T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI TAŞIYICI SİSTEME SAHİP BETONARME YÜKSEK BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

FARUK DADAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. BARIŞ SEVİM

İSTANBUL, 2017

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI TAŞIYICI SİSTEME SAHİP BETONARME YÜKSEK BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Faruk DADAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 19.12.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Barış SEVİM

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Barış SEVİM

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ali KOÇAK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Ali ETEMADİ

İstanbul Gelişim Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği programı çerçevesinde gerçekleştirilen bu yüksek lisans tez çalışmasında, yakın bir zamanda yürürlüğe girmesi beklenen Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği esasları dikkate alınmıştır. İstanbul il sınırları içerisinde yapılacak farklı taşıyıcı sisteme sahip betonarme yüksek binaların, zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yöntemi kullanılarak deprem performansının belirlenmesi ve bina davranışlarının çeşitli kriterlere göre değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışmalarımın tüm aşamalarında gerek lisans gerekse yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleriyle bana her konuda destek olan danışman sayın hocam Doç. Dr. Barış Sevim'e teşekkürlerimi sunarım.

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

Aralık, 2017

Faruk DADAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ x

ŞEKİL LİSTESİ xi

ÇİZELGE LİSTESİ xiv

ÖZET xvi

ABSTRACT xviii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 2
1.2 Tezin Amacı 6
1.3 Hipotez 7

BÖLÜM 2

BETONARME YÜKSEK BİNALARIN DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ 8

2.1 Yüksek Yapıların Tarihçesi 8
2.2 Yüksek Bina Tanımı 11
2.3 Yüksek Binalarda Taşıyıcı Sistemler 12
2.3.1 Çerçeve Sistemler 15
2.3.2 Rijitleştirilmiş (Çaprazlı veya Perdeli) Çerçeve Sistem 16
2.3.3 Perdeli (Tünel Kalıp) Sistemler 18
2.3.4 Tüp Sistemler 19
2.3.5 Diagrid Sistemler 23
2.3.6 Mega Çerçeveli Rijit Katlı Sistemler 24
2.4 Taşıyıcı Sistem Seçiminde Etkili Paramatreler 27
2.4.1 Taşıyıcı Sistemin Basit ve Simetrik Olması 27
2.4.2 Taşıyıcı Sistemde Fazla-Bağlılık Özelliğinin Sağlanması 28
2.4.3 Taşıyıcı Sistemde Yeterli Dayanım ve Rijitlik 28
2.4.4 Taşıyıcı Sistemde Yeterli Süneklik 29
2.4.5 Katlarda ve Geçiş Katlarında Yeterli Döşeme Rijitliği ve Dayanımı 31

2.4.6 Çekirdek Planlaması ve Düşey Taşıma 31
2.4.7 Bina Formu 32
2.4.8 Sönümleme Sistemler 34
2.4.9 Rötre ve Sünme Etkisi 35
2.5 Hesap Yöntemleri 36
2.5.1 Doğrusal Hesap Yöntemleri 36
2.5.2 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri 36
2.5.3 Geometri Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler 37
2.5.4 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler 40
2.5.4.1 Bina Malzemelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Bağıntıları 40
2.5.4.2 Betonarme Elemanlar 42
2.5.4.3 Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisindeki Elemanlar 42
2.5.5 Plastik Mafsal Hipotezi 45
2.5.6 Yayılı (Fiber) Plastik Davranış 50

BÖLÜM 3

BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN TBDY2016'A GÖRE DOĞRUSAL ANALİZİ VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ 51

3.1 Giriş 51
3.2 Deprem Etkisinin Tanımlanması 54
3.2.1 Deprem Düzeyleri 54
3.2.2 Deprem Tasarım Spektrumları 54
3.2.3 Zaman Tanım Alanında Deprem Etkisi 57
3.3 Malzeme Karakteristikleri 59
3.3.1 Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri 59
3.3.2 Donatı Çeliği Modeli 59
3.4 Doğrusal Analiz ve Tasarım 60
3.4.1 Eşdeğer Deprem Yükü 62
3.4.2 Mod Birleştirme Yöntemi 64
3.4.3 Bina Elemanlarının Tasarımı 65
3.4.3.1 Süneklilik Düzeyi Yüksek Kirişlerin Tasarımı 65
3.4.3.2 Süneklilik Düzeyi Yüksek Kolonların Tasarımı 67
3.4.3.3 Süneklilik Düzeyi Yüksek Perdelerin Tasarım 68
3.5 Doğrusal Olmayan Analiz ve Performans Değerlendirmesi 71
3.5.1 Yüksek Binalarda için Analiz Yöntemleri ve Performansa Göre Deprem Tasarımı Aşamaları 72
3.5.2 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi 72
3.5.3 Yüksek Binalarda İçin Analiz Aşamaları 73
3.5.3.1 Tasarım Aşaması I (Ön Tasarım ve Boyutlandırma) 73
3.5.3.2 Tasarım Aşaması II (KK-HK) 74
3.5.3.3 Tasarım Aşaması III (CG-GÖ) 76
3.5.4 Performans Düzeyleri 77
3.5.4.1 Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi 77
3.5.4.2 Hemen Kullanım Performans Düzeyi 77
3.5.4.3 Can Güvenliği Performans Düzeyi 77
3.5.4.4 Göçme Öncesi Performans Düzeyi 78

3.5.4.5 Göçme Durumu 79
3.5.5 Kesit Hasar Bölgeleri ve Performans Hedefleri 79

BÖLÜM 4

SAYISAL ÇALIŞMALAR 82

4.1 Binaların Genel Bilgileri 82
4.2 Bina Taşıyıcı Sistemleri 84
4.3 Deprem Etkilerinin Tanımlanması 89
4.3.1 Tasarım Spektrumunun Belirlenmesi 89
4.3.2 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi 90
4.4 Taşıyıcı Sistem Modellenmesine İlişkin Kurallar 94
4.4.1 Doğrusal Hesap için Modelleme 94
4.4.2 Doğrusal Olmayan Hesap için Modelleme 96
4.5 Yüklemeler ve Yük Kombinasyonları 98
4.6 Doğrusal Analiz Tasarım Aşaması (Tasarım Aşaması 1) 99
4.6.1 Modal Analiz Sonuçları ve Göreli Kat Ötelenmeleri 99
4.6.2 Betonarme Elemanların Tasarımı 107
4.7 Doğrusal Olmayan Tasarım Aşaması (Tasarım Aşaması 3) 119
4.7.1 Plastikleşen Eleman Sonuçları 119
4.7.2 Yerdeğiştirmeler, Göreli Kat Ötelenmeleri ve Kuvvet Etkileri 123
4.7.3 Tepe Noktası İvme-Zaman Değişimleri 135
4.7.4 Deprem Etkisinde Tüketilen Enerji Miktarları 137

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 141

KAYNAKLAR 145

EK-A

DEPREM TEHLİKE HARİTASI 148

EK-B

ELEMAN DETAYLARI 149

EK-C

MODEL 1 HASAR SONUÇLARI 159

EK-D

MODEL 2 HASAR SONUÇLARI 173

EK-E

MODEL 3 HASAR SONUÇLARI 180

ÖZGEÇMİŞ 194

SİMGE LİSTESİ

A_c	Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı
A_{ck}	Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı
A_{sh}	Kolonda veya perde uç bölgesindeki yatay donatı alanı
A_w	Kolon enkesiti etkin gövde alanı
b_k	Kolon veya perde uç bölgesi çekirdeğinin enkesit boyutu
b_w	Kirişin gövde genişliği, perdenin gövde kalınlığı
C_h	İkinci mertebe hesabında kullanılan amprik katsayı
d	Kirişin faydalı yüksekliği
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
d_{fi}	Binanın i'inci katında F_{fi} fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirmesi
E	Elastisite modülü
E_c	Betonun elastisite modülü
E_s	Donatı çeliğinin elastisite modülü
E_d^Z	Tasarıma esas düşey deprem etkisi
EI_o	Çatlamamış kesit eğilme rijitliği
EI_e	Çatlamış kesit eğilme rijitliği
F_s	Kısa period bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayısı
f_{cc}	Sargılı beton basınç dayanımı
f_{co}	Sargısız betonun basınç dayanımı
f_{cd}	Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ce}	Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı
f_{ck}	Beton karakteristik basınç dayanımı
f_e	Etkili sargılama basıncı
f_s	Donatı çeliğindeki gerilme
f_{sy}	Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{su}	Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{yd}	Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
f_{ye}	Boyuna donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı
f_{yk}	Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı
f_{ctd}	Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{ctk}	Betonun karakteristik çekme dayanımı
f_{ywd}	Enine donatının tasarım akma dayanımı

f_{ywk} Enine donatının karakteristik akma dayanımı
F_{fi} Bina hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etkiyen fiktif yük
F_{iE} Deprem doğrultusunda i'inci kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü
ΔF_{NE} Binanın tepesine etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
g Yerçekimi ivmesi (g = 9.81 m/s^2)
g_i Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük
G Sabit yük etkisi
h_i i'inci katın yüksekliği
H_{cr} Kritik perde yüksekliği
H_i Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
H_N Bina toplam yüksekliği
H_w Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden ölçülen toplam perde yüksekliği
L_F Fay düzlemine olan mesafe (km)
I Bina önem katsayısı
l_n Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği veya kirişin kolon veya perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığı
l_p Plastik mafsal boyu
l_w Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
m_i Binanın i'inci katının kütlesi
m_t Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi
M Eğilme momenti
M_p Kesitin eğilme momenti taşıma gücü (plastik moment)
M_{pa} Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda hesaplanan moment kapasitesi
M_{pi} Kirişin sol ucu i'deki kolon yüzünde hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
M_{pj} Kirişin sağ ucu j'deki kolon yüzünde hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
$M_{pü}$ Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda hesaplanan moment kapasitesi
M_{ra} Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda hesaplanan taşıma gücü kapasitesi
M_{ri} Kirişin sol ucu i'deki kolon veya perde yüzünde hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü kapasitesi
M_{rj} Kirişin sağ ucu j'deki kolon veya perde yüzünde hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü kapasitesi
$M_{rü}$ Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda hesaplanan taşıma gücü Kapasitesi
n Hareketli yük katılım katsayısı
N Normal kuvvet, binanın kat adedi
N_d Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisinde hesaplanan eksenel kuvvet
N_{dm} Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü
q Hareketli yük
q_i Binanın i' inci katındaki toplam hareketli yük
R Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$ Deprem yükü azaltma katsayısı
s Enine donatı aralığı, spiral donatı adımı

$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aR}(T)$	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
S_S	Kısa periyod bölgesi için harita spektral ivme katsayısı
S_1	1.0 saniye periyod için harita spektral ivme katsayısı
S_{DS}	Kısa periyod bölgesi için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	1.0 saniye periyod için tasarım spektral ivme katsayısı
T	Doğal titreşim periyodu
T_p	Binanın hâkim doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_L	Yatay elastik spektrumda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
V_c	Betonun kesme dayanımına katkısı
V_d	Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisinde hesaplanan kesme kuvveti
V_{dy}	Kirişin herhangi bir kesitinde düşey yüklerden meydana gelen kesme kuvveti
V_e	Kolon, kiriş ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti
V_i	Deprem doğrultusunda i'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvveti
V_r	Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
V_t	Taban kesme kuvveti
$V_{t,min}$	Minimum taban kesme kuvveti
w_k	k'ıncı kata etkiyen toplam ağırlık
w_n	Titreşim hesabından bulunan n'inci mod doğal açısal frekansı
ε	Birim boy değişmesi
ε_c	Beton birim şekildeğiştirmesi
ε_{cu}	Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi
ε_s	Donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi
ε_{sh}	Donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi
ε_{sy}	Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
ε_{su}	Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
ξ	Sönüm oranı
β_v	Betonarme perdede kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı
ρ	Toplam boyuna donatı oranı
ρ_s	Toplam enine donatının donatının hacimsel oranı
ρ_{sh}	Perdede yatay gövde donatılarının hacimsal oranı
χ	Birim dönme (eğrilik)
χ_p	Kesitin eğilme momentine karşı gelen birim dönme
γ_F	Faya yakınlık katsayısı
φ_p	Plastik eğrilik istemi
φ_t	Toplam eğrilik istemi
φ_y	Akma eğriliği istemi
φ_y'	Kesitte ilk akmaya karşı gelen eğrilik
ϑ_p	Plastik dönme
$\vartheta_{II,i}$	Deprem doğrultusunda her bir i'inci kat için ikinci mertebe gösterge değeri
Δ_{ort}	Deprem doğrultusunda ortalama azaltılmış göreli kat ötelemesi
$\delta_{i,max}$	Binanın i'inci katındaki göreli kat ötelemelerinin kattaki en büyük değeri
η_{bi}	i'inci katta burulma düzensizliği katsayısı
γ_E	Eşdeğer taban kesme kuvveti ampirik büyütme amprik katsayısı
λ	Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan amprik katsayı

KISALTMA LİSTESİ

ASCE	American Society of Civil Engineers
ATC	Applied Tecnology Council
BKS	Bina Kullanım Sınıfı
BSSC	Building Seismic Safety Council
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
CG	Can Güvenliği
CQC	Complete Quadratic Combination (Tam Kuadratik Birleşim)
CTBUH	Council on Tall Buildings and Urban Habitat
DGT	Dayanıma Göre Tasarım
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
EERC	Earthquake Engineering Research Center
FEMA	Federal Emergency Management Agency
GÇ	Göçme Sınırı
GÖ	Göçmenin Önlenmesi
GV	Güvenlik Sınırı
HK	Hemen Kullanım
İYBDY	İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği
KK	Kesintisiz Kullanım
MN	Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
SRSS	Square Root of Sum of Squares (Karelerin Toplamının Karekökü)
ŞDGT	Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (Taslak)
TS500	Türk Standardı (Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları)
YM	Yeterli Tireşim Modu Sayısı

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Home Insurance Binası, Chicago 8
Şekil 2.2 Ingalls Binası, Cincinnatti 9
Şekil 2.3 De Witt Chestnut (solda) Brunswick Apartmanı, Chicago 10
Şekil 2.4 CTBUH'a göre dünyadaki en yüksek 20 bina 12
Şekil 2.5 2000'li yıllarda yüksek bina taşıyıcı sistemleri için bir sınıflandırma 14
Şekil 2.6 Çerçeve tipi taşıyıcı sistem ve şekil değişimi 15
Şekil 2.7 Perde ve çerçeve sistem etkileşimi 17
Şekil 2.8 Kafes perdeli çerçeve + çelik/betonarme çekirdek sistem 17
Şekil 2.9 Perde duvarlı sistem 19
Şekil 2.10 Tüp taşıyıcı sistem izometrik ve plan görünüm 20
Şekil 2.11 Time Square Tower (New York, 2004) 22
Şekil 2.12 Willis Tower (Chicago, 1973) 23
Şekil 2.13 Güncel diagrid taşıyıcı sistem örnekleri 24
Şekil 2.14 Binadaki yerdeğiştirme ve mometin rijit kat konumuyla değişimi 25
Şekil 2.15 Rijit kat ve çerçeve kafes yerleşimi 26
Şekil 2.16 Mega çerçeveli rijit katlı bir uygulama (International Commerce Center) .. 26
Şekil 2.17 Deprem ve rüzgar için azaltılmış spektrum-periyot değişimleri 28
Şekil 2.18 Doğrusal ve doğrusal olmayan davranış için kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi .. 30
Şekil 2.19 Rijit ve esnek sistemlerde gevrek ve sünek davranışların karşılaştırması ... 31
Şekil 2.20 Yüksek binalarda rüzgar etkileri ve ilgili çözümler 33
Şekil 2.21 Burj Khalifa, Infinity Tower, Changhai Finance Center, Aqua Tower 34
Şekil 2.22 Aktif ve pasif sönümleme sistemlerinin sınıflandırılması 35
Şekil 2.23 Birinci ve ikici mertebe teorilerinin karşılaştırılması 38
Şekil 2.24 P-Δ ve P-δ etkileri 38
Şekil 2.25 Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme diyagramı 40
Şekil 2.26 Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının idealleştirilmesi 41
Şekil 2.27 Betonun gerilme-şekil değiştirme diyagramı 41
Şekil 2.28 Betonarme kesitlerde moment-eğrilik diyagramı 43
Şekil 2.29 Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramı 45
Şekil 2.30 Mafsal bölgesi doğrusal olmayan şekil değiştirmeler 46
Şekil 2.31 Gerçek eğilme momenti-eğrilik diyagramı 47
Şekil 2.32 İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik diyagramı 47
Şekil 2.33 Plastik mafsal boyu 49
Şekil 2.34 Lifli eleman davranışı 50

Şekil 3.1 Yatay elastik deprem spektrumu 56
Şekil 3.2 Beton gerilme-şekil değiştirme diyagramı 59
Şekil 3.3 Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme diyagramı 60
Şekil 3.4 Özel deprem etriye ve çirozları 65
Şekil 3.5 Kirişlerde tasarım kesme kuvvetini oluşturan etkiler 67
Şekil 3.6 Perdelerde tasarım kesme kuvvetinin belirlenmesi 70
Şekil 3.7 Betonarme kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri 81
Şekil 4.1 Model 1 kalıp planı 83
Şekil 4.2 Model 2 kalıp planı 84
Şekil 4.3 Model 1 analiz modeli kat planları ve isimlendirme(1. ve 30. kat için) 85
Şekil 4.4 Model 1'e ait sonlu eleman analiz modelleri 86
Şekil 4.5 Model 2 analiz modeli plan görünümleri (1. ve 30. kat için) 87
Şekil 4.6 Model 2'e ait sonlu eleman analiz modelleri 87
Şekil 4.7 Model 3'e ait kesit görünümleri (1-7, A-G çevre eksenleri) 88
Şekil 4.8 Deprem düzeyleri için tasarım ivme spektrumları 89
Şekil 4.9 Zaman tanım alanında ölçeklendirme işlemi 90
Şekil 4.10 Ölçeklendirilmiş kayıtlara ait periyot-spektrum eğrileri 91
Şekil 4.11 Chi-Chi depremi ivme kayıtları 92
Şekil 4.12 Erzincan depremi ivme kayıtları 92
Şekil 4.13 Imperial Valley depremi ivme kayıtları 92
Şekil 4.14 Kobe depremi ivme kayıtlar 93
Şekil 4.15 Kocaeli depremi ivme kayıtları 93
Şekil 4.16 Loma Prieta depremi ivme kayıtları 93
Şekil 4.17 Northridge depremi ivme kayıtları 93
Şekil 4.18 Etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi 97
Şekil 4.19 Model 1 için ilk 3 mod şekli 100
Şekil 4.20 Model 2 için ilk 3 mod şekli 101
Şekil 4.21 Model 3 için ilk 3 mod şekli 102
Şekil 4.22 Model 1 döşeme düzensizlik kontrolü ve düşey yük gerilme dağılımı 110
Şekil 4.23 Model 2 döşeme düzensizlik kontrolü ve düşey yük gerilme dağılımı 110
Şekil 4.24 Model 3 döşeme düzensizlik kontrolü ve düşey yük gerilme dağılımı 110
Şekil 4.25 Kiriş alt donatı hesabı 111
Şekil 4.26 Kiriş üst donatı hesabı 112
Şekil 4.27 Moment-eğrilik grafiği ve idealleştirilmesi 113
Şekil 4.28 S80x60 etkileşim diyagramı (iki doğrultusu için) 114
Şekil 4.29 P14-18-23-27/60 cm etkileşim diyagramı (iki doğrultusu için) 117
Şekil 4.30 P14-18-23-27/60 cm tasarım kuvvetleri diyagramı 118
Şekil 4.31 Model 1 X-X doğrultusu için yerdeğiştirmelerin yükseklik ile değişimi 124
Şekil 4.32 Model 1 Y-Y doğrultusu için yerdeğiştirmelerin yükseklik ile değişimi 124
Şekil 4.33 Model 2 X-X doğrultusu için yerdeğiştirmelerin yükseklik ile değişimi 125
Şekil 4.34 Model 2 Y-Y doğrultusu için yerdeğiştirmelerin yükseklik ile değişimi 125
Şekil 4.35 Model 3 X-X doğrultusu için yerdeğiştirmelerin yükseklik ile değişimi 126
Şekil 4.36 Model 3 Y-Y doğrultusu için yerdeğiştirmelerin yükseklik ile değişimi 126
Şekil 4.37 X-X doğrultusu için ortalama ve maksimum göreli kat ötelenmeleri 127
Şekil 4.38 Y-Y doğrultusu ortalama ve maksimum göreli kat ötelenmeleri 128
Şekil 4.39 Model 1 X-X ve Y-Y doğrultuları kat kesme kuvvetlerinin değişimi 129

Şekil 4.40 Model 1 X-X ve Y-Y doğrultuları için eğilme momenti değişimi..... 129
Şekil 4.41 Model 2 X-X ve Y-Y doğrultuları kat kesme kuvvetlerinin değişimi 131
Şekil 4.42 Model 2 X-X ve Y-Y doğrultuları için eğilme momenti değişimi..... 131
Şekil 4.43 Model 3 X-X ve Y-Y doğrultuları kat kesme kuvvetlerinin değişimi 132
Şekil 4.44 Model 3 X-X ve Y-Y doğrultuları için eğilme momenti değişimi..... 132
Şekil 4.45 Tüm modellerde çekirdek tarafınan taşınan normal kuvvetlerin ve toplam normal kuvvetlerin yükseklik ile değişimi 133
Şekil 4.46 X-X ve Y-Y doğrultuları için kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması 134
Şekil 4.47 X-X ve Y-Y doğrultuları için eğilme momentinin karşılaştırılması 134
Şekil 4.48 ChiChi depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri..... 135
Şekil 4.49 Erzincan depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri 135
Şekil 4.50 Imperial Valley depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri..... 135
Şekil 4.51 Kobe depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri..... 136
Şekil 4.52 Kocaeli depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri 136
Şekil 4.53 Loma Prieta depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri..... 136
Şekil 4.54 Northridge depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri 136
Şekil 4.55 Model 1 için depremlerde tüketilen enerji miktarlarının değişimi..... 138
Şekil 4.56 Model 2 için depremlerde tüketilen enerji miktarlarının değişimi..... 139
Şekil 4.57 Model 3 için depremlerde tüketilen enerji miktarlarının değişimi..... 140
Şekil A.1 Deprem tehlike haritası ve bina konumu 148
Şekil B.1 Tüm modellerde kullanılan kirişlerin detayları 149
Şekil B.2 Model 1/3 tüm kolon detayları..... 150
Şekil B.3 Model 2 çevre perde detayları (ilk 4 kat)..... 151
Şekil B.4 Model 2 çevre perde detayları (4-8 katlar)..... 152
Şekil B.5 Model 2 çevre perde detayları (9-30 katlar)..... 153
Şekil B.6 Çekirdek perde detayları (22-30 katlar)..... 154
Şekil B.7 Çekirdek perde detayları (15-22 katlar)..... 155
Şekil B.8 Çekirdek perde detayları (9-15 katlar)..... 156
Şekil B.9 Çekirdek perde detayları (5-8 katlar)..... 157
Şekil B.10 Çekirdek perde detayları (ilk 4 kat)..... 158

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Dünyada 2020 yılında olması planlanan en yüksek 10 bina bilgileri 13
Çizelge 2.2 Türkiye'de 2020 yılında olması planlanan en yüksek 10 bina bilgileri ... 14
Çizelge 3.1 Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları 52
Çizelge 3.2 Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) 52
Çizelge 3.3 BYS ve DTS'ye göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları 53
Çizelge 3.4 Bina taşıyıcı sistemleri için izin verilen bina yükseklik sınıfları..... 53
Çizelge 3.5 Kısa periyod bölgesi için yerel zemin etki katsayıları 55
Çizelge 3.6 1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayıları..... 55
Çizelge 3.7 Donatı çeliklerine ait bilgiler 60
Çizelge 3.8 Hareketli yük kütle katılım katsayısı..... 63
Çizelge 3.9 Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar 63
Çizelge 3.10 II. Tasarım aşamasında uygulanacak etkin kesit rijitlikleri 75
Çizelge 3.11 Beton ve donatı için izin verilen birim şekil değiştirme sınırları 80
Çizelge 3.12 Deprem tasarım sınıfına göre yüksek bina performans hedefleri 80
Çizelge 4.1 Kolon ve kirişlerin kesit değişimleri..... 86
Çizelge 4.2 Deprem düzeyleri için spektral değerler..... 89
Çizelge 4.3 Seçilen deprem kayıtları ve parametreleri..... 91
Çizelge 4.4 Betonarme taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlikleri 94
Çizelge 4.5 Ortalama malzeme dayanımları..... 96
Çizelge 4.6 Yük kombinasyonları ve yükleme tanımları 98
Çizelge 4.7 Model 1 modal analiz sonuçları 100
Çizelge 4.8 Model 2 modal analiz sonuçları 101
Çizelge 4.9 Model 3 modal analiz sonuçları 102
Çizelge 4.10 Kat kütleleri ve katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü 103
Çizelge 4.11 X-X doğrultusu maksimum deplasman ve göreli kat ötelenmeleri..... 105
Çizelge 4.12 Y-Y doğrultusu maksimum deplasman ve göreli kat ötelenmeleri 106
Çizelge 4.13 Model 1 kolon ve perde maksimum eksenel basınç oranları 108
Çizelge 4.14 Model 2 perdelerde maksimum eksenel basınç oranları..... 108
Çizelge 4.15 Model 3 kolon ve perde maksimum eksenel basınç oranları 109
Çizelge 4.16 Kirişlerin kesme kuvveti kontrolü ve donatı seçimleri 114
Çizelge 4.17 Kolonların kesme kuvveti kontrolü ve donatı seçimleri..... 116
Çizelge 4.18 Perdelerin kesme kuvveti kontrolü 118
Çizelge 4.19 Model 1 elemanlarının plastikleşme sonuçları 119

Çizelge 4.20 Model 2 elemanlarının plastikleşme sonuçları 120
Çizelge 4.21 Model 3 elemanlarının plastikleşme sonuçları 121
Çizelge 4.22 Perde elemanların kesme kuvveti kontrolleri 122
Çizelge 4.23 Kolon elemanların kesme kuvveti kontrolleri 122
Çizelge C.1 Model 1 taşıyıcı sistem elemanlarının hasar oranları 159
Çizelge C.2 Model 1 taşıyıcı sistem elemanlarının maksimum birim şekil değiştirmeleri ve hasar seviyeleri..... 159
Çizelge D.1 Model 2 taşıyıcı sistem elemanlarının hasar oranları 173
Çizelge D.2 Model 2 taşıyıcı sistem elemanlarının maksimum birim şekil değiştirmeleri ve hasar seviyeleri..... 173
Çizelge E.1 Model 3 taşıyıcı sistem elemanlarının hasar oranları 180
Çizelge E.2 Model 3 taşıyıcı sistem elemanlarının maksimum birim şekil değiştirmeleri ve hasar seviyeleri..... 180

ÖZET

FARKLI TAŞIYICI SİSTEME SAHİP BETONARME YÜKSEK BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Faruk DADAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Barış SEVİM

Gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerdeki hızlı şehirleşme ve giderek artan nüfusun yarattığı konut ve işyeri gereksinimleri, yüksek binalar için daha fazla sayıda kat talep etmektedir. Binadaki kat sayısı artmasıyla, deprem ve rüzgar yükleri binayı daha da zorlaştırmakta ve farklı etkiler oluşturmaktadır. Ülkemiz aktif bir deprem bölgesinde bulunması, önceki depremlerin maddi zararlara ve depremlerden kaynaklanan ölümlerin sayısına bağlı olması nedeniyle mevcut binaların ve yakın gelecekte inşa edilecek binaların deprem performansının değerlendirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır.

Çalışmanın amacı, farklı taşıyıcı sistemlere sahip yüksek binaların deprem performanslarını değerlendirmektir. Bu amaçla taşıyıcı sistemleri çekirdek+çerçeve, çekirdek+çerçeve+çelik çapraz elemanlar çekirdek+perdeli sistemler ile oluşturulmuş otuz katlı üç betonarme yüksek bina ele alınmaktadır. Ele alınan bu üç binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yöntemi kullanılarak deprem performansının belirlenmesi ve performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada yapısal taşıyıcı sistem, SAP2000-V19.2.1 ortamında malzeme ve geometri özellikleri bakımından doğrusal olmayan davranışları gözönünde bulundurularak modellenmiştir. Dinamik analizler TBDY2016 (taslak) deprem spektrumu temelinde ölçeklendirilen deprem kayıtları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, performansa dayalı tasarım ile ilgili önceki çalışmalar ve çalışmanın amacı tanımlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, yüksek binaların gelişim süreçleri anlatılmıştır. Bu bölümde yüksek bina tasarımları kronolojik olarak incelenmiş, tasarım süreçlerinde karşılaşılan sorunların çözümünde kullanılan taşıyıcı sistem düzenlemeleri ve geliştirilen kavramlar genel olarak özetlenmiştir. Yüksek bina tasarım yöntemlerinin gelişimleri ve yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin sınıflandırılması konuları hakkında kapsamlı bilgilere yer verilmiş, taşıyıcı sistem düzenlenmesi aşamalarında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde, TBDY2016 (taslak) yönetmeliğinde doğrusal analize dayalı önboyutlandırma ve performansa dayalı tasarım kuralları özetlenmiştir. Hesap aşamalarında kullanılan yöntemler hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir.

Dördüncü bölüm, üç tane betonarme yüksek binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak deprem performansının belirlenmesi ve yönetmelik koşulları uyarınca değerlendirilmesine ayrılmıştır. Bu bölümde gerçekleştirilen çalışmada kullanılan yapısal taşıyıcı sistem özellikleri, deprem etkilerinin tanımlanması, deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi konuları hakkında kapsamlı bilgilere yer verilmiştir.

Ek olarak doğrusal olmayan analiz modelinin oluşturulması aşamalarında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar ve yapısal taşıyıcı elemanların analiz programında modellenmesine ilişkin önerilere yer verilmiştir. Analizler sonunda elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Son bölümde, bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar ve çalışmanın geliştirilmesi amacıyla sunulan öneriler yer almaktadır. Çalışmanın ekleri, ekler bölümünde toplanmıştır. Bu bölümde sayısal analiz modelinin oluşturulması aşamalarında kullanılan önemli veri giriş bilgileri ve performans değerlendirilmesinde kullanılan çizelgeler yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Performansa dayalı tasarım, yüksek bina, deprem davranışı, doğrusal ve doğrusal olmayan analiz, TBDY2016

ABSTRACT

SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF TALL BUILDINGS WITH DIFFERENT STRUCTURAL SYSTEM

Faruk DADAS

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Barıs SEVİM

Rapid urbanization in developing and developed countries and housing and workplace requirements created by the growing population demands more number of storeys for tall buildings. As the number of storeys in the building increases, the earthquake and wind loads are making it even harder and different effects on the building. The requirement for the evaluation of earthquake performance of current buildings and buildings that will be built in near future become apparent because of the fact that our country is located on an active earthquake region, previous earthquakes caused financial damage and the number of deaths due to earthquakes.

The purpose of the study is to evaluate the earthquake performance of tall buildings with different structural systems. For the aim, three reinforced concrete tall buildings of 30 storeys are composed different structural systems which core+frame, core+frame+ steel braced elements, core+frames+shear walls. Earthquake performance evaluation of three different buildings were performed by using nonlinear dynamic time history analysis. Structural models were built in SAP2000-V19.2.1 environment considering the material and geometric nonlinearity of the structural components. Dynamic analyses were carried out by using scaled time history records on the basis of the TSC2016 (draft) earthquake design spectra.

The study consists of five main chapters. In the first chapter, previous works about performance based design and the purpose of the study are defined.

The second chapter of this study, development process of the tall buildings are explained. In this chapter, design trends of tall buildings are examined in chronological order and solutions of the problems that encountered in the design process of structural systems are summarized. Detailed information about the structural system developments and classifications of the tall building systems are given, some important aspect of structural system configurations are reviewed.

In the third chapter, the TSC2016 (draft) regulation are summarized the design principles based on linear analysis and performance based analysis. Detailed information about the methods used in the calculations are given.

The fourth chapter is devoted to the earthquake performance evaluation of three reinforced concrete tall buildings based on nonlinear time history analysis. In this chapter, detailed information about structural system properties of the building, selection and scaling procedure of earthquake records and recommendations on modeling process of the structural components for nonlinear analysis are given.

In addition, some important points when constructing the nonlinear analysis model and suggestions for structural elements modeling in the analysis program are given. The results obtained at the end of the analyzes were evaluated comparatively.

Finally, the results obtained from three different models are summarized by using tables and graphs, and then results are examined comparatively. The appendices are given the Appendices chapter of this study. In this chapter, important data entry information used for nonlinear modeling of the structural components and calculated usage ratio tables of the structural components for performance evaluation of the structural system are presented.

Keywords: Performance based design, tall building, earthquake behaviour, linear and nonlinear analysis, TSC2016

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme günümüz inşaat mühendisliğinin gerekli kavramları arasındadır. Yerdeğiştirme ve şekil değiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayanların güçlendirilmesi çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Nortridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterine alternatif olarak yerdeğiştirme ve şekil değiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Bu gereksinimi karşılamaya yönelik olarak, Applied Tecnology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings ATC40 projesi ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings FEMA273, FEMA356 çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu çalışmaların değerlendirilerek geliştirilmesi amacı ile ATC55 ve çalışmalar daha da iyileştirilerek en son ATC58 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA440 taslak raporu hazırlanmıştır. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projelerde bu alandaki araştırmalara katkı sağlamıştır.

1.1 Literatür Özeti

Şekil değiştirme esaslı tasarımın amacı, binaların öngörülen bir deprem etkisine göre istenen bir deprem performansı seviyesini sağlayacak şekilde tasarımını yapmaktır. Bu tasarımda artımsal itme analiz yöntemleri veya zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu alanda çeşitli araştırmacılar tarafından çok sayıda çalışma yapılmıştır. İncelenen çalışmalardan bazıları bu kısımda özetlenmiştir.

Chopra ve Goel (2000) tarafından yapılan çalışmada ATC40'da verilen doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerindeki yaklaşımlar ve yöntemdeki eksiklikler anlatılmıştır. İnelastik bir sistemin maksimum yerdeğiştirmesinin eşit yerdeğiştirme kuralı kullanılarak elastik tasarım spektrumuna dayalı olarak hesaplanması ve eksiklikleri verilmiştir [1].

Moehle (2005) tarafından yapılan çalışmada, binaların performansa göre tasarımında kullanılan doğrusal olmayan analizler için doğrusal olmayan modelin oluşturulması, zemin ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi, analizler sonucunda elde edilen sonuçların yorumlanması gibi konular üzerinde durulmuştur. Çalışmada yüksek binaların analizlerinde dikkat edilmesi gereken durumlar özetlenmiştir [2].

Moehle (2006) tarafından yüksek binaların analiz ve tasarımında dikkat edilmesi gereken konular üzerine bir çalışma yapılmıştır. Betonarme perde ve perdeleri birbirine bağlayan bağ kirişlerin betonarme tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalara değinilmiştir [3].

Harries ve Mcneice (2006) tarafından yapılan "Performance Based Design of High-Rise Coupled Wall Systems" isimli çalışma, tüp perdelerin ve bu perdeleri birbirine bağlayan bağ kirişlerinin davranışlarını incelemek için yapılmıştır. 30 katlı karşılıklı iki tüp perdeden oluşan sistemin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiş ve bu analizler sonucunda perdelerin ve bağ kirişlerinin davranışı incelenmiştir. Özellikle dayanıma göre tasarımda bağ kirişlerde akma durumu dikkate alınmadığı için aktarma bölgelerinde yüksek kesme talepleri ile karşılaşıldığı sonucuna ulaşılmıştır [4].

Klemencic, Fry ve Hooper (2006) tarafından yapılan "Performance-Based Design of Tall Reinforced Concrete Ductile Core Wall Systems" adlı çalışmada tüp çekirdek ve iki adet rijit kata sahip One Rincon Hotel binasının 3 farklı deprem düzeyi için analizleri gerçekleştirilmiş, elamanların kayma davranışı ve yüksek mod etkilerinden bahsedilmiştir. Bağ kirişleri ve perde betonarme detayları için öneriler sunulmuştur [5].

Baker, Korista ve Novak (2007) tarafından yapılan “Burj Dubai: Engineering The World’s Tallest Building” isimli çalışmada Burj Dubai binasının yapısal özellikleri, sistemin bilgisayar analizlerinin detayları, temel sisteminin özellikleri verilmiş, rüzgar tünel testleri ile ilgili açıklamalar yapılmıştır. Binanın inşaat aşamalarını içeren analizi anlatılmış, özellikle rötre ve sünme sonucu oluşan eksenel deplasman büyüklerinin etkisi incelenmiştir. Binada 30 yıl sonra donatı üzerindeki gerilmelerin ilk tamamlandığı duruma göre iki kat artacağı tahmin edilmiştir. Çalışmada kullanılan beton teknolojisinden ve mafsallı yapılan kiriş elemanların tasarımından da bahsedilmiştir [6].

Rojas, Naeim ve diğer yazarlar (2011) tarafından hazırlanmış olan “Performance Of Tall Buildings in Concepcion During The 27 February 2010 Moment Magnitude 8.8 Offshore 14 Maule, Chile Earthquake” başlıklı çalışmada 2010 yılında Şili’de meydana gelen deprem sonrası hasar gören yüksek binalarda, hasar yerleri ve oluşma nedenleri incelenmiştir. Özellikle perdelerin taban kısımlarında yüksek basınç ve çekme etkisiyle oluşan donatı burkulması hasarlarının fazlalığına değinilmiştir. Onarım ve güçlendirme örnekleri verilmiş, perdelerde rijitlik katsayısı kullanımının gerekliliği vurgulanmıştır [7].

Carpenter ve diğer yazarlar (2011) tarafından hazırlanmış olan “Performance of Tall Buildings in Vina del Mar in the 27 February 2010 Offshore Maule, Chile Earthquake” başlıklı çalışmada 2010 yılında Şili’de meydana gelen deprem sonrası hasar gören yüksek binalarda, hasar oluşumları incelenmiş, güçlendirme örnekleri anlatılmıştır [8].

Youssef ve diğer yazarlar (2011) tarafından hazırlanmış olan “Performance of the Torre Bosquemar and Olas Buildings in San Pedro de la Paz and the Pedro de Valdivia Building in Concepcion in the 27 February 2010 Offshore Maule, Chile Earthquake” başlıklı çalışmada 27 Şubat 2010’da Şili’de meydana gelen 8.8 büyüklüğündeki deprem sonucunda Torre Bosquemar, Olas ve Pedro de Valdivia binalarının zeminlerinde oluşan göçmelerden bahsedilmiş, hasar bölgeleri ve dereceleri incelenmiştir. Aşırı eksenel yük altında ve zemin göçmeleri olan bölgelerde perde hasarlarının arttığı görülmüştür [9].

Nakai, Koshika, Kawano, Hirakawa, ve Wada (2012) tarafından hazırlanmış olan “Performance Based Seismic Design for High-Rise Buildings in Japan” başlıklı çalışmada biri 100m yüksekliğinde betonarme, diğeri 300m yüksekliğinde çelik iki binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir [10].

Epackachi, Mirghaderi, Esmaili, Behbahani, ve Vahdani (2012) tarafından hazırlanmış olan “Seismic Evaluation of a 56-Storey Residential Reinforced Concrete High-Rise Building Based on Nonlinear Dynamic Time-History Analysis” başlıklı çalışmada Tahran’da yer alan 56 katlı Tehran Tower binasının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmış ve analiz sonuçları yorumlanmıştır [11].

Lagos ve diğer yazarlar (2012) tarafından hazırlanmış olan “Seismic Performance of Highrise Concrete Buildings in Chile” başlıklı çalışmada Şili’de yer alan yüksek katlı bir binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Üretilmiş çeşitli deprem verilerinden bahsedilmiş ve analiz sonuçları yorumlanmıştır [12].

Liu ve diğer yazarlar (2012) tarafından hazırlanmış olan “The Structural Design of Tianjin Goldin Finance 117 Tower” başlıklı çalışmada Çin’de yer alan Tianjin Goldin 11 Finance 117 Tower" binasının taşıyıcı sistemine ait bilgiler verilmiş, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen kat kesme kuvvetleri, deplasmanlar ve göreli kat ötelenmesi gibi sonuçlar değerlendirilmiştir [13].

Lu, Su ve Zhou (2013) tarafından hazırlanmış olan “Nonlinear Time History Analysis of A Supertall Building with Setback in Elevation” başlıklı çalışmada Shanghai’de yer alan 260m yüksekliğindeki bir binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Seçilen farklı deprem kayıtları için yapılan analiz sonuçları yorumlanmıştır. Deprem süresinin artmasıyla çekirdek perdelerindeki hasarların artmasından ve binanın geri çekilme noktalarında meydana gelen çeşitli hasarlardan bahsedilmiştir [14].

Berahman (2013) tarafından hazırlanmış olan “Performance Based Seismic Evaluation of The Icon Hotel İn Dubai, United Arab Emirates” başlıklı çalışmada Dubai’de yer alan ve mimari yapısıyla halkaya benzeyen 160 metre yüksekliğindeki otel olarak kullanılan binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen, sistemin enerji tüketimi gibi veriler yorumlanmıştır [15].

Nateghi ve Rezaei-Tabrizi (2013) tarafından hazırlanmış olan “Nonlinear Dynamic Response of Tall Buildings Considering Structure–Soil–Structure Effects” başlıklı çalışmada 15 ve 30 katlı iki binanın yapı zemin ilişkileri modellenerek oluşturulan sonlu elemanlar modelinin, seçilen farklı deprem kayıtları ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır [16].

Marzban, Banazadeh ve Azarbakht (2014) tarafından hazırlanmıs olan “Seicmic Performance of Reinforced Concrete Shear Wall Frames Considering Soil Foundation-Structure Interaction” başlıklı çalışmada farklı zemin sınıfları dikkate alınarak 3,6,10,15 katlı binaların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Farklı zemin özelliklerinin temel ve yapıyla olan etkileşimleri irdelenmiş, analizlerde elde edilen plastikleşme sonuçları verilmiştir [17].

Wu, Sun, Lu ve Qian (2014) tarafından hazırlanmış olan “Nonlinear Time History Analysis of China Pavilion for Expo 2010 Shanghai China” başlıklı çalışmada Shanghai’de yer alan değişik geometriye sahip 4 adet tüp perde sistem ile taşınan China Pavilion binasının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Değişik geometrisinden dolayı ilk mod burulma olarak görülmüştür. Binaya ait sonuçlar verilmiş ve özellikle iç kısımda yer alan düşey taşıyılarda hasar oluşmadığı belirlenmiştir [18].

Özuygur (2015) tarafından hazırlanmış olan “Performance Based Seismic Design of an Irregular Tall Building in İstanbul” başlıklı çalışmada İstanbul’da yer alan 50 katlı betonarme bir bina ele alınmış, zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem kullanılarak analizler yapılmıştır. Değişik geometriye sahip binanın çeşitli analiz sonuçları çalışma içerisinde verilmiştir [19].

Değer, Yang, Wallace ve Moehle (2015) tarafından hazırlanmış olan “Seismic Performance of Reinforced Concrete Core Wall Buildings with and without Moment Resisting Frames” başlıklı çalışmada Los Angeles ve California’da yer alan 42 katlı benzer taşıyıcı sisteme sahip betonarme binalar ele alınmış ve farklı yaklaşımlar ve doğrusal olmayan yöntem esas alınarak analizler yapılmıştır. Yapılan iki hesaplama için de yeterli performans sağlandığı görülmüş ancak modellerin ele alınan bazı parametrelere göre avantajları değerlendirilmiştir [20].

Kazaz ve Gülkan (2016) tarafından hazırlanmış olan “Dynamic Shear Force Amplification in Regular Frame Wall Systems” başlıklı çalışmada 4, 8, 12 katlı betonarme binalar ele alınmıştır. Çalışmada 10 adet deprem kaydı alınarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem esas alınarak analizler yapılmıştır. Perde çerçeve etkileşimi ve perdeler tarafından taşınan kesme kuvveti oranlarına ilişkin sonuçlar değerlendirilmiştir [21].

Sun, Gu, Zhang ve Ou (2017) tarafından hazırlanmış olan “A Practical Numerical Substructure Method for Seismic Nonlinear Analysis of Tall Building Structures” başlıklı çalışmada 32 katlı, çerçeve ve çekirdek taşıyıcı sisteme sahip betonarme bir bina ele alınmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan iteratif yöntemler esas alınarak analizler yapılmış ve bu yöntemlere ait sonuçlar karşılaştırılmıştır [22].

Huang, Ren ve Li (2017) tarafından hazırlanmış olan “Incremental Dynamic Analysis of Seismic Collapse of Supertall Building Structures” başlıklı çalışmada Çin’de yer alan ZhongNan Center binasının taşıyıcı sistemine ait bilgiler verilmiş, ChiChi depremi için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Depremin çeşitli zamanlarında binanın şekil değişimleri verilmiş ve hasar durumları yorumlanmıştır [23].

Qiao, Han ve Zhou (2017) tarafından hazırlanmış olan “Bracing Configuration and Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame with Brace” başlıklı çalışmada betonarme taşıyıcılı bir sisteme değişik şekilde çapraz elemanlar eklenerek oluşturulan çeşitli modellerin statik itme analizleri yapılmış, modellerin yerdeğiştirme ve kesme kuvveti kapasite karşılaştıılmıştır. Buna ek olarak belirlenmiş depremler için zaman tanım alanında hesaplamalar yapılmıştır. Özellikle bina boyunca biribiriyle bağlantılı çaprazlardan oluşturulan sistemin daha efektif olduğu görülmüştür [24].

Emami ve Halabian (2017) tarafından hazırlanmış olan “Incremental Dynamic Collapse Analysis of RC Core-Wall Tall Buildings Considering Spetial Seismic Response Distributions” başlıklı çalışmada 42 katlı betonarme tüp taşıyıcı sistemli bir bina ele alınmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir [25].

1.2 Tezin Amacı

Dünyada yüksek binalardaki artış eğiliminin sonucu olarak Türkiye’de de son yıllarda büyüyen şehirlerde hızlı gelişen bir yüksek bina sektörü mevcuttur. Ülkemizin depremselliğinin etkisinde ekonomik taşıyıcı sistemler oluşturulması konusunda eksiklikler olduğu görülmüştür. Bundan dolayı bu çalışmada, farklı taşıyıcı sistemlere sahip betonarme yüksek binaların deprem peformanslarının incelenmesi yapılmıştır. Yakın zamanda yürürlüğe girmesi beklenen TBDY2016 (taslak) yönetmeliği esas alınmış, yüksek binaların yerdeğiştirme ve şekil değiştirmeye göre performans değerlendirmesinde doğrusal olmayan hesaplamalar yapılmıştır.

Çalışmada izlenen adımlar:

- Taşıyıcı sistem oluşturulmasında dikkat edilebilecek konular irdelenmiş, ülkemizdeki yüksek binalar da gözönünde bulundurularak farklı taşıyıcı sistemler oluşturulmuştur.
- Betonarme yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin doğrusal analiz modelleri oluşturulmuş, ilgili yönetmelik kuralarına göre eleman boyutlandırmaları ve detayları belirlenmiştir.
- Doğrusal olmayan analiz için deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi, malzeme davranış eğrilerinin tanımlanması, elemanların modellenmesi yapılmıştır.
- Binaların doğrusal olmayan analiz modelleri oluşturulmuştur.
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar performans düzeyi için sınır değerlerle karşılaştırılmış ve taşıyıcı sistemlerin deprem performansları belirlenmiştir.
- Son olarak çalışmada sonuçlar taşıyıcı sistemlere göre karşılaştırılarak özetlenmiştir.

1.3 Hipotez

Yüksek binaların tasarımı, doğrusal analize göre önboyutlandırma ve doğrusal olmayan analize göre şekil değiştirme ve yerdeğiştirmeye bağlı performans değerlendirmesinden oluşmaktadır. Çalışmada doğrusal elastik hesap yöntemi olarak “Mod Birleştirme Yöntemi”, doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi” kullanılarak binaların kesit hasar bölgeleri karşılaştırılacaktır.

Doğrusal analiz sonuçlarının doğrusal olmayan analiz sonuçları ile karşılaştırılmasında farklılıklar vardır. Doğrusal analize göre boyutlandırılan taşıyıcı sistemlerin beklenen deprem performansını sağlaması gerekmektedir. Ancak perdeli sistemlerin daha rijit davranış sergilediği, plastik kesit sayısının az olmasından dolayı özellikle alt katlardaki plastikleşmeler ile belirlenen performans seviyelerini sağlamadığı görülmüştür. Çerçeve sistemlerde performans hedeflerinin perdeli sistemlere göre daha iyi sağlandığı, kullanım durumunda konforunu arttırmak için eklenen çapraz elemanlarında sistemi yeterli şekilde rijitleştirerek perdeli sisteme alternatif oluşturduğu söylenebilir.

Yukarıda sözü edilen analizler, *XTRACT-V.3.0.8, ETABS-V16 ve SAP2000-V19.2.1* bilgisayar yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2

BETONARME YÜKSEK BİNALARIN DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

2.1 Yüksek Yapıların Tarihçesi

Yüksek yapılar geçmişte ilk olarak anıtsal ve dini amaçlarla yapılmış olup sanayi devriminden sonra giderek yaygınlaşmıştır. Şehirlerdeki nüfus artışı küçük alanlara daha fazla çalışma alanı sığdırma zorunluluğu doğurmuş ve bu problem düşeyde yükselmeyle çözülebilmiştir. Malzeme bilimi ve yapı teknolojisindeki gelişmeler, yüksek binaların yapabilmesine imkân tanımıştır. Özellikle asansörün icadı ile birlikte önemli bir sorun olan düşey taşıma sorunu çözülmüş ve yüksek binalara olan yönelim artmıştır.

Yüksek binalara olan gereksinimin 19.yy. sonlarında Chicago'da artmış ve kısa zamanda, çok sayıda hafif bina yapılması gerekmekteydi. Bundan dolayı taşıyıcı sistemi çelikten oluşturulan çerçeve sistemler oluşturulmuş ve taşıyıcı duvar bütünüyle terk edilmiştir. Tümüyle çelik çerçeveler kullanılarak inşa edilen ilk bina Chicago'daki Home Insurance Binası'dır (Şekil 2.1). 1884 yılında yapılmış, 12 kat ve 42 m yüksekliğe sahip olan bu bina CTBUH tarafından dünyanın ilk gökdeleni olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2.1 Home Insurance Binası, Chicago

19. yüzyılda betonarme teknolojisinin yüksek binalar için tam olarak uygun olamamasından dolayı taşıyıcı sistemleri genellikle çelik iskelet sistemler ile oluşturulmuştur. Yüzyılın sonlarına doğru betonun eksikliklerini gidermek amacıyla çelik ile birlikte kullanılmaya başlanması ve 20. yüzyılın başındaki teknolojik gelişmeler, yüksekliği daha fazla olan binalar yapmaya olanak tanımıştır. Bu anlamda 1903 yılında Amerika'da 64 m yükseklikte, 16 katlı Ingalls Binası dünyanın betonarme çerçeveli ilk yüksek binası olarak kabul edilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Ingalls Binası, Cincinnatti

Malzeme olarak çelik ve beton kullanımı daha hafif ve esnek kullanım alanı olan binalar yapmaya imkân sağlamıştır. Çelik ve betonun olumlu özelliklerinin birleştirilmesi ile oluşturulan betonarme sistemler hem mimari hem de mühendislik alanında tasarım sınırlarını genişletmiştir. Betonarme sistemlerin basınç mukavemeti, dış yüzeyin hava şartlarına ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olması, yangın güvenliği özellikleri ile çelik sistemlerin küçük kolon kesitleri ile geniş açıklıklı mekânlara imkân sağlaması, hafifliği, servislerin kolay yerleştirilmesi, çekme kuvvetlerine dayanıklılığı gibi olumlu özelliklerinin birleştirilmesi bina yüksekliklerini daha da artırmıştır.

20.yy ortalarında şehirlerde nüfusun artması, ekonomik krizler, savaş ve maddi olanakların olmaması yüksek binaların ekonomik yöntemlerinin araştırılmasına neden olmuştur. Bundan dolayı bu dönemde binalar gösterişten uzak, fonksiyona önem verilen sade tasarımları ile ön plana çıkmıştır. Chicago'da Fazlur Rahman Khan, Boston'da William Le Messurier ve New York'ta Leslie E. Robertson gibi mühendisler dönemin gerektirdiği mimari tasarımları destekleyecek ve taşıyıcı eleman etkinliğini arttıracak yeni sistemler tasarlamış, böylece yeni bir kavram olan tübüler sistem doğmuştur [26].

Bu dönemde tübüler taşıyıcı sistemlere ek olarak perde duvarlı sistemler, perde-çerçeve etkileşimli sistemlerde oluşmuştur. Bu yeni taşıyıcı sistemlerin betonarmenin yüksek binalarda kullanımı, büyük eleman boyutları ve iç mekânın düşey taşıyıcılarla bölünmesi gibi sorunların ortadan kaldırılmasını sağlamıştır [27]. Betonarme çerçeveli tüp şeklindeki ilk uygulamaların en tipik örnekleri Khan tarafından 1965 yılında Chicago'da tasarlanan De Witt Chestnut ve Brunswick apartmanlarıdır (Şekil 2.3). Tübüler sistemlerdeki yapısal davranışın çerçeveli sistemlere göre daha iyi olmasından dolayı kullanılan malzeme miktarında da önemli oranda tasarruf sağlanmıştır.



Şekil 2.3 De Witt Chestnut (solda) Brunswick Apartmanı, Chicago

Türkiye'de yüksek binalar 1950'li yılların sonlarında gözlemlenmeye başlanmıştır. Bu tarihten günümüze kadar geçen sürede şehirlerde yüksek bina oranları hızla artmıştır. 1970'li yılların ortalarına kadar 25 katı geçmeyen yüksek binalar inşa edilmiştir. 13 katlı Ulus İşhanı, 24 katlı Kızılay Emek İşhanı, 20 katlı Stat Otel, 18 katlı Büyük Ankara Oteli, 17 katlı Marmara Oteli bu döneme ait önemli binalardandır.

1975–1985 yılları arasında ekonomik ve politik sorunlar nedeniyle yüksek bina uygulamalarındaki hız azalmıştır. 29 katlı Türkiye İş Bankası (Ankara), 28 katlı Harbiye Orduevi (İstanbul), 28 katlı Hacı Ömer Sabancı Kız Yurdu bu dönemin yüksek binaları arasındadırlar. Gelişen malzeme ve yapım teknolojisinin etkisiyle 1985 yılı sonrasında yüksek bina uygulamalarında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. 26 katlı Maya-Aar İş Merkezi, 20 katlı Yapı-Kredi Plaza, 24 katlı Barbaros İş Merkezi, 22 katlı Spring Giz Plaza, 39 katlı Sabancı İş Merkezi ve 52 katlı Mersin Ticaret ve İş Merkezi (MER-TIM) döneminin önemli yüksek binalarına örnek olarak gösterilebilir.

2.2 Yüksek Bina Tanımı

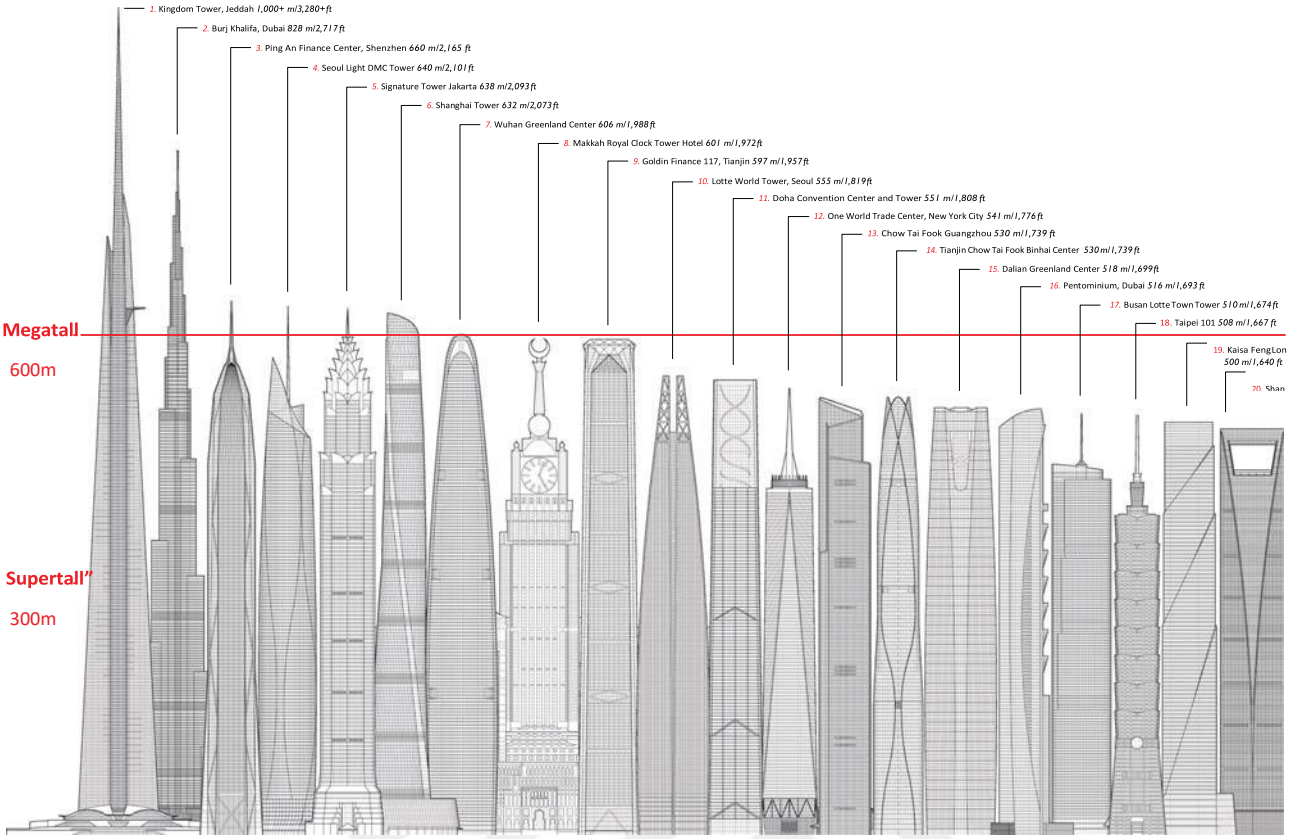
Yüksekliğin göreceli bir kavram olmasından dolayı yüksek binalar ile ilgili genel bir tanım yapılması zordur. Bununla birlikte yapıldığı döneme, ülkeye, çevreye ve ilgili mesleklere bağlı olarak kat adedi veya yükseklik sınırı ile tanımlanmışlardır. Genel olarak yüksek binalar; yükseklik artımının bina davranışı üzerinde etkisinin belirgin bir biçimde gözlemlendiği, yapısal tasarım aşamalarında deprem ve rüzgar etkilerinin 1. derece öneme sahip olduğu binalar olarak tanımlanmaktadır.

Bir başka tanıma göre yüksek bir bina yüksekliği ile çevresindeki binalardan farklı bir tasarım, konstrüksiyon ve kullanım koşulları oluşturan binadır [27].

Dönemsel mimari açısından bakıldığında Beedle (1984), yüksek binayı bina kurallarına göre asansör kullanma zorunluluğundan dolayı 5 veya daha fazla katlı bina olarak tanımlarken, bazı büyük şehirler yangına karşı özel önlemler alma zorunluluğundan dolayı, 10 veya daha çok katlı binalar olarak tanımlamıştır. Acerknact (1984) ise yüksek bina tanımını belirli bir şehir parçasındaki yapıların yüksekliğini aşan binalar olarak tanımlamaktadır.

Yapı mühendisliği açısından bakıldığında Alman standartları, en yüksek noktası 22 metreyi aşan binaları yüksek bina olarak tanımlar. Bu üst sınırı aşan binalarda, yatay yüklerin (deprem, rüzgar) taşınması düşey yüklere oranla daha fazla önem kazanmaktadır [28]. Amerika'daki yüksek bina sınırı, 12 kat olarak belirlenmiştir. Türkiye'de, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği'nde (2007) 60.5 metre ve üzerindeki binaları yüksek bina olarak kabul ederken, bu sınır İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği'nde (2006) 30.8 metre (14 kat) ve üzeridir.

1996 yılında ABD'de Illinois Teknoloji Enstitüsü'nden bir grup uzman tarafından kurulan Yüksek Binalar ve Kentsel Yaşam Konseyi (Council on Tall Buildings and Urban Habitat-CTBUH)'ne göre, en alt seviyedeki açık hava yaya girişinden itibaren 14 kat ve 50 m yüksekliğinde ve daha yüksek binalar yüksek yapı (tall building), 300 m'nin üzerindeki binalar ise süper yüksek yapı (super tall building) olarak, 600 m üzeri binalarda mega yüksek yapı (mega tall building) olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma günümüz bina örnekleriyle Şekil 2.4'de anlatılmıştır.



Şekil 2.4 CTBUH'a göre dünyadaki en yüksek 20 bina

2.3 Yüksek Binalarda Taşıyıcı Sistemler

Geçmişten günümüze yüksek binalarda kullanılan yapısal malzemeler incelendiğinde ilk olarak kâgir, daha sonra ise demir, çelik, betonarme ve son olarak da betonarme ile çeliğin bir arada kullanıldığı kompozit malzeme karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda yüksek dayanımlı beton ve çeliğin kullanılması ile taşıyıcı sistem kesitleri azaltılmış, bina ağırlığının hafiflemesi ile taşıyıcı sistem maliyetlerinin azalması sağlanmıştır.

Yüksek bir binada taşıyıcı sistem, büyük miktarda düşey ve yatay yüklerin etkisi altında kalmaktadır. 20. yüzyıl binalarında taşıyıcı sistemler, temel olarak düşey yükleri taşımak amacıyla tasarlanırken, günümüzde bu alandaki gelişmeler ve yüksek dayanımlı malzemeler sayesinde, bina yüksekliğinin artması ve ağırlığının azalması sağlanmıştır. Buna karşılık, rüzgar ve deprem kaynaklı yanal yükler birincil yükler haline gelerek özellikle yüksek binaları öncülerine nazaran daha fazla tehdit etmeye başlamıştır. Bunun sonucu olarak yapı mühendisleri için yüksek binalarda gerek rüzgar gerekse deprem kaynaklı yanal yüklere karşı dayanım sağlamak, yeni taşıyıcı sistemlerin tasarımında temel hedef haline gelmiştir [29]. Bu nedenle, yükseklikle artan rüzgar ve deprem

kuvvetlerinin karşılanmasının, artan eleman boyutları ile değil, taşıyıcı sistemin etkinliği ile taşıtılması, genel olarak kabul görmüştür. Dünyadaki yüksek binalarda genel olarak mega çeçeveli rijit katlı taşıyıcı sistemler, yatay yüklere karşı daha etkin ve ekonomik olarak tercih edilmekte olup, Çizelge 2.1'de dünyadaki en yüksek 10 bina özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 Dünyada 2020 yılında olması planlanan en yüksek 10 bina bilgileri

Sıra	Bina Adı	Şehir	Yapım Yılı	Kat Adedi	Yükseklik (m)	Malzeme	Kullanım
1	Jeddah Tower	Cidde	2020	167	1000	Betonarme	Karma
2	Burj Khalifa	Dubai	2010	163	828	Kompozit	Karma
3	Dubai One	Dubai	2021	161	711	Kompozit	Karma
4	Tianfu Center	Chengdu	2023	157	676	Kompozit	Karma
5	Wuan CTF Finance Center	Wuhan	2022	121	648	Kompozit	Ofis
6	Signature Tower	Jakarta	2022	113	638	Kompozit	Hotel/Ofis
7	Wuhan Greenland Center	Wuhan	2019	126	636	Kompozit	Karma
8	Shanghai Tower	Shanghai	2015	128	632	Kompozit	Hotel/Ofis
9	Changchun World Trade	Changchun	-	126	631	Kompozit	Karma
10	Merdeka PNB118	K. Lumpur	2021	118	630	Kompozit	Hotel/Ofis

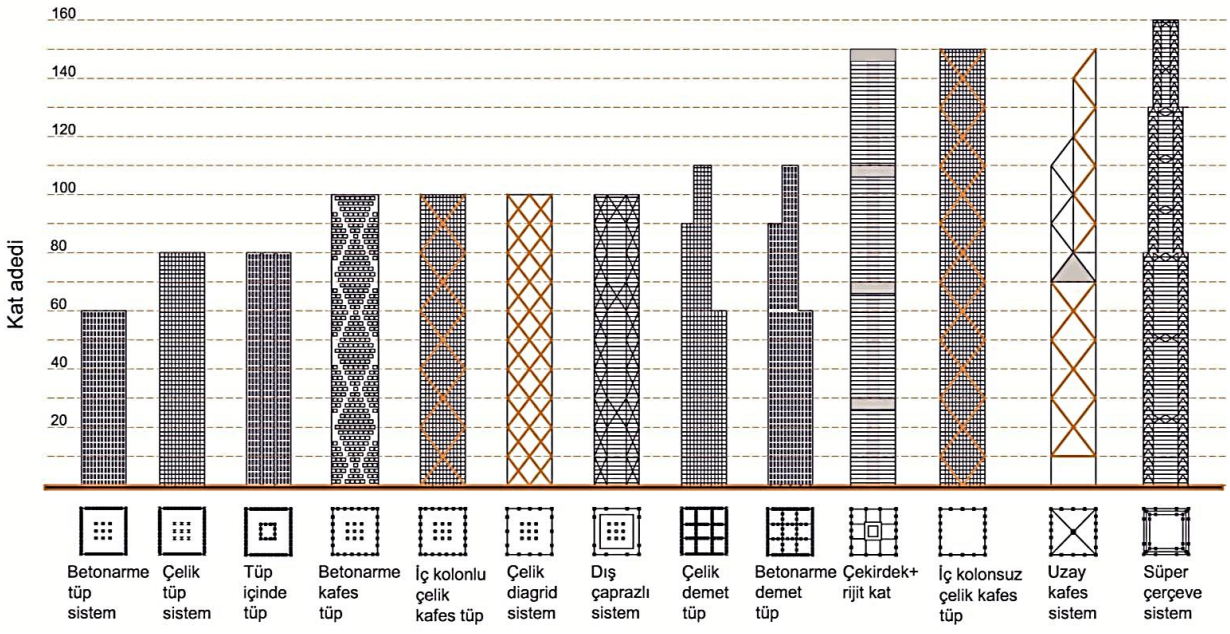
Yatay yüklerin belirgin bir özelliği de yüksekliğe göre daha hızlı artmaları ve sistemin üst katlarında giderek artan yatay yerdeğiştirmelere neden olmalarıdır. Bu nedenle belirli bir yükseklikten sonra, yapı mukavemetinin yanı sıra, yatay yüklere karşı yeterli rijitliğin sağlanması önemlidir [29]. Yatay düzlemdeki taşıyıcılar döşeme sistemleri olup, bu sistemlerin görevi üzerine gelen yükleri düşey taşıyıcılara aktarmak ve yatay yük etkisi altında düşey elemanlar arasında diyafram görevi üstlenmektir. Yatay yüklere karşı dayanımı arttırmak döşeme yükünü azaltıp döşeme yüksekliğini azaltarak kat adedini arttırmak, cephe maliyetini azaltmak, tesisat yerleşiminde kolaylık sağlamak açısından da önemlidir.

Yüksek binalarda 2000'li yıllara kadar kullanılan malzeme çelik iken, bu yıllardan sonra kompozit ve betonarme ağırlık kazanmıştır. Binaların yüksekliğinin artması ile çelik malzemenin tek başına kullanımının yatay yükler karşısında yeterli rijitlik sağlayamadığı görülmüş ve yüksek bina taşıyıcı sistemleri kompozit olarak yapılmıştır. 1960-2010 yılları arasında toplamda 75 bina bazında, 1990'a kadar tüp sistem ile inşa edilen binalar yaygın iken 2000'li yıllarda, çepeçevre kafesli rijit katlı sistemler %73 oranında kullanılmıştır. Dünyadaki taşıyıcı sistem yönelimindeki bu durumun benzeri Türkiye'de de

görülmektedir. Ülkemizde genelde betonarme ve kompozit malzeme kullanımı yaygın olup güncel yüksek binaların taşıyıcı sistemleri ve bazı bilgileri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Türkiye'de 2020 yılında olması planlanan en yüksek 10 bina bilgileri

Sıra	Yapı Adı	Şehir	Yapım Yılı	Kat Adedi	Yükseklik (m)	Taşıyıcı Sistem
1	Highlife Tower	İzmir	-	80	400	Çekirdek+Mega Çerçeve+Rijit
2	EGO Ofis Tower	Ankara	2020	66	301	Çekirdek+Çerçeve
3	Skyland Ofis Tower	İstanbul	2017	65	284	Çekirdek+Çerçeve
4	Skyland Residental T.	İstanbul	2017	64	284	Çekirdek+Çerçeve
5	Metropol Tower	İstanbul	2017	58	280	Çekirdek+Çerçeve+Perdeli Sis.
6	Diamond of İstanbul	İstanbul	-	53	268	Çekirdek+Çerçeve
7	SapphireTower	İstanbul	2010	55	261	Çift çekirdek+Çerçeve+Perde
8	Mahal Bomonti İzmir	İzmir	-	58	240	Çekirdek+Çerçeve
9	Emaar Square	İstanbul	2019	50	230	Çekirdek+Çerçeve
10	Nurol Life	İstanbul	2017	60	220	Çekirdek+Çerçeve



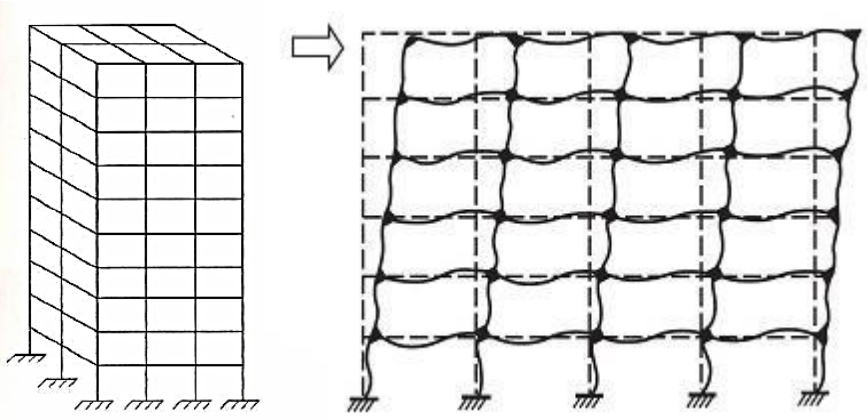
Şekil 2.5 2000'li yıllarda yüksek bina taşıyıcı sistemleri için bir sınıflandırma

Son yıllarda inşa edilen yüksek binalardaki yanal yerdeğiştirmeler, genellikle H/500, çok yüksek ve esnek binalarda ise H/1000 ile sınırlandırılmaktadır. Bina yüksekliği arttıkça çelik binaların hafifliği nedeni ile betonarme binalara kıyasla yanal rijitlik ihtiyacı artar. Rijitlik ihtiyacından dolayı çelik binalar belli yüksekliklerin üzerinde daha az kullanılmaktadır (Şekil 2.5).

2.3.1 Çerçeve Sistemler

Yüksek binalarda kullanılan çerçeve sistemler, birbirine rijit bağlantılarla bağlanmış kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. Betonarme sistemlerde rijit bağlantıların oluşturulması tek döküm (monolitik) ile mümkün olmaktadır. Yatay ve düşey yüklerin taşınması çerçeve sistemindeki elemanların sürekliliği ile sağlanmaktadır. Bu tip taşıyıcı sistemin yatay yükler etkisi altındaki sağlamlığı, çerçeveleri oluşturan yapısal taşıyıcı elemanların süneklikleri ve kolon-kiriş birleşim noktalarının rijitlikleriyle doğrudan ilgilidir. Sistemi oluşturan elemanlar süreklidir, bu nedenle yatay yükler altındaki davranışları, konsol eğilmesinden ve kiriş-kolon eğilmesinden kaynaklı ötelenmelerin bir kombinasyonu olarak ortay çıkar (Şekil 2.6). Kolon ve kirişler eğildikçe tüm çerçeve sistemi yerdeğiştirmeye uğrar [30].

Düşey ve yatay yükler birbirine rijit olarak bağlanmış, moment aktaran çerçeveler ile taşınırlar. Yatay düzlemdeki kat kirişleri ve kat döşemeleri, düşey ve yatay yükler etkisiyle oluşan tesirleri çerçeve kolonlarına aktarırlar. Kolonlar ise düşey yüklerden oluşan normal kuvvetler ile yatay yükler nedeniyle oluşan eğilme momentlerini taşımakla görevlidirler. Çerçeve sistemler, yatay yüklere kolon ve kirişlerin eğilme davranışıyla karşı koyar bu nedenle çerçevelerin taşıma gücü, çerçeveyi oluşturan kiriş ve kolonların eğilme dayanımlarına bağlıdır.



Şekil 2.6 Çerçeve tipi taşıyıcı sistem ve şekil değişimi

Bu sistemlerde ortalama olarak kat yükseklikleri 3-4.5 m, kolon açıklıkları da 6-9 m arasında değişmektedir. Betonarme çerçevelerde genellikle yerinde dökme olarak uygulanması nedeniyle tam olarak rijit bir çerçeve davranışı elde edilmektedir. Çerçeve sistemler, özellikle deprem bölgelerinde sınırlı yükseklikler ve kat adetleri için

kullanılabilir. Bu sınırlama ülkemizin depremselliğinden dolayı 4-10 kat dolaylarındadır. Özellikle çerçeve yüksekliğinin kiriş genişliğine oranı ve kiriş rijitliklerinin büyümesiyle kolonlarda boy değişimi etkilerinin bina davranışına etkileri belirginleşmektedir [31].

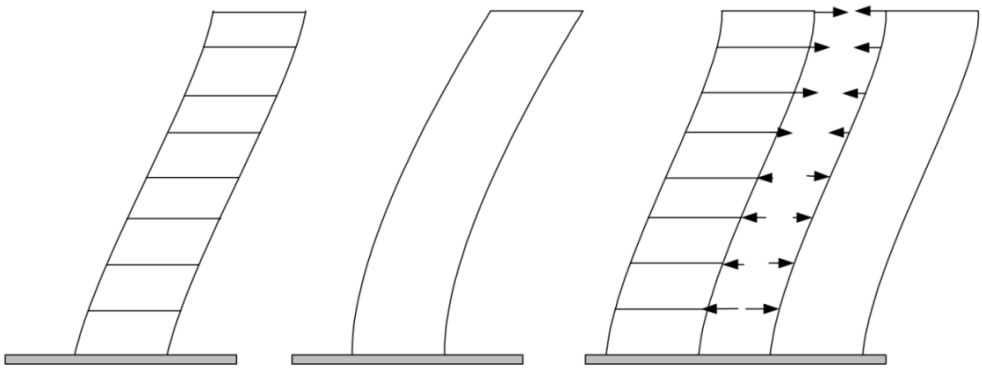
Bina yüksekliği arttıkça kolon ve kiriş kesit boyutlarındaki artış ekonomik olmaktan uzaklaşmaktadır. Yatay yüklere karşı rijitleştirilmiş betonarme veya çelik çerçeve sistemler, 20 veya daha üzeri kat adetlerinde ekonomik bir çözüm olarak kullanılmaktadırlar. Bina yüksekliklerinin daha da artmasıyla gerekli rijitliği sağlamak ya da arttırmak için diğer taşıyıcı sistemlerle birlikte kullanılmaları gerekmektedir. En çok tercih edilen perde duvarlar veya çapraz elemanlar ile birlikte kullanılmalarıdır.

Çerçeve sistemlerin binada sağladığı en önemli avantajlardan biri planlamada pencere, kapı vb. boşlukların düzenlemesinde kolaylık sağlamasıdır. Buna karşılık en büyük sakıncası ise yanal ötelenmenin fazla olması ve bu durumun kullanıcılarda rahatsızlığa, taşıyıcı olmayan elemanlarda ise hasara neden olmasıdır [29].

2.3.2 Rijitleştirilmiş (Çaprazlı veya Perdeli) Çerçeve Sistem

Çerçeve sistemler, bina yüksekliği arttıkça kiriş ve kolonlardaki eğilmenin büyük yerdeğiştirmelere neden olmasından dolayı yatay yükler karşısında yeterli etkinlik gösterememektedir. Bu durumda betonarme sistemlerde çerçeveler ile birlikte perde duvar, çelik sistemlerde ise çapraz elemanlar ekleyerek sistemi yatay yüklere karşı rijitleştirmek mümkündür [32].

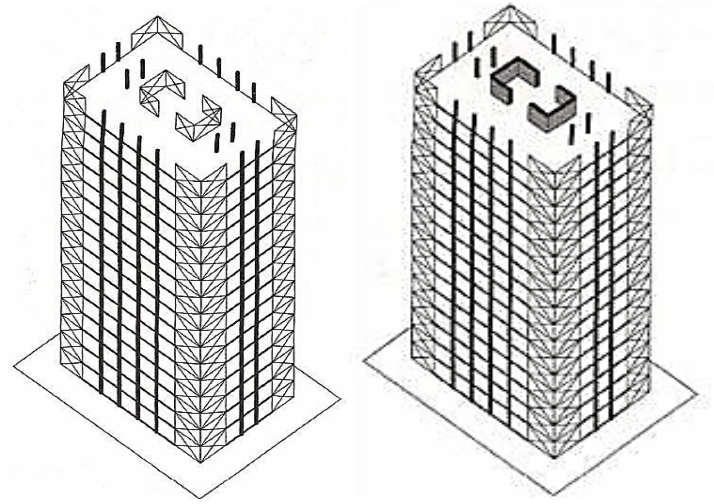
Çerçevelere kıyasla perde duvarlar, yanal yükler karşısında oldukça etkili ve aynı zamanda binaya daha fazla rijitlik kazandıran, düşeyde konsol davranış gösteren ekonomik taşıyıcılardır. Rijit çerçeveye düşey bir perde duvarın veya düşey bir kafesin eklenmesiyle oluşan sistemde; üst katlarda çerçevenin perdeye, alt katlarda ise perdenin çerçeveye katkıda bulunmasıyla oldukça etkin bir davranış gösterir (Şekil 2.7). Bu özellik aynı zamanda üst katlardaki kullanıcı konforunu da arttırır. Başka bir deyişle binanın üst kısmında perdelerin eğilmesi çerçeveler, çerçevelerin alt katlarda kaymaları da perdeler tarafından engellenir [33]. Perde duvarların mimari esnekliği çerçeveler kadar iyi değilse de yapısal taşıyıcı sistem sorunlarının çözümünde gösterdikleri yüksek performans nedeniyle günümüz yüksek bina tasarımlarının vazgeçilmez taşıyıcı elemanları olarak kullanılmaktadırlar.



Şekil 2.7 Perde ve çerçeve sistem etkileşimi

Mukavemeti ve rijitliği arttırılan bu taşıyıcı sistemin tasarımı, düşey yüklerin moment aktaran çerçevelerin kiriş ve kolonlarının eğilme davranışları ile, yatay yüklerin çekirdek perdeleri ve çapraz elemanların ortaklaşa karşılayacağı varsayımına göre yapılmaktadır. Bu varsayımın amacı, en az miktarda yapısal malzemeyle yatay yüklere karşı rijit bir bina elde etmektir. Böylece her yükseklikteki bina için ekonomik sonuç veren taşıyıcı sistem alternatifleri üretilebilmektedir.

Diğer bir uygulama Şekil 2.8'de örneklerle gösterilmiş olan çerçeve sistemin çaprazlı elemanlarla rijitleştirilmesi ve etkin çalışan bir kafes yapısı oluşturmasıdır. Yanal yüklerin tersinir olabileceğinden dolayı, çapraz elemanlar hem çekme hem de basınca maruz kalır ve bu yüzden genellikle çelik olması tercih edilir. Çapraz elemanlar basınç altında burkulmaya karşı yetersiz kalabilir. Bu durumda çaprazlar burkulma dikkate alınarak hesaplanır veya sistemde çift çapraz kullanılır. Yanal kesme kuvvetinin yönüne göre çaprazlardan birinde çekme oluşurken diğer çapraz elemanın basınç kuvvetini taşımadığı kabulüyle tasarım yapılır [29].



Şekil 2.8 Kafes perdeli çerçeve + çelik/betonarme çekirdek sistem

Çaprazlı çerçeveler, geometrik özelliklerine göre; ortak merkezli ve dışmerkezli olmak üzere iki grupta toplanabilirler. Ortak merkezli çerçeveler, yaygın olarak kullanılan X, V, diagonal ve ters V formlarını alabilirken, dışmerkezli çerçeveler ise diagonal, V ve ters V formlarını alabilirler. X şeklindeki çaprazlamalar K ve V çaprazlamalara göre daha yüksek yatay dayanım/ağırlık oranı göstermektedirler [32].

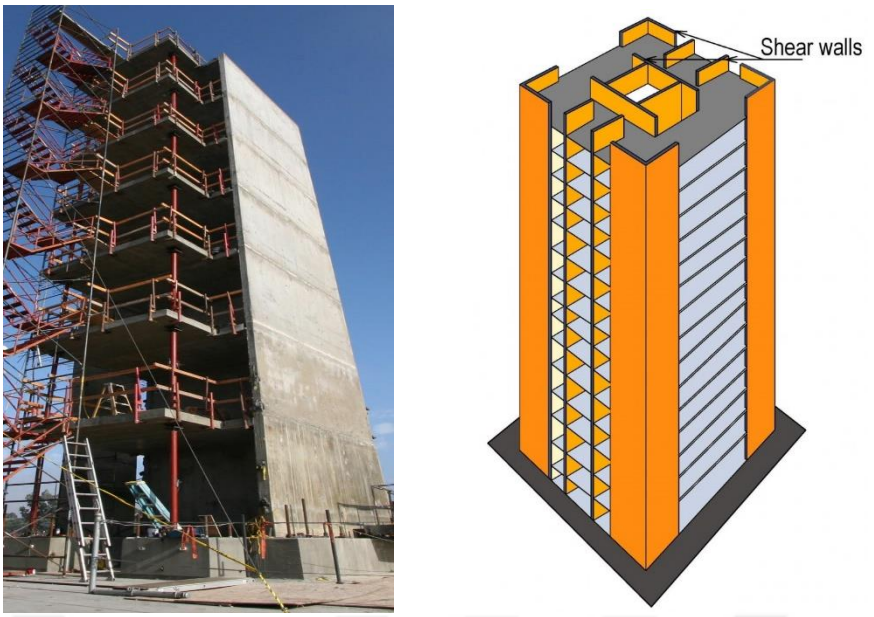
2.3.3 Perdeli (Tünel Kalıp) Sistemler

Bir binanın yatay ve düşey yükleri, rijit çerçeveler olmaksızın, sadece perde duvarlar tarafından taşınıyorsa bu sisteme perde/kesme duvarlı taşıyıcı sistem denir (Şekil 2.9). Boşluksuz veya bağ kirişli olabilen betonarme veya çelik kesme duvarları, kolonlar ve kirişler olmaksızın binaya gelen bütün yanal ve düşey yükleri karşılar. Rijit çerçeveler ile karşılaştırıldıklarında yatay yüklere karşı daha rijit davranış gösteren bu sistemde taşıyıcı elemanlar çekirdek ve bina cephesine yerleştirilerek oluşturulmaktadır. Açıklıkların fazla olması durumunda orta kısımlarda da düşey taşıyıcı bulunabilir.

Yatay yükler etkisi altında perde duvarlar rijitliklerinin daha yüksek olmasından dolayı çerçevelere oranla daha az yerdeğiştirme yapma eğilimi gösterirler. Perdelerin yatay yüklerin etkisi altındaki yerdeğiştirmesi eğilme etkileri ve kayma etkilerinin etkileşiminin sonucudur. Bundan dolayı tasarım aşamasında eğilme momenti ve normal kuvvet etkilerinin yanı sıra, kesme kuvveti etkisinin de gözönünde tutulması gerekmektedir.

Simetrik yerleştirilmiş çekirdeklerde yatay yüklerin bileşkesi sistemin rijitlik merkezinden geçmekte olup, perdelerde sadece eğilme ve kesme kuvveti etkileri gözlemlenir. Çekirdek boyutlarının ve yerleşiminin dikkatli belirlenmesi sonucu perdelerin basınç kuvveti ile yüklenmiş olması, yatay yüklerin neden olduğu eğilme davranışı nedeniyle oluşan çekme gerilmelerinin önemli ölçüde azaltılmasını sağlar.

Simetrik olarak yerleştirilmemiş çekirdeklerde ise, yatay yüklerin bileşkesi katların rijitlik merkezinden geçmez ve dışmerkezlik söz konusu olur. Bundan dolayı perdelerde eğilme momentine ek olarak burulma momenti de oluşur. Perde rijitliklerinin bu etkileri karşılayacak düzeyde büyük olmasına rağmen, çekirdekte açılan kapı ve tesisat boşlukları, perde burulma dayanımlarını büyük ölçüde azaltmaktadır. Açılan bu boşluk boyutlarının aşırı büyük olmamasına ve perde başlık bölgesinde ve başlık bölgesinin yakınına açılmamasına dikkat edilmelidir.



Şekil 2.9 Perde duvarlı sistem

Perde duvarlı sistemler zemine ankastre düşey bir konsol gibi düşünülebilir. Konsol davranışının doğası gereği komşu katlar arasındaki göreli yanal ötelenme, üst katlarda diğer katlara kıyasla daha fazladır. Dolayısıyla çok yüksek binalarda tepe noktasındaki yanal ötelenmeyi kontrol altına almak zorlaşır. Bu sistemlerde perde duvarları genellikle 4.5- 7.5 m aks aralıklarıyla düzenlenir.

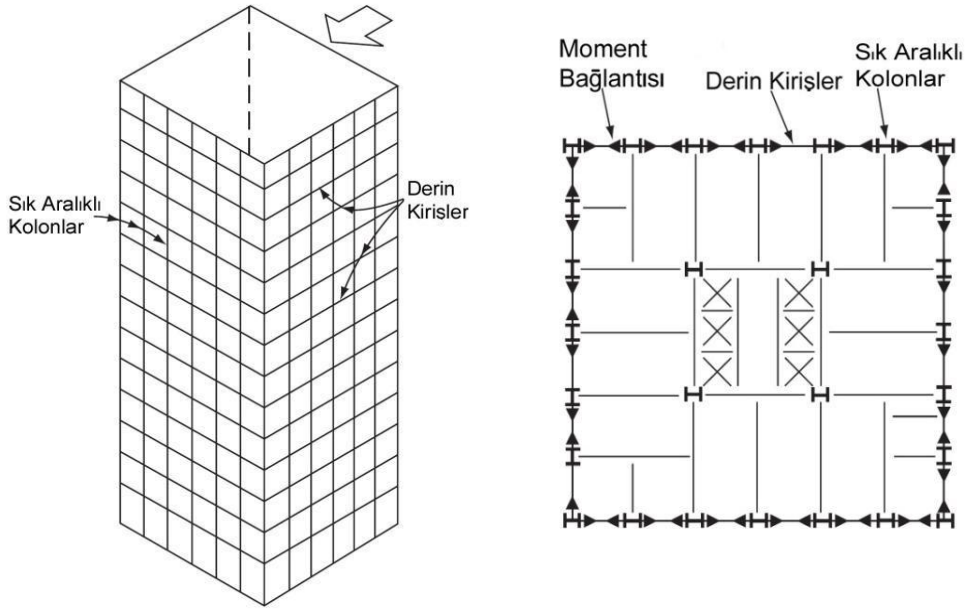
Perde duvarlı sistemler yapısal açıdan etkin ve ekonomik olarak 35 kata kadar olan binalarda kullanılır. Daha yüksek binalarda, bu sistem rüzgar ve deprem kaynaklı yanal yüklere karşı yeterli rijitliği gösteremezler [29].

2.3.4 Tüp Sistemler

Tüp sistemler ünlü yapı mühendisi Fazlur Rahman Khan tarafından 1960'lı yılların başında geliştirilen bir sistemdir. Taşıyıcı sistemi çerçeve olan binaların yükseklik sınırlaması, artan yüksekliklerde yanal rijitlik ihtiyacı ve mekânın etkin kullanım isteği çerçeve sistemlerin yerine yeni arayışlar getirmiştir. Bu bağlamda taşıyıcı sistem tipi olarak en önemli değişim tüp sistemler ile başlamıştır. F. Khan'ın tarafından geliştirilen bu taşıyıcı sistem ile ilk olarak 43 katlı DeWitt-Chestnut Apartment Building (Chicago, 1963) inşa edilmiştir. Bunu, diğer tüp çeşitleri (kafes tüp sistem, demet tüp, tüp içinde tüp) ve farklı sistemler takip etmiştir.

Tüp sistemler, birbirine yakın olarak yerleştirilmiş kolonlar ile kolonları merkezi çekirdeğe bağlayan çok rijit kirişlerin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan taşıyıcı sistemlerdir. Yatay yük etkisine maruz tüp sistemin taşıyıcı elemanları tümüyle bir konsol tüp davranışı sergilerler. Dış cephe duvarları yatay yüklerin tamamına yakın bir bölümünü karşıladıklarından, çekirdek kısımdaki perdelerin karşılaması gereken yatay yük miktarı düşük kalmaktadır. Yatay yüklere karşı sistemin tüm elemanlarının beraber çalışmaları nedeniyle bina köşelerine uzak orta kolonlar yatay yüklerin karşılanmasında etkili olamazlar. Bu davranış şekliyle tüp sistemler planda kutu şeklinde kesite sahip bir bina olarak düşünülebilir. Yatay yük etkisiyle kenar kolonlarda eksenel kuvvetler, bunları bağlayan yüksek kirişlerde ise kesme kuvvetleri oluşmaktadır (Şekil 2.10).

Cephe kolonlarının biribirine yaklaştırılması tüp davranışını daha da belirginleştirir. Kolon aralığı açılmak istendiğinde çerçeve-tüp sistemin davranışının korunabilmesi amacıyla çevre kirişlerinin derinliğinin arttırılması gerekir [29]. Etkili bir tüp sistem tasarımı yapabilmek için yerine getirilmesi gereken en önemli şart, kesme kuvvetleri nedeniyle oluşacak kayma şekil değiştirmelerini minimize eden bir taşıyıcı sistem oluşturulmasıdır. Bu tür taşıyıcı sistemler genel olarak 40 kat civarındaki yüksek binalarda ekonomik olarak kullanılmaktadır [29].



Şekil 2.10 Tüp taşıyıcı sistem izometrik ve plan görünüm

Tüp sistemler çerçeve, kafes ve demet tüp sistemler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır.

Çerçeveli tüp sistemin en belirgin özelliği, birbirine yüksek kirişlerle bağlanan sık cephe kolonlarından oluşturulmasıdır. Bu kolonlar bina çevresinde devamlılık gösterirse, çerçeve sistem zeminde bir konsol kiriş gibi çalışarak çerçeveli tüpe dönüşür ve rüzgar kuvvetlerine tek başlarına değil, tüm bina cephesiyle karşı koyar. Yerdeğiştirmeler eğilme ve kayma nedeni ile oluşur. Yanal yerdeğiştirmelerin yaklaşık %70'i çerçeve davranışı, %30'u konsol davranışı ile karşılanır.

Çerçeve tüp sistemde narinlik 5-7 olmalıdır. Yanal kuvvetin etkidiği doğrultudaki gövde kolonları kesme kuvvetinin başlık kolonları devrilme momentinin büyük kısmını karşılamaktadırlar. Çerçeve tüp sistemin kayma rijitliğini rüzgar doğrultusundaki kolonlar sağlamaktadır. Sistemin yanal yükler etkisindeki kayma rijitliği göreli olarak düşüktür.

Özellikle köşe kolonlardaki normal kuvvetler nedeni ile zemine daha fazla gerilme aktarılır. Zemin özellikleri zayıf olan tasarımlarda ekonomik olmayan temel tasarımları ortaya çıkar. Temel sistemin ekonomik tasarımı ve zemin gerilmelerinin dengeli dağıtılması için, sık yerleştirilen kolonlar (1-3 m aralık) ve yüksek kirişler ile kayma rijitliğinin arttırılması gereklidir.

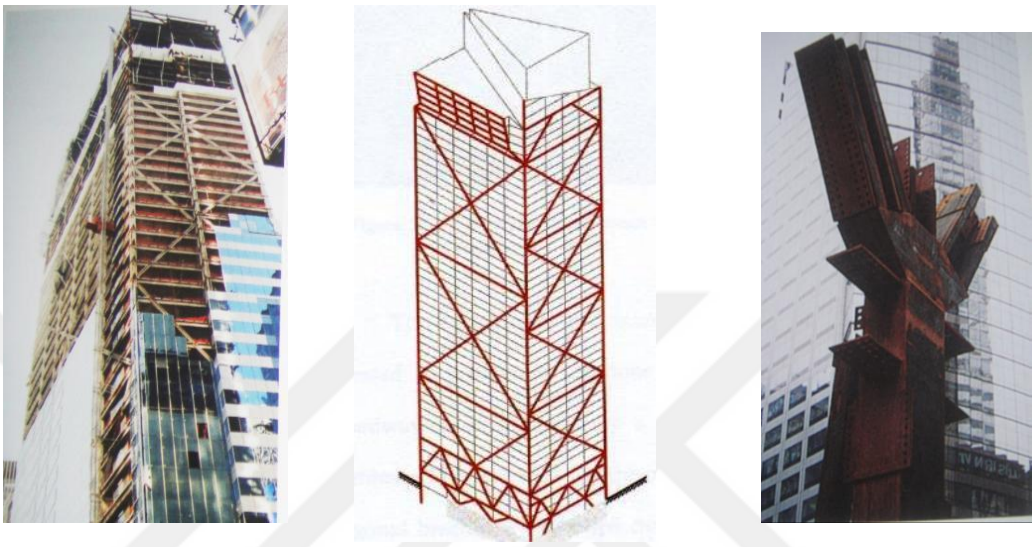
Genel olarak çerçeveli tüp davranışı 3-6 m aralıklarla yerleştirilmiş kolonlar ve 0.9-1.5 m arasında değişen kiriş yükseklikleri ile elde edilmektedir [32].

1960'lı yıllardan sonra bina yükseklikleri, çerçeveli tüplerin etkin olamayacağı kadar yükselmiştir. Özellikle çerçeveli tüpteki yüksek kirişlerden beklenen davranışın belli yüksekliklerin üzerinde kaybolması bu durumda asıl etken olmuştur. Çerçeveli tüp sistemlerinin en zayıf noktaları kesme gecikmesi (shear lag) adı verilen taşıyıcı sistem sorunlarıdır. Bu sorunun çözümü için çerçeveli tüp sistemlerine çapraz elemanlar eklenerek kafesli tüp sistemler geliştirilmiştir (Şekil 2.11). Böylece çerçeve tüp sistemin daha fazla yükseklikler için yatay yük karşısındaki etkinliği arttırılmış, cephedeki kolonlar daha geniş açıklıklı, kiriş yükseklikleri daha az olarak tasarlanabilmiş ve bunların sonucunda da büyük pencere boşlukları ile daha aydınlık mekanlar oluşturulmuştur [32].

Çerçeve tüp sistemin cephesine 45^{o} açılı mega çapraz elemanlar eklenmesi ile sistem dev bir kafese dönüştürülmüştür. Bu diagonal elemanlar, hem yatay yüklerden oluşan kesme

kuvvetlerini hem de kirişlerin karşıladığı kesme kuvveti ve eksenel kuvvetleri karşılamaktadırlar.

Kafesli tüp sistem ilk olarak çelik bir bina olan Chicago'daki 100 katlı John Hancock Center'da (1969), büyük boyutlu kafesler şeklinde uygulanmıştır. Günümüzdeki binalarda hala uygulanan bu yöntemin güncel bir örneği Şekil 2.11'de verilmiştir.



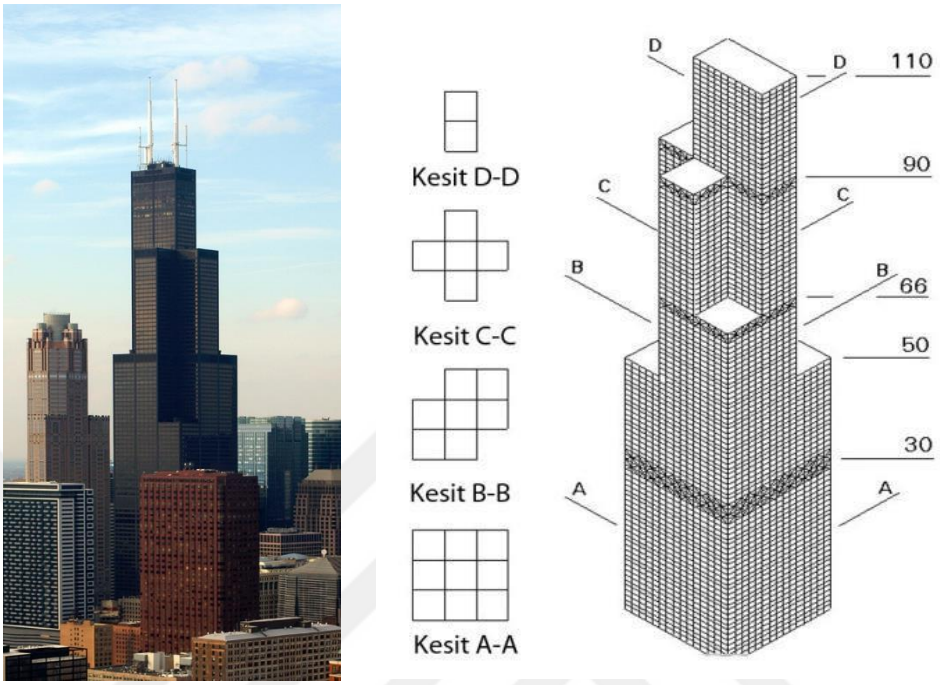
Şekil 2.11 Time Square Tower (New York, 2004)

İki veya daha fazla tekil tüp sistemin tek bir tüp içinde birleştirilmesinden oluşan sisteme tüp içinde tüp sistemler adı verilir. Taşıyıcı istemin yatay yüklere karşı davranışı çerçeve+perde duvar davranışına benzerdir. Sistem davranışı hem çekirdek hem de çerçeveli tüp sistem davranışını birarada gösterir ve iç tüp, düşey yüklerin yanında yanal yükleri de paylaşır. Yüksek burulma dayanımına sahip dış tüp, simetrik olmayan plan şekillerinde oldukça avantaj sağlamaktadır.

Yatay yüklerin paylaşımında 40 kata kadar iç tüp (çekirdek) çerçeveden daha hâkim iken, bu yüksekliklerden sonra çerçevenin payı çekirdeğe kıyasla çok baskın duruma geçmektedir. Çekirdeğin etkinliğinin azalmasının temel nedeni, artan kat adedi ile birlikte konsol ankastre kısımdaki eleman yerdeğiştirmelerinin artmasıdır.

Tübüler sistemlerden türetilen diğer bir sistem de modüler ya da demet tüp sistemdir. Demet tüp, birden fazla tübün bir taşıyıcı sistem oluşturacak şekilde bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır (Şekil 2.12). Bu sistem tüplerin farklı yüksekliklerde sonlanmasına, bina kütlesinde geri çekmelerle farklı tasarımlar oluşturmaya olanak sağlar. Ayrıca çerçeveli tüp sistemlere kıyasla daha fazla bina yüksekliklerine, daha geniş

kolon aralıkları ile ulaşılabilir ve narinlik (yükseklik/en) oranı kontrol altına alınabilir. Demet tüp sistemler 70-80 kat arasındaki betonarme yüksek binalar için ekonomik sonuçlar vermektedir.



Şekil 2.12 Willis Tower (Chicago, 1973)

2.3.5 Diagrid Sistemler

Günümüzde yüksek bina taşıyıcı sistemlerinde uygulanan birçok sıradışı forma sahip ve ikonik nitelikteki diagrid sistemler kafesli tüp sistemin gelişmiş bir tasarımıdır.

Bu taşıyıcı sistem estetik açıdan yenilikçi tasarımlara imkân sağlayan ve yanal rijitlik bakımından gelişmiş sistemlerdir. Taşıyıcı sistem yanal yerdeğiştirme ve burulmaya karşı gösterdiği dayanımdan dolayı dikkat çekmiştir. Kafes tüp sisteme kıyasla düşey yükler açısından da çok etkindir.

Bu taşıyıcı sistemde kayma rijitliğinin rijit katlı sistemlere göre daha yüksek olması önemli bir avantajdır. Taşıyıcı sistemde rijit katlı sistemlerden farklı olarak kesme kuvvetini karşılayacak çelik veya betonarme güçlü bir çekirdek gereksinimi yoktur. Özellikle yerdeğiştirmeleri yanal rijitliğin yönettiği, narinlik oranı 5-7 olan (örneğin 42-60 katlı) binaların tasarımı için etkin bir taşıyıcı sistem tipidir. Bu taşıyıcı sisteme ait güncel örnekler Şekil 2.13'de verilmiştir.



Şekil 2.13 Güncel diagrid taşıyıcı sistem örnekleri

Swis Re Tower, 2004 (solda), Hearst Tower, 2006 (ortada), Cocoon Tower, 2008 (sağda)

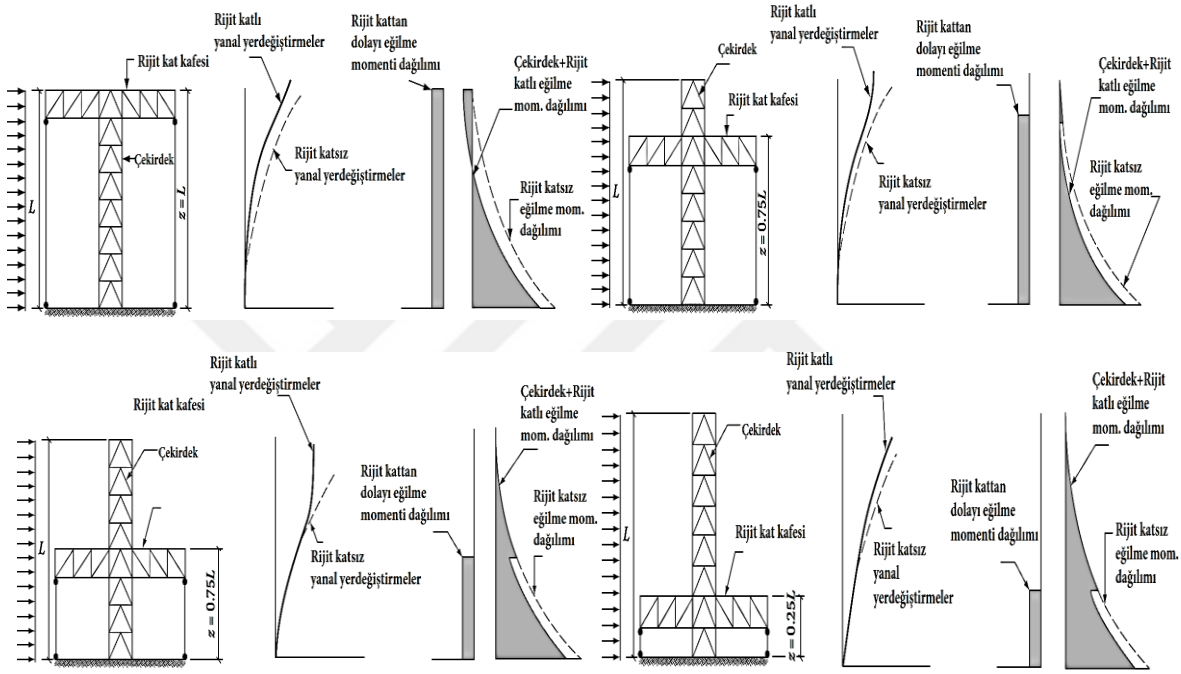
2.3.6 Mega Çerçeveli Rijit Katlı Sistemler

Yüksek binaların taşıyıcı sistem tasarımındaki son gelişmelerden biri olan bu sistemler süper yüksek binaların birçoğunda uygulanmakta ve giderek yaygınlaşmaktadır.

Rijit kat, yatay yükler altında konsol ankastre çekirdeğin eğilmesine karşı koymaktadır. Kafes kirişler çekirdeğe rijit, dış kolonlara basit olarak bağlanırlar. Çekirdek yanal yüklerin etkisiyle eğilmeye başladığında yatay kafes kirişler dış kolonlara eksenel yük ileten bir manivela kolu gibi davranırlar ve yanal yüklerin karşılanmasına yardımcı olurlar. Çekirdeğin tepe yerdeğiştirmesini, dönmesini, mesnette ve yükseklik boyunca eğilme momenti değişimini önemli ölçüde azaltmakta ve eğilme rijitliğini arttırmaktadır. Ancak rijit kat düzenlemesinin kayma rijitliği açısından bir katkısı yoktur. Kenar kolonlara birleşim mafsallı olduğu ve sadece eksenel kuvvet aktarılacağı için, çekirdeğin daha fazla eğilme momenti taşıma kapasitesi bulunur. Böylelikle çekirdek elemanlarını boyutlandırmada daha ekonomik sonuçlara ulaşılabilir.

Eğilme momentinin normal kuvvet çiftine dönüştürülerek aktarıldığı bu sistemde temelde yük dağılımları daha dengeli olmakta ve azalan çekme gerilmeleri nedeniyle maliyetli temel sistemi önlemlerine (kazıklı radye sistem vb) gerek kalmamaktadır.

Günümüz yüksek binalarındaki rijit katlar genellikle iki katlı olarak yapılmakta olup rijit katın en üst katlarda konumlanması, çekirdeğin konsol ankastre benzeri yerdeğiştirmesini azaltır ancak biçimini değiştirmez. Oysa orta katlarda konumlandırma sistemin çerçeve davranışına yaklaşmasını sağlar (Şekil 2.14).



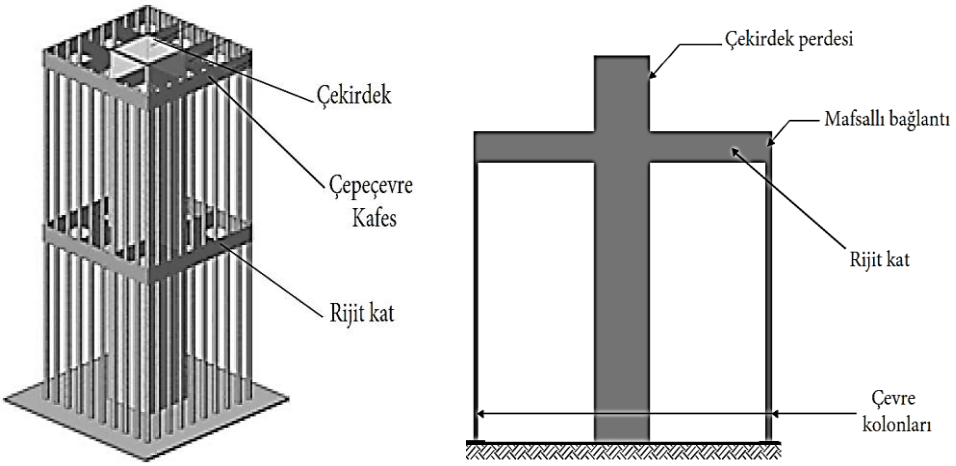
Şekil 2.14 Binadaki yerdeğiştirme ve mometin rijit kat konumuyla değişimi

Yapılan çalışmalar neticesinde tek rijit kat kullanılması durumunda en etkin yerleştirme yüksekliği *z=0.55 H (≈ H/2)* olarak bulunmuş olup,

İki rijit kat için *H/3 ve 2H/3*

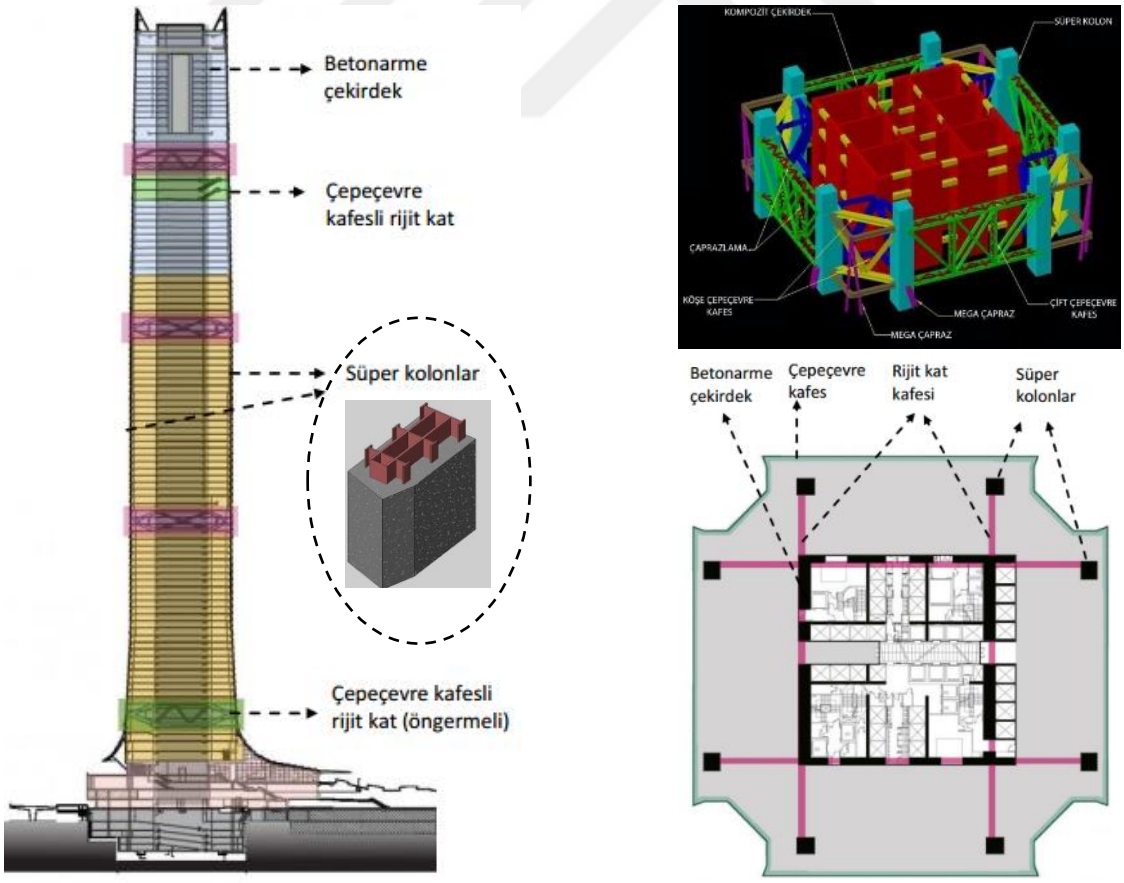
Üç rijit kat için *H/4, H/2, 3H/4* yüksekliklerinde yerleşimlerin ekonomik olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Deprem etkin bölgelerde taşıyıcı sistemin simetrik tasarlanması ve çekirdeğin ortada olması önemlidir. Depremin önemli olmadığı bölgelerde çekirdek kenarda da konumlandırılabilir. Merkezi betonarme/çelik çekirdek ile dış kolonlar arasında genellikle simetrik düzenlenmiş rijit kat kafesi (outrigger truss) ve çepeçevre kafes sistem (belt truss) bulunur (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Rijit kat ve çerçeve kafes yerleşimi

Rijit katlar konsol ankastre çekirdeğin yatay yükler altında eğilmesine karşı koymakta ve mega kolonlara çok büyük miktardaki düşey yükleri aktarmaktadırlar. Bu uygulamada ortaya çıkan yatay yüklerin