi değerinin ise 0.030 değerini aşmaması belirtilmiştir. Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'te 22 analiz sonucunda elde edilen maksimum göreli kat ötelemeleri ve ortalama değerleri verilmektedir. Verilen şekillerde H1 deprem ivme kayıtlarının iki yatay ve düşey yönünün aynı anda tanımlamasını belirtmektedir. H2 ise aynı deprem ivme kayıtları için yatay bileşenlerin 90 derece döndürülmesi ile elde edilmektedir. ZTADOH sonucunda tüm göreli kat öteleme değerleri TBDY 2018'de verilen sınır değerlerin altında kalmaktadır (Şekil 4.42-43). Göreli kat öteleme sonuçları incelenecek olursa az katlı yapılara göre farklılıklar olduğu görülmüştür. Bunun sebebi bina yüksekliğinin artması ile birlikte yapının daha esnek davranmakta ve göreli kat ötelemeleri diyagramı dalgalı bir görünüme sahip olmaktadır. Göreli kat ötelemesinin ortalama değeri incelendiğinde her iki yönde de özellikle ilk 6 katta artış gösterdiği diğer katlarda değişimin az olduğu görülmektedir. H1 yük tanımı esas alındığında 20. kattan itibaren göreli kat ötelemesinin tekrar arttığı gözlenmiştir. Buna sebep olarak bu katlarda eleman kesit boyutlarının küçültülmesi ve daha esnek bir tasarım yapılması belirtilebilir. Göreli kat ötelemeleri her bir deprem sonuçları üzerinden incelendiğinde özelikle eleman kesit boyutlarının azaltıldığı katlarda anlamlı şekilde değişim göstermiştir. Buna karşılık göreli kat ötelemesinin ortalama değeri normal katlı yapılar ile benzerlik göstermektedir.

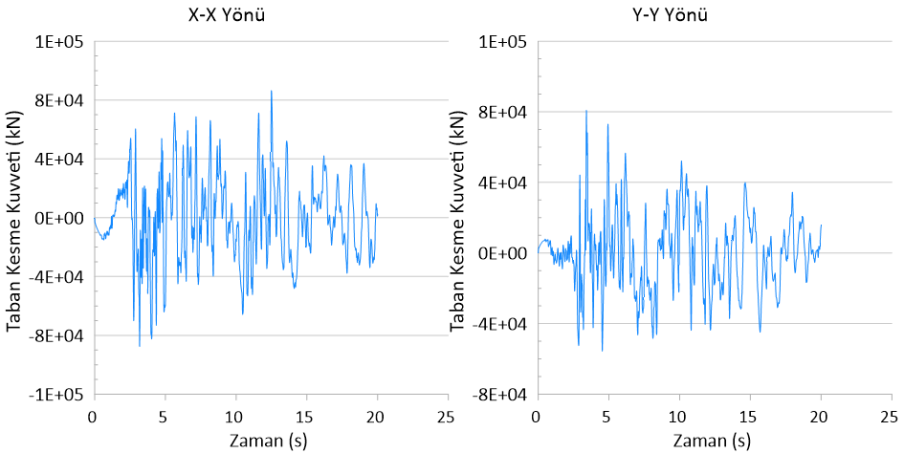


Şekil 4.44 III. Aşama için X-X yönü kat deplasmanları

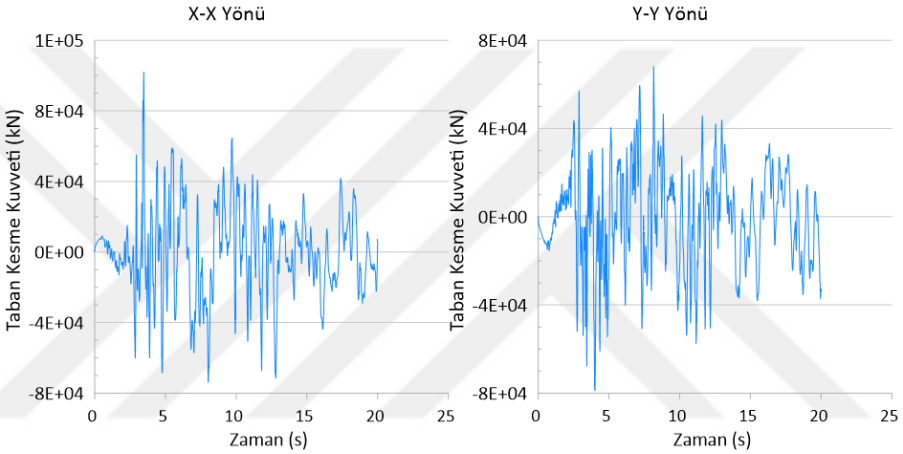


Şekil 4.45 III. Aşama için Y-Y yönü kat deplasmanları

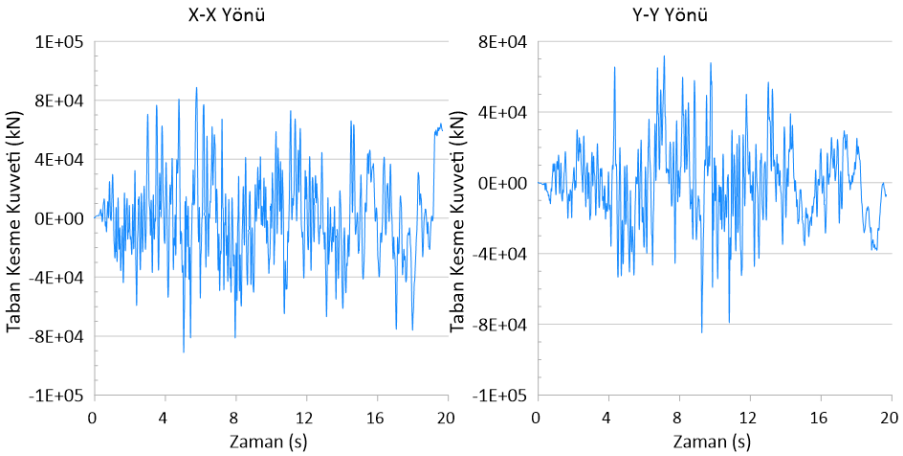
Katlara göre maksimum deplasmanlar Şekil 4.44 ve Şekil4.45'te verilmektedir. Görüleceği üzere tüm depremden elde edilen değerler birbirine yakın olmaktadır. Ortalama değerler incelendiğinde H1 ve H2 durumları için yakın değerler olduğu belirlenmiştir. Binanın simetrik tasarımı kat deplasmanlarının benzer olmasına yol açmıştır.



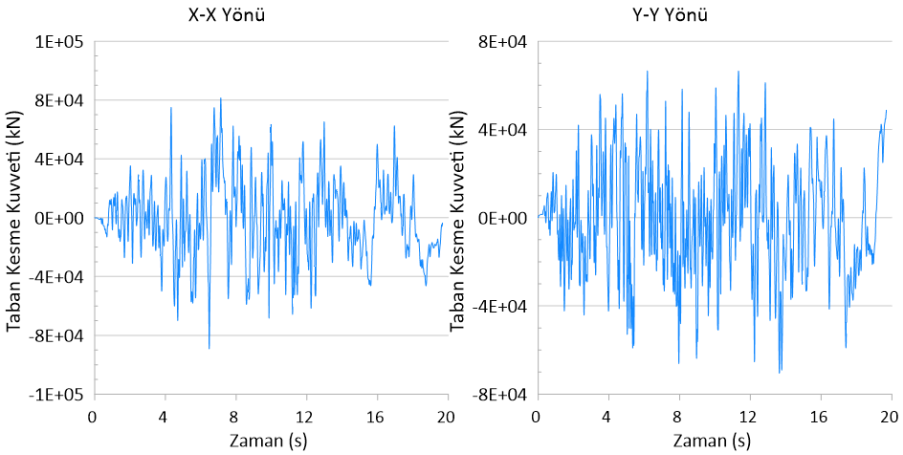
Şekil 4.46 Düzce-Düz depremi taban kesme kuvveti (H1)



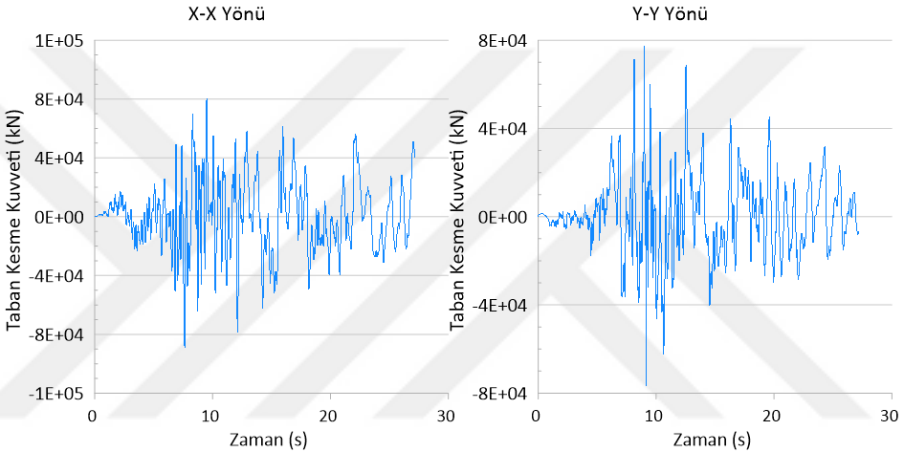
Şekil 4.47 Düzce-Düz depremi taban kesme kuvveti (H2)



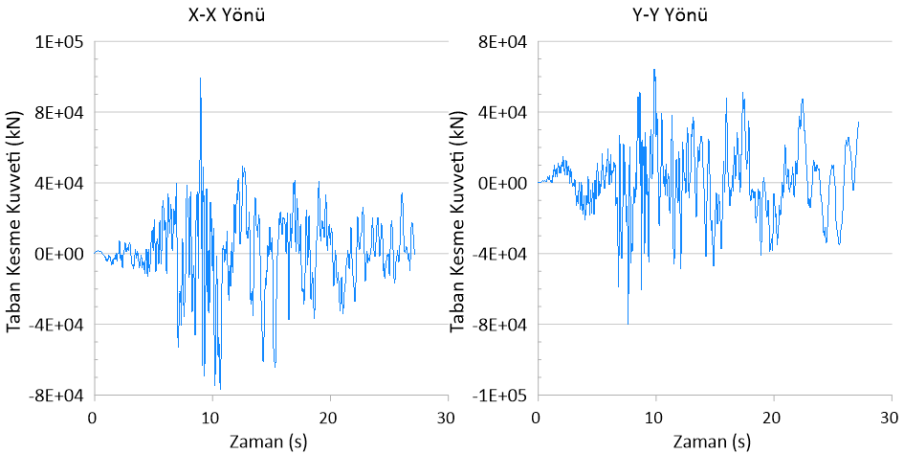
Şekil 4.48 Trinidad depremi taban kesme kuvveti (H1)



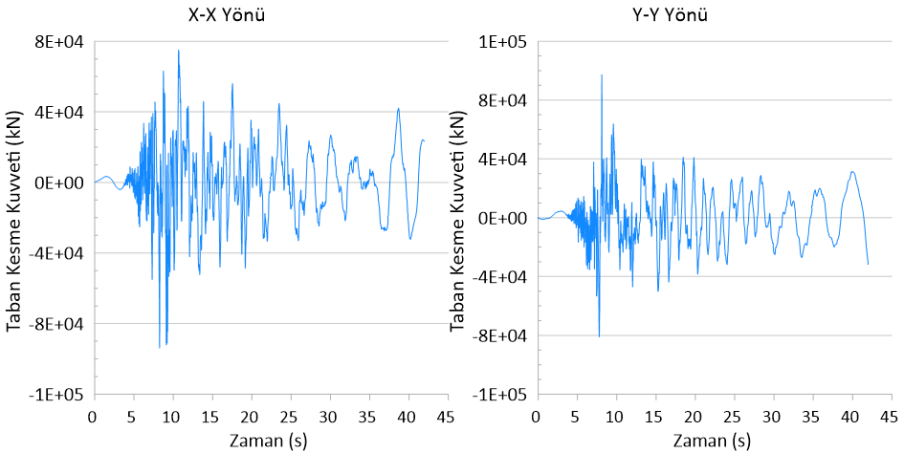
Şekil 4.49 Trinidad depremi taban kesme kuvveti (H2)



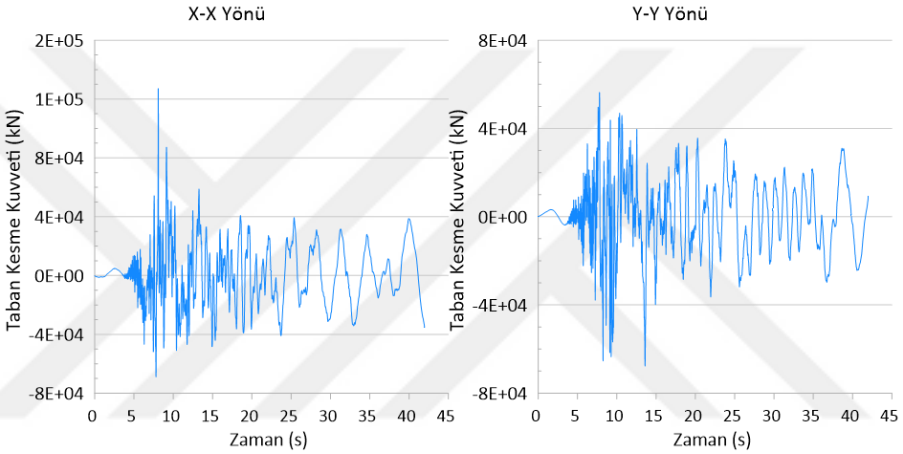
Şekil 4.50 Kocaeli-Düz depremi taban kesme kuvveti (H1)



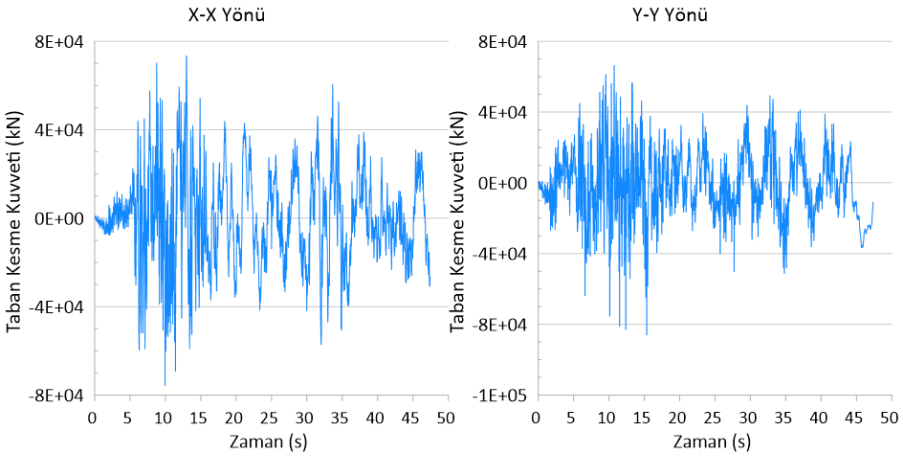
Şekil 4.51 Kocaeli-Düz depremi taban kesme kuvveti (H2)



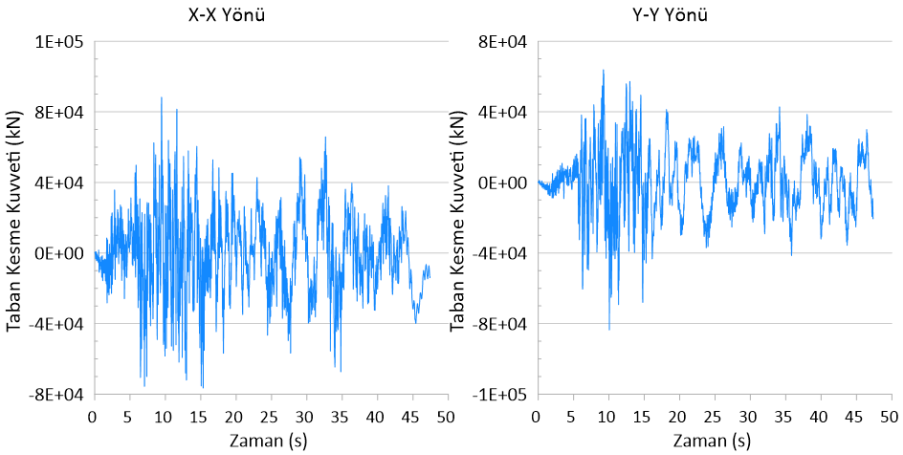
Şekil 4.52 Kobe depremi taban kesme kuvveti (H1)



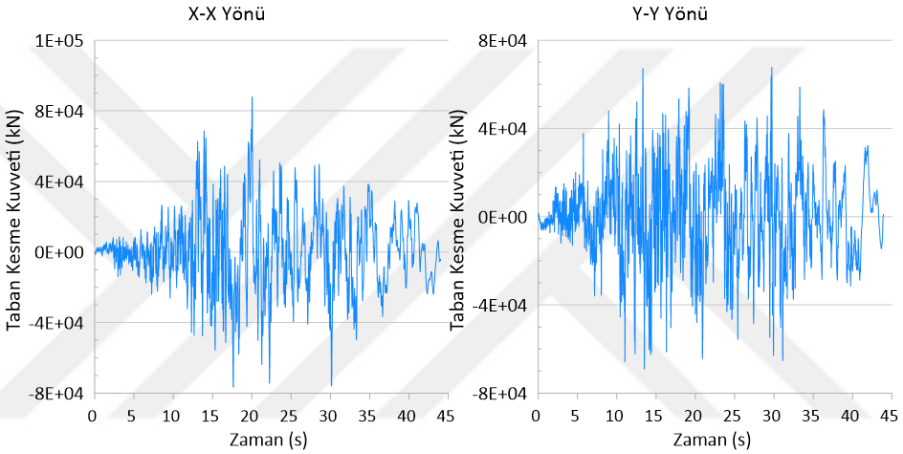
Şekil 4.53 Kobe depremi taban kesme kuvveti (H2)



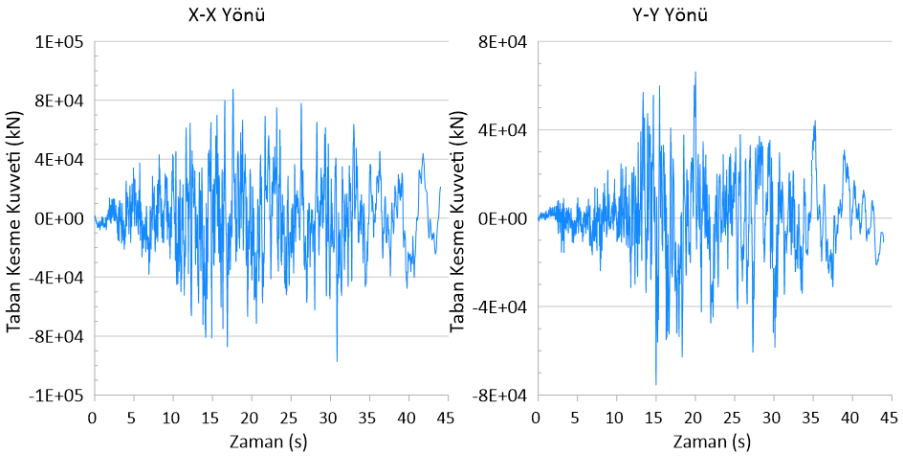
Şekil 4.54 Manjil depremi taban kesme kuvveti (H1)



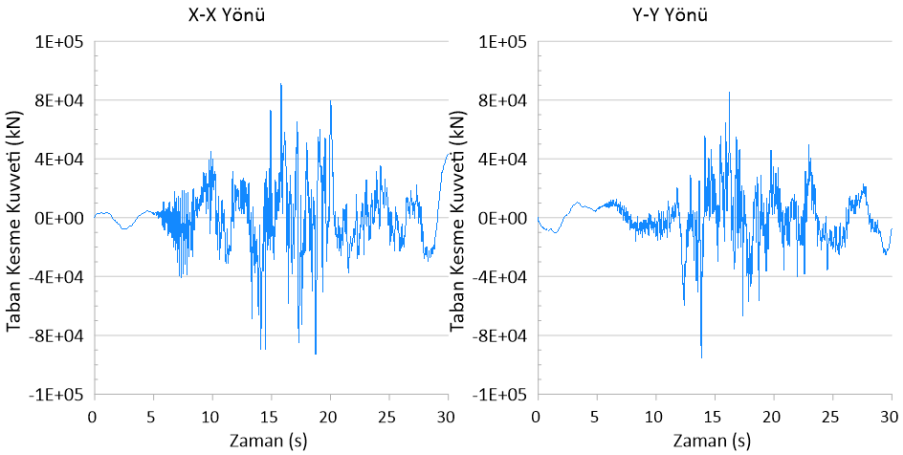
Şekil 4.55 Manjil depremi taban kesme kuvveti (H2)



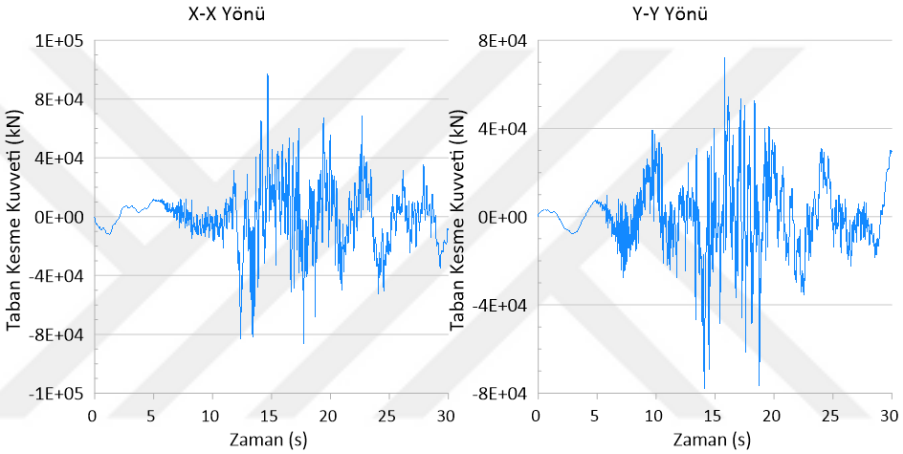
Şekil 4.56 Landers depremi taban kesme kuvveti (H1)



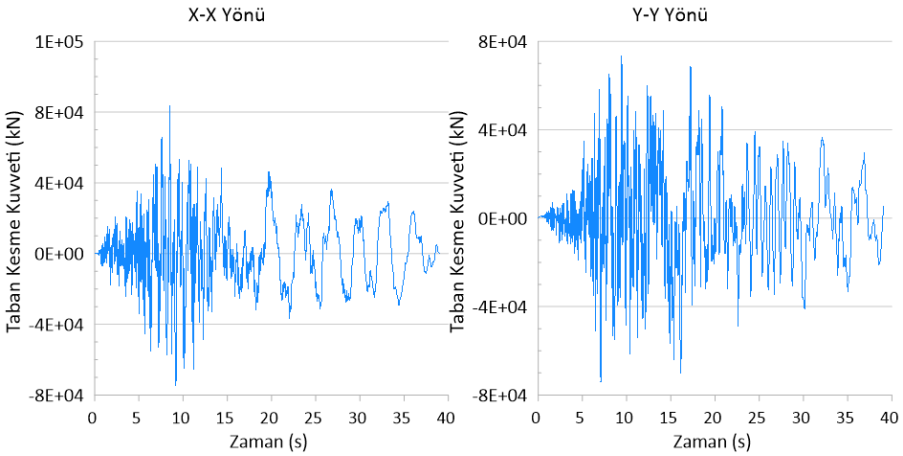
Şekil 4.57 Landers depremi taban kesme kuvveti (H2)



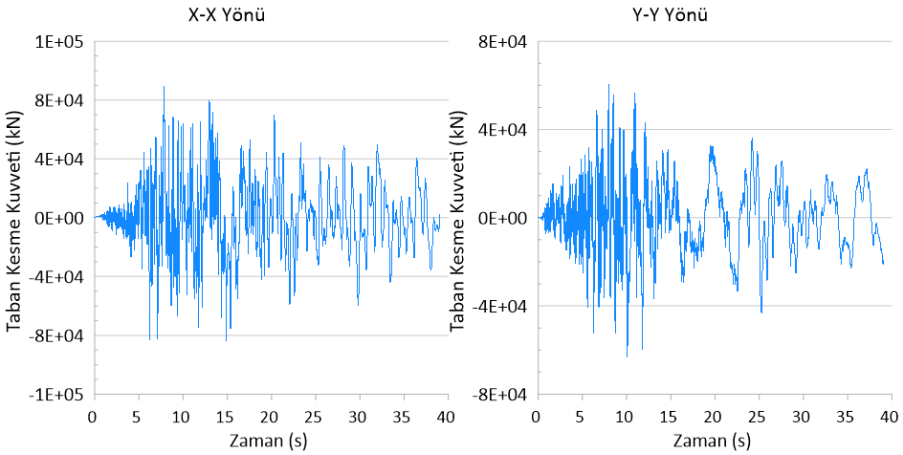
Şekil 4.58 Kocaeli-Arc depremi taban kesme kuvveti (H1)



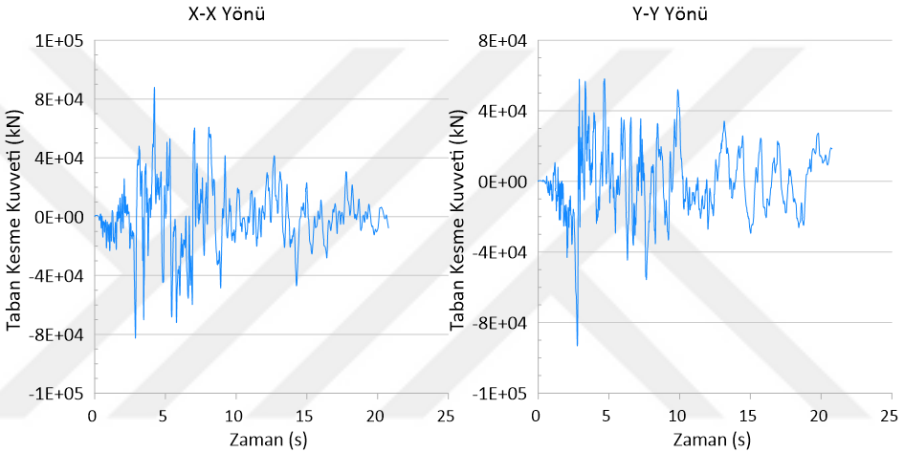
Şekil 4.59 Kocaeli-Arc depremi taban kesme kuvveti (H2)



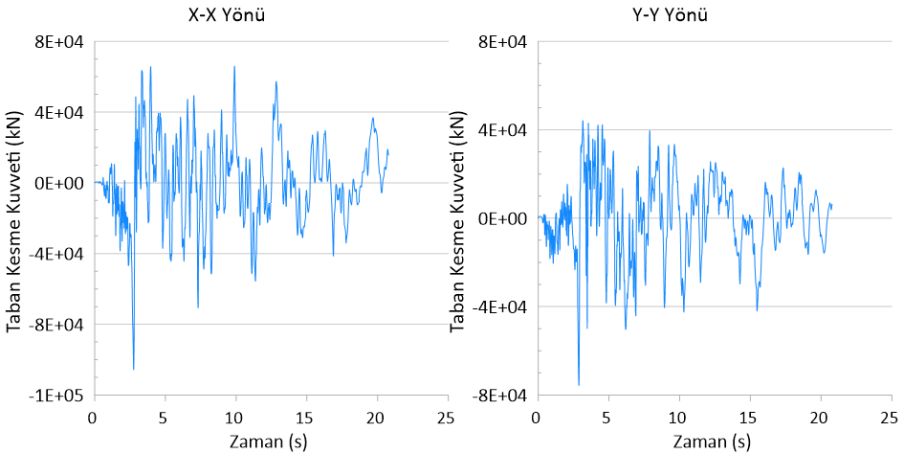
Şekil 4.60 Valley depremi taban kesme kuvveti (H1)



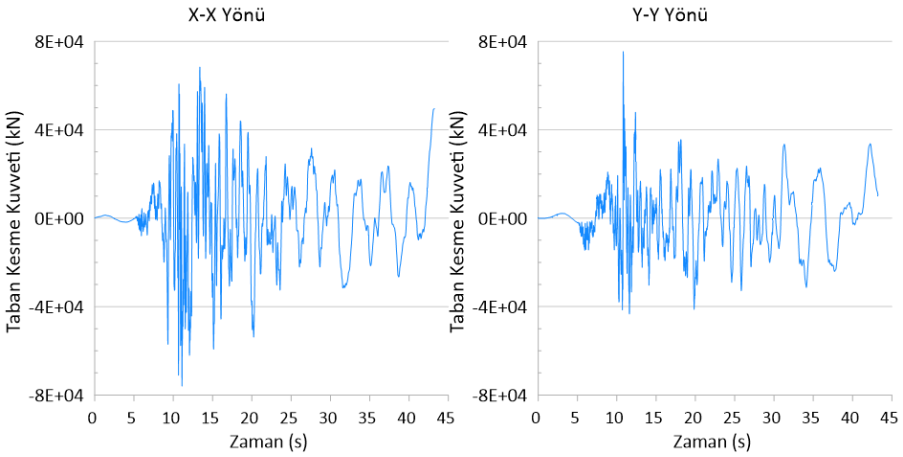
Şekil 4.61 Valley depremi taban kesme kuvveti (H2)



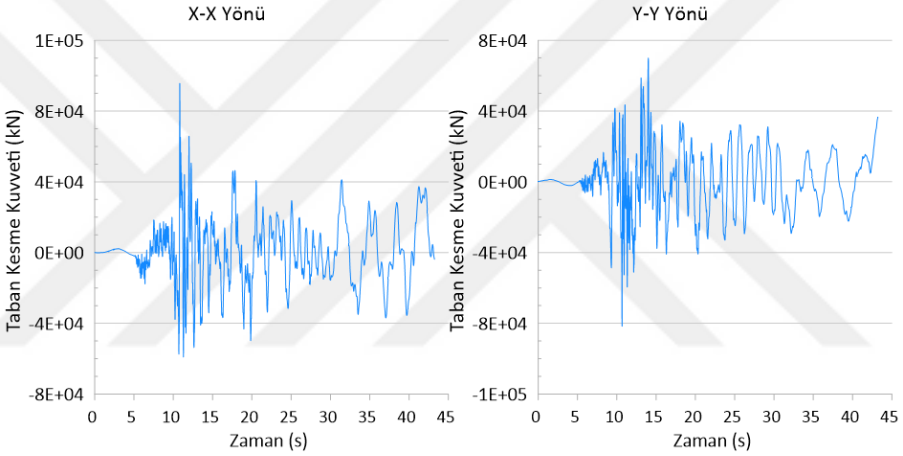
Şekil 4.62 Erzincan depremi taban kesme kuvveti (H1)



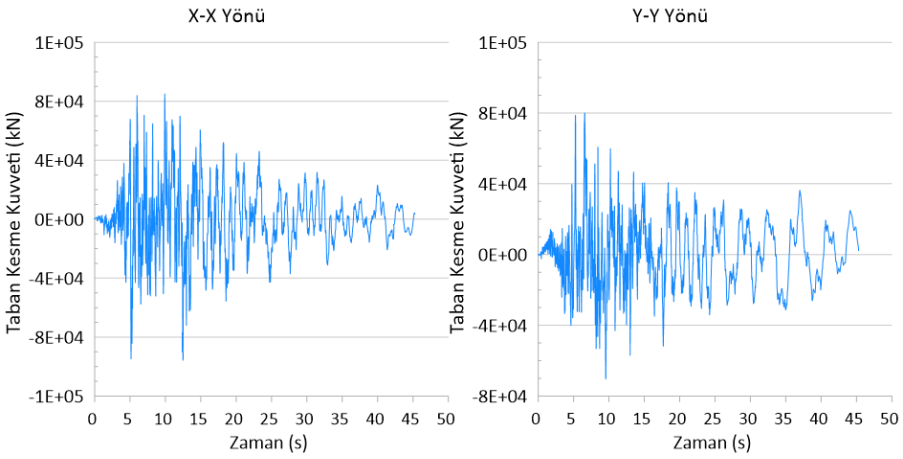
Şekil 4.63 Erzincan depremi taban kesme kuvveti (H2)



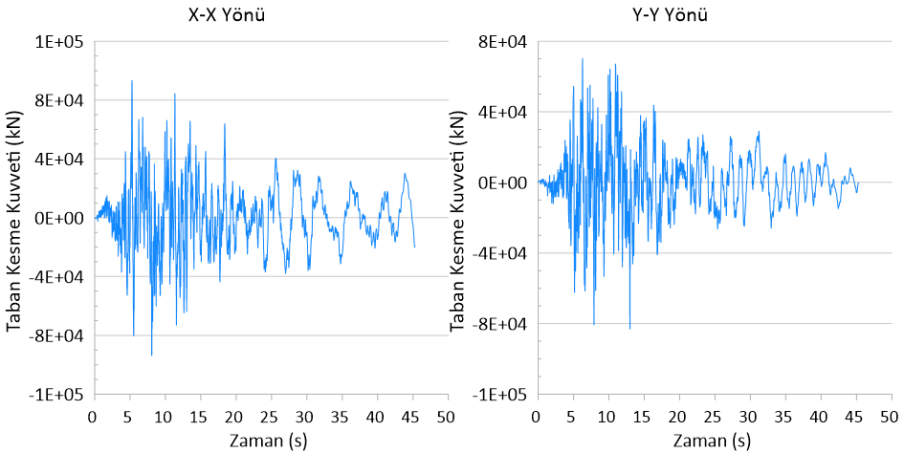
Şekil 4.64 Düzce-Bol depremi taban kesme kuvveti (H1)



Şekil 4.65 Düzce-Bol depremi taban kesme kuvveti (H2)



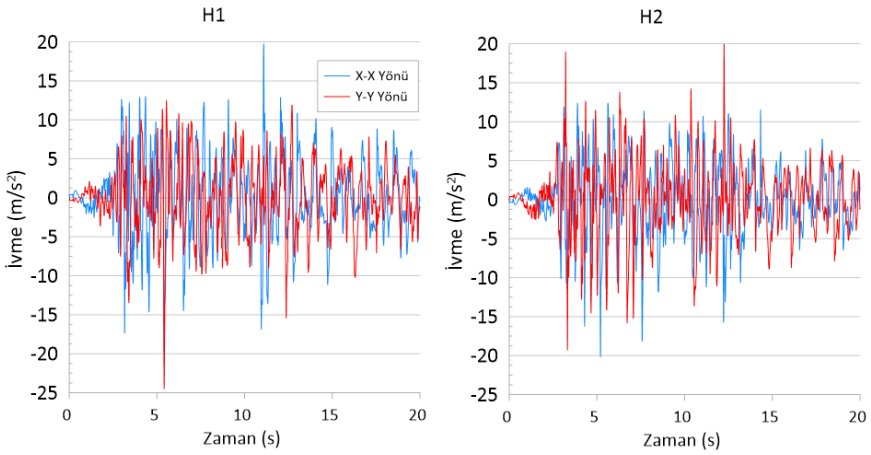
Şekil 4.66 Hector depremi taban kesme kuvveti (H1)



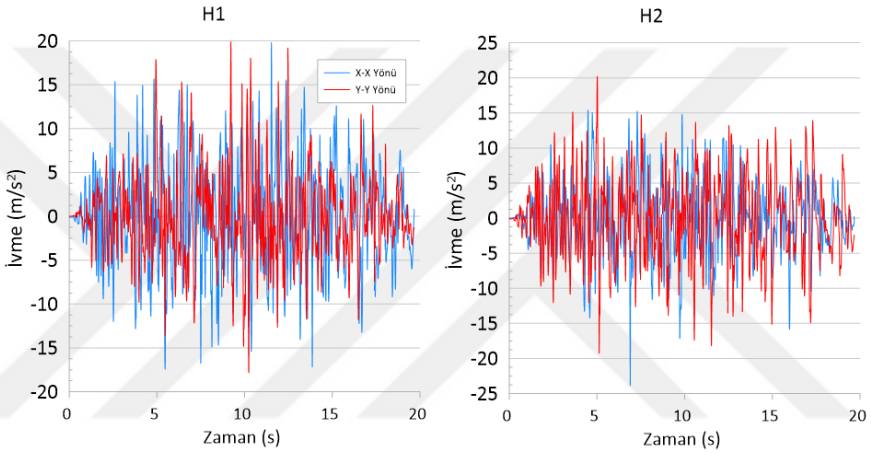
Şekil 4.67 Hector depremi taban kesme kuvveti (H2)

Şekil 4.46-4.67'te verilen taban kesme kuvvetleri incelendiğinde, büyük deprem kuvvetlerine karşı yapı rijitliğinde önemli bir kayıp olmamaktadır. Depremden elde edilen taban kesme kuvvetleri, tasarımda kullanılan taban kesme kuvvetlerinin 5~6 katı olmaktadır. Buradaki fark, tasarım aşamasında kullanılan deprem yükü azaltma katsayısının bir sonucudur. Gözlenen önemli bir diğer nokta ise tasarıma göre yaklaşık olarak 6 kat daha büyük deprem etkisinde yapıda çok büyük hasarlar oluşmamaktadır. Depremden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin maksimum değerleri birbirine yakın olduğu görülmüştür bunun sebebi tüm deprem ivme kayıtlarının DD-1 deprem yer hareketine göre spektrum uyuşum sağlayacak şekilde ölçeklendirilmesidir.

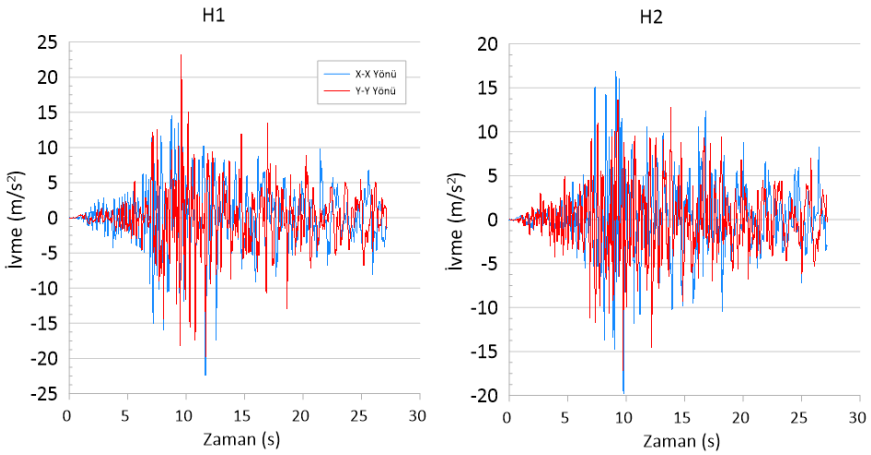
Deprem hesapları sonucunda yapının tepe noktasında ivmenin zamanla değişimi Şekil 4.68-77'te verilmiştir.



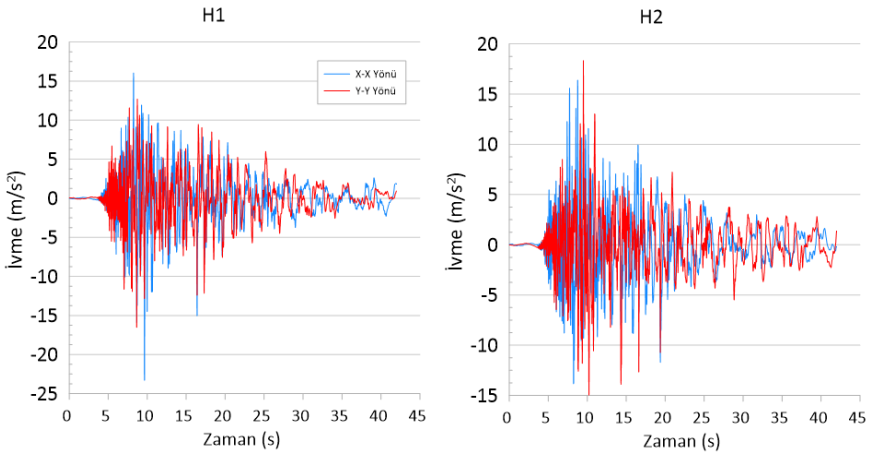
Şekil 4.68 Düzce-Düz depremi tepe ivme-zaman değişimi



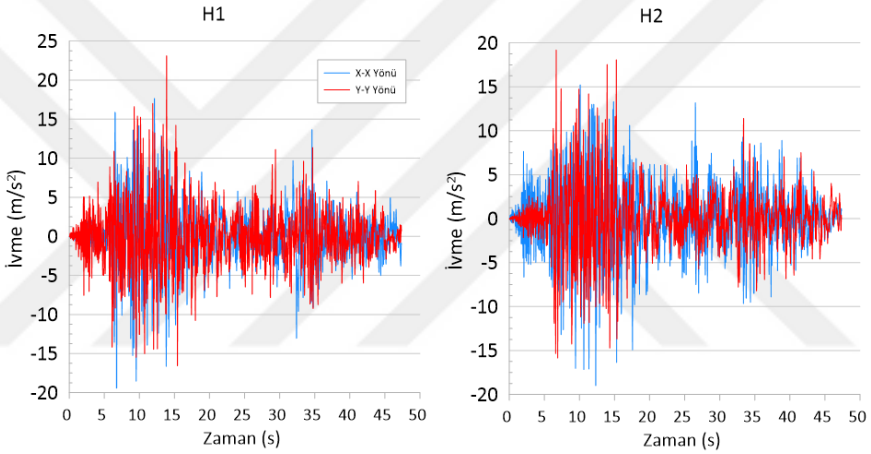
Şekil 4.69 Trinidad depremi tepe ivme-zaman değişimi



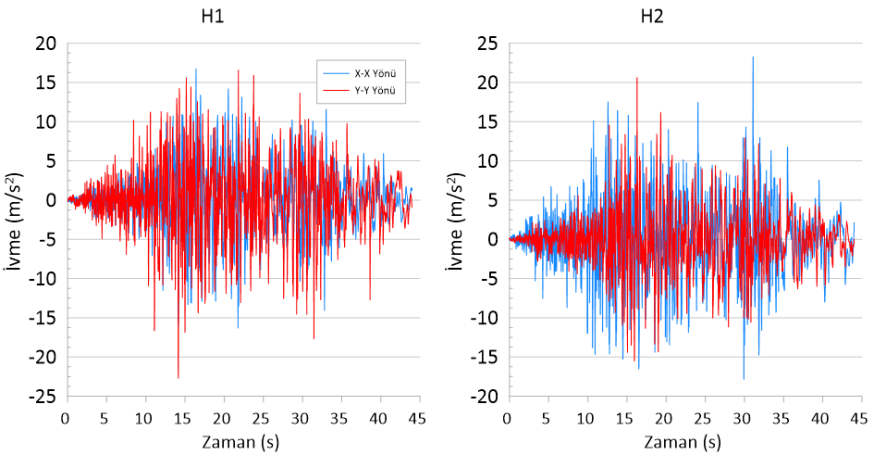
Şekil 4.70 Kocaeli-Düz depremi tepe ivme-zaman değişimi



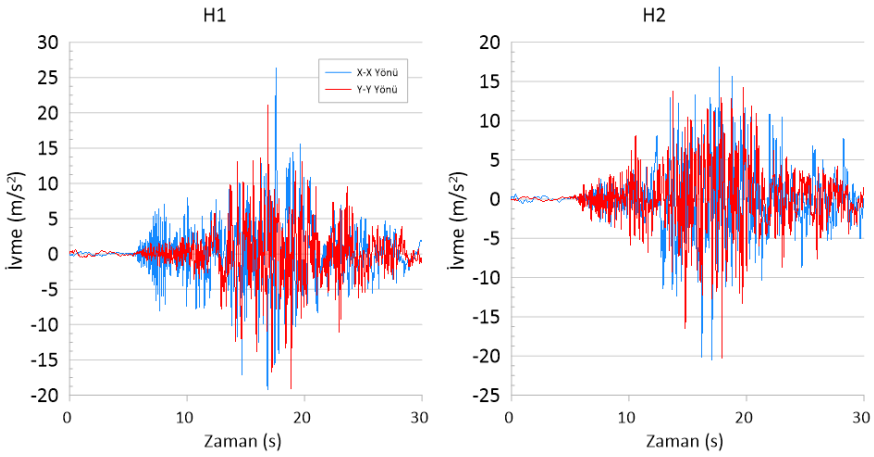
Şekil 4.71 Kobe depremi tepe ivme-zaman değişimi



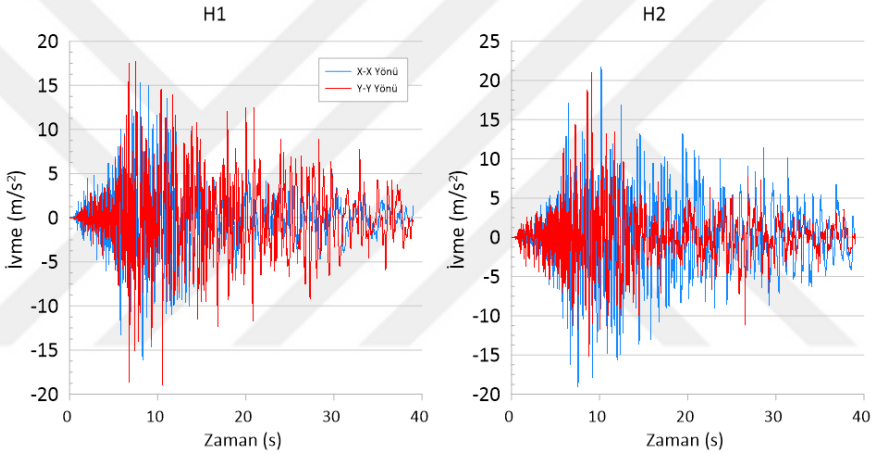
Şekil 4.72 Manjil depremi tepe ivme-zaman değişimi



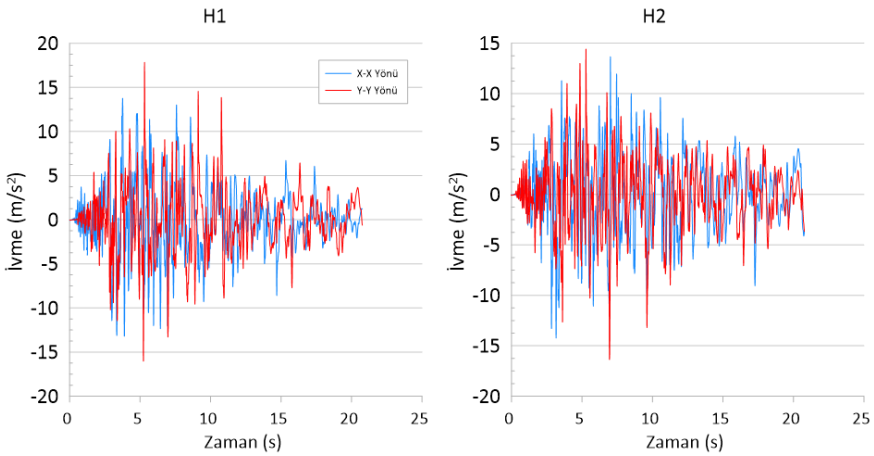
Şekil 4.73 Landers depremi tepe ivme-zaman değişimi



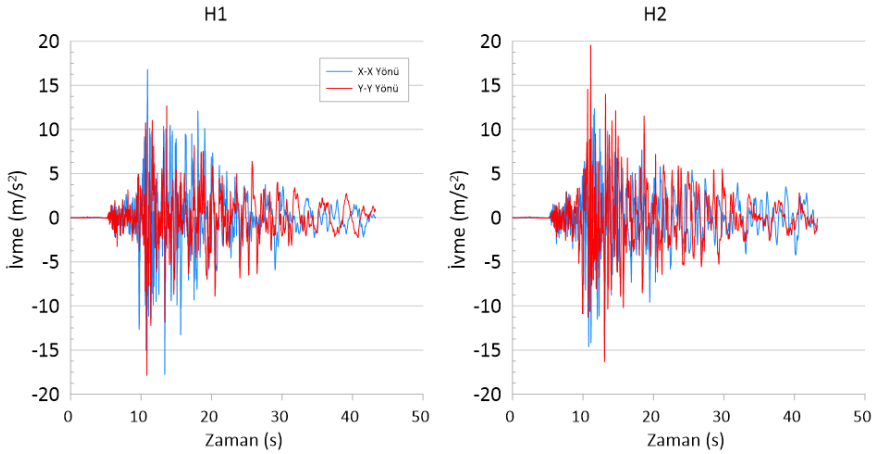
Şekil 4.74 Kocaeli-Arc depremi tepe ivme-zaman değişimi



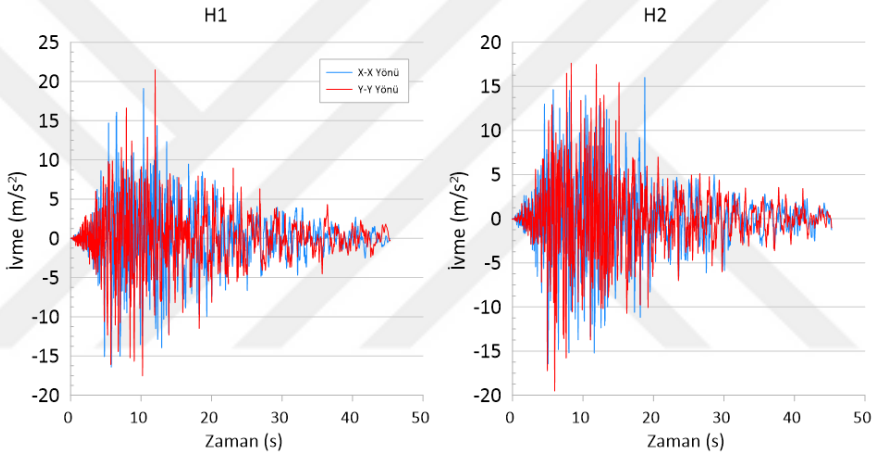
Şekil 4.75 Valley depremi tepe ivme-zaman değişimi



Şekil 4.76 Erzincan depremi tepe ivme-zaman değişimi



Şekil 4.77 Düzce-Bol depremi tepe ivme-zaman değişimi



Şekil 4.78 Hector depremi tepe ivme-zaman değişimi

Şekil 4.68-78 arasında verilen grafikler incelendiğinde deprem ivme kayıtlarına göre tepe noktasının ivme-zaman grafikleri deprem ivme kayıtlarından farklı olmaktadır. Yapının tabanındaki ivme büyüklükleri tepe noktada yaklaşık olarak iki katı artmıştır.

III. aşama sonucunda yapının normal performans hedefi için yönetmelikte verilen sınır değerleri sağladığı gösterilmiştir. Bu aşamada düşey taşıyıcı elemanlarında boyut veya donatılarında değişiklik yapılması durumunda tüm hesap aşamalarının tekrarlanması gerekmektedir. Kiriş elemanlarında donatı değişikliği yapılması durumunda sadece son aşamanın tekrarlanması gerekmektedir.

5
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, TBDY 2018'e göre örnek bir yüksek binanın tasarımı ve performans değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmanın amacına uygun olarak 2 bodrum kat ve zemin kotu üstü 30 kattan oluşan betonarme yapı tasarlanmıştır. Zemin üstünden yapının toplam yüksekliği 108 m'dir. Yapının Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü'nde yapılacağı kabul edilmiş ve deprem hesapları bu konum esas alınarak yapılmıştır.

Yönetmeliğe göre yüksek binaların tasarımı ve değerlendirmesi üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalarda kullanılacak hesap yöntemleri yapının kullanım amacına göre değişmektedir. Çalışmaya konu yapının kullanım amacı konut olarak düşünülmüştür. Bu sebeple normal performans hedefi için hesaplamalar yapılmıştır. Her aşamada TBDY 2018'e uygun olacak şekilde modeller oluşturulmuş ve deprem hesapları yapılmıştır.

Yüksek binalarda taşıyıcı sistem seçiminde yapı yüksekliği önemli bir parametredir. Çalışmada tasarımı gerçekleştirilen yapının taşıyıcı sistemi, çerçeve ve perdeler ile oluşturulmuştur. Perdeler asansör olarak düşünülen boşlukları çevreleyecek şekilde merkeze yerleştirilmiştir.

İlk iki aşamanın hesaplarında ETABS yazılımı kullanılmıştır. Son aşamada ise SAP2000 yazılımı kullanılmıştır. Son aşama deprem hesaplarında 11 adet deprem kaydı takımı seçilip, ölçeklendirilmiştir. Deprem kayıtları yatay bileşenleri 90^0 döndürülerek analizler tekrarlanmış ve 22 analiz sonucunda elde edilen ortalama değerlere bakılmıştır. Yapılan tüm hesaplar kapsamında elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar doğrultusunda yapılan öneriler maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- Tasarım Aşaması-I'de minimum taban kesme kuvveti büyütme katsayısı her iki yön için de 2'den büyük hesaplanmıştır. Yüksek binalarda yapıların birinci hâkim periyotları normal yapılara kıyasla çok yüksektir. Bu durum her iki doğrultuda da minimum taban kesme kuvvetinin daha etkili olmasına sebep olmaktadır. Deprem hesaplarının minimum taban kesme kuvvetine göre yapılmasından dolayı düşey taşıyıcı elemanların normal kuvvet seviyesinde

artış olmuştur. Özellikle alt katlardaki kolon kesitlerinde artış yaşanmıştır. Kesitlerin bu kadar artmasındaki bir başka sebep yönetmelikte verilen normal kuvvet sınırıdır. Kolonlar ve perdeler için verilen sınır değerin azaltılmış olması kesitlerin büyümesine yol açmıştır.

- Tasarım Aşaması-II'de yapılan hesaplar sonucunda tüm elemanlar Kesintisiz Kullanım (KK) performans düzeyini sağlamıştır. Bu aşamada yapılan deprem hesaplarında yönetmelikte DD-4 olarak tanımlanan tekerrür periyodu 43 yıl olan deprem yer hareketi kullanılmıştır. Bu aşamada R/I=1 ve D=1 kabul edilmesine karşın kesitlerin E/K oranları çok düşük kalmıştır. Bunun en önemli sebebi, deprem hesaplarında kullanılan ivme spektrumu değerlerinin, tasarım aşamasında kullanılan ivme spektrumuna çok yakın olmasıdır. Ayrıca bu aşamada minimum taban kesme kuvveti kuralı uygulanmamaktadır. Bu da yapının ilk aşamaya göre çok daha düşük bir deprem kuvvetine göre hesap edilmesine sebep olmaktadır.
- Deprem kayıtlarının ölçeklendirme işlemi TBDY 2018'e uygun olarak yapılmıştır. Deprem kayıtları spektral uyuşum sağlayacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Yönetmelikte bu yöntem kullanılarak ölçeklendirme işlemindeki hesap adımları bulunmamaktadır. Deprem kayıtları, frekans tanım alanında veya zaman tanım alanında ölçeklendirme yapılabilmektedir. Ölçeklendirme işlemlerinde depremlerin özellikleri ve içerikleri önemli seviyede değişmektedir. Çalışmada DD-1 depremine göre ölçeklendirme sonucunda deprem kayıtlarının ivme-zaman grafikleri anlamlı oranda değişmiştir.
- Yapının kolon elemanlarının lif kesit hücresi modeli kullanılarak modellemesi analiz süresini kayda değer biçimde arttırmıştır. Çünkü lifli elemanlar yapının rijitlik matrisini ciddi şekilde büyütmekte ve analiz süresini arttırmaktadır. Bu itibarla, kesitteki lif sayısını azaltmak, analiz süresini kısaltacaktır. Bu sebeple yayılı plastik davranış modeli kullanılarak yapı modeli oluşturulacaksa, olabildiğince lif sayılarının azaltılması, analiz süresinin kısaltılması açısından fayda sağlayacaktır.
- Tasarım Aşaması-III sonucunda kirişlerin %89.07'si, kolonların ise %37.65'i belirgin hasar bölgesine geçerken, kirişlerin %10.93'ü, kolonların ise

%62.35'i sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Yapının normal performans hedefi için betonarme elemanların ileri hasar bölgesine kadar geçmesine izin verilmektedir. Fakat yapılan 22 analiz sonucunda hiçbir eleman ileri hasar bölgesine geçmemiştir. Başka bir ifadeyle tüm elemanlar KH için verilen sınır değerin altında kalmıştır. Bu ise yapının ileri performans hedefini sağladığı anlamına gelmektedir.

- Yapının perde elemanlarında beton ve çelik için tanımlanan liflerin birim şekildeğiştirme değerleri sınırlı hasar seviyesinden küçük hesaplanmıştır. Perde elemanların maruz kaldıkları yatay yüklere karşı en rijit elemanlar olmasına karşın hasar almadığı belirlenmiştir. Bu durum yapıya etkiyen deprem kuvvetinin büyük bir kısmının çerçeve elemanları tarafından karşılandığı anlamını taşımaktadır.
- Hesaplar sonucunda göreli kat öteleme değerleri yönetmelikte verilen sınır değerin altında kalmıştır. Gerek maksimum gerekse ortalama değerler yönetmelikte verilen sınır değerlerin çok altında kalmıştır. Buradaki birinci sebep yapının kat planlarının olabildiğince sade ve simetrik seçilmiş olmasıdır. Bir başka sebep ise katlar arasında önemli bir rijitlik değişimi olmamasıdır. Bu durum maksimum kat deplasmanlarının yüksek değere sahip olmasına karşın göreli kat ötelemesinin küçük çıkmasını sağlamıştır.

Yapılan hesaplarda özellikle zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda yapının can güvenliği sınırını sağladığı görülmektedir. Buna karşın yapının normal performans hedefi için göçmenin önlenmesi yeterlidir. Bu yapılan tasarımın iyileştirilip hesap adımlarının tekrarlanması ile sağlanabilecektir. Buna yönelik olarak düşey taşıyıcı elemanlara nazaran kiriş elemanlarında donatılar azaltılabilir ve daha ekonomik kesitler tasarlanabilir.

Tasarım Aşaması-II'de normal performans hedefi için verilen esasların yapılan çalışmaya konu yapı için, tasarıma ve deprem performansına bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bu itibarla bu aşamanın perdeli çerçeveli sistemler için bu yüksekliğe sahip binalar için çok etkili olmadığı belirlenmiştir. İleri performans hedefi için veya farklı yapı sistemleri için bu aşama hesap esaslarının kontrol edilmesi gerekmektedir.

Yapının yüksekliği dikkate alınarak çerçeve ve perdeli taşıyıcı sistemin yeterli olacağı öngörülmüş ve analiz sonuçlarında taşıyıcı sistemin yatay yüklere karşı yeterli olduğu belirlenmiştir. Farklı kat yükseklikleri için farklı tip taşıyıcı sistemler kullanılabilmektedir. Özellikle yüksekliklerin artması ile sadece betonarme elemanlar ile taşıyıcı sistemin seçilmesi yeterli seviyede olmamaktadır.

Sunulan çalışmada betonarme yüksek bir binanın tasarımı ve performans değerlendirmesi TBDY 2018 yönetmeliği esas alınarak yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmanın yüksek binaların tasarımı ve analizlerindeki aşamaların ayrıntılı sunulması açısından yararlı olacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte çalışmada binanın taşıyıcı sisteminde betonarme elemanlar seçildiği için farklı geometriye ve farklı malzemelere sahip yüksek binaların tasarım ve deprem etkisi altındaki davranışları incelenmelidir.

KAYNAKÇA

[1] Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 20.11.2019, https://www.ctbuh.org/

[2] R. Hasan, L. Xu, ve D. Grierson, "Push-over analysis for performance-based design", Computers and Structures, c.80, sy.31, ss. 2483-2493, 2002.

[3] R. Klemencic, J. A. Fry ve J. D. Hooper, "Performance-based design of tall reinforced concrete ductile core wall systems", The Structural Design of Tall and Special Buildings, c.15, sy.5, ss. 571-579, 2006.

[4] K. A. Harries ve D. S. McNeice, "Performance-based design of high-rise coupled wall systems", The Structural Design of Tall and Special Buildings, c. 15, sy 3, ss. 289-306, 2006.

[5] J. P. Moehle, "Seismic analysis, design, and review for tall buildings", The Structural Design of Tall and Special Buildings, c. 15, sy 5, ss. 495-513, 2006.

[6] W. F. Baker, D. S. Korista, ve L. C. Novak, "Burj Dubai: Engineering the world's tallest building", The Structural Design of Tall and Special Buildings, c. 16, sy 4, ss. 361-375, 2007.

[7] L. D. Carpenter vd., "Performance of tall buildings in Viña del Mar in the 27 February 2010 offshore Maule, Chile earthquake", The Structural Design of Tall and Special Buildings, c. 20, sy 1, ss. 17-36, 2010.

[8] IM. Nakai, N. Koshika, K. Kawano, K. Hirakawa ve A. Wada, "Performance-based seismic design for high-rise buildings in Japan", International Journal of HighRise Buildings, c. 1, sy 3, ss. 155-167, 2012.

[9] F. Nateghi-A ve A. Rezaei-Tabrizi, "Nonlinear dynamic response of tall buildings considering structure-soil-structure effects", The Structural Design of Tall and Special Buildings, c. 22, sy 14, ss. 1075-1082, 2011.

[10] X. Wu, F. Sun, X. Lu ve J. Qian, "Nonlinear time history analysis of China Pavilion for Expo 2010 Shanghai China", The Structural Design of Tall and Special Buildings, c. 23, sy 10, ss. 721-739, 2013.

[11] A. R. Özuygur, "Performance-based seismic design of an irregular tall building in Istanbul", The Structural Design of Tall and Special Buildings, c. 24, sy 10, ss. 703-723, 2015.

[12] B. Sun, Q. Gu, P. Zhang ve J. Ou, “A practical numerical substructure method for seismic nonlinear analysis of tall building structures”, The Structural Design of Tall and Special Buildings, c. 26, sy 16, s. e1377, 2017.

[13] A. R. Emami ve A. M. Halabian, “Incremental dynamic collapse analysis of RC core-wall tall buildings considering spatial seismic response distributions”, The Structural Design of Tall and Special Buildings, c. 26, sy 15, s. e1383, 2017.

[14] A. R. Özuygur ve Z. Celep, "Yüksek Binaların Yapısal Tasarımı", İMO Teknik Dergi, sy 70, ss. 8-12, 2017.

[15] G. Eftekhar ve G. Nouri, “Seismic Performance Assessment of High-Rise Buildings with Different Lateral Load Resisting Systems Under Near-Field Earthquakes with Fling Step”, Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, c. 42, sy 4, ss. 361-370, 2018.

[16] S. Malla, S. Karanjit, P. Dangol, ve D. Gautam, “Seismic oerformance of High-rise condominium building during the 2015 Gorkha earthquake sequence”, Buildings, c. 9, sy. 2, s. 36, 2019.

[17] https://www.eurekalert.org/multimedia/pub/160167.php?from=381714 Erişim Tarihi: 20.11.2019.

[18] C. W. Condit, "The First Reinforced-Concrete Skyscraper: The Ingalls Building in Cincinnati and Its Place in Structural History", Technology and Culture, c. 9, sy. 1, ss. 1-33, 1968.

[19] A. Özgen, (1989). "Çok Katlı Yüksek Yapıların Tarihsel Gelişimi ve Son Aşama Tübüler Sistemler", Yapı Dergisi, 89:47-53.

[20] M. H. Günel ve H. E. Ilgın, (2014). Tall Buildings Structural Systems and Aerodynamic Form, Routledge, New York.

[21] Z. Celep, (2018) Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.

[22] M. Sarkasian, (2016). Desıgnıng Tall Buildings: Structure As Architecture, Routledge, New York.

[23] G. Uygun ve Z. Celep, "Betonarme Bir Binanın Deprem Güvenliğinin Deprem Yönetmeliği (2007) deki Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırmalı İncelenmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.

[24] E. Özer, (2009) Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, İstanbul: http://www.ins.itu.edu.tr/eözer, İstanbul.

[25] TS500, (2000) Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[26] TBDY 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

[27] Z. Celep, (2017) Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.

[28] B. Yön, Y. Calayır, (2013). "Betonarme Binalarda Sargı Donatısı Etkisinin Yayılı Plastikmafsal Modeliyle İncelenmesi", 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül, Hatay.

[29] F. F. Taucer, E. Spacone ve F. C. Filippou, "A Fiber Beam-Column Element for Seismic Response Analysis of Reinforced Concrete Structures", Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, California, Berkeley, 1991.

[30] ETABS (2018). "Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc.", Berkeley, California.

[31] SAP2000 (2019). "Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc.", Berkeley, California.

[32] TS498, (1984). Betonarme Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[33] Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, 09.10.2019, https://tdth.afad.gov.tr/.

[34] PEER-NGA Deprem Kayıtları Veri Bankası, 30.10.2019, https://ngawest2.berkeley.edu/

[35] Z. Özdemir ve Y. M. Fahjan, (2007). "Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması", Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim, İstanbul.

[36] SEISMOMATCH,(2018). "Response Spectrum Matching, Seismosoft Company", Pavia.

[37] L. Al Atik ve N. Abrahamson, “An Improved Method for Nonstationary Spectral Matching”, Earthquake Spectra, c. 26, sy 3, ss. 601-617, 2010.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: ahmet.akif.akcora@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. A. A. Akçora, B. Sevim, (2019). "Betonarme Yüksek Yapıların TBDY 2018'e Göre Performans Değerlendirmesi", 5. Mühendislik Mimarlık Tasarım Kongresi, 21-22 Aralık 2019, İstanbul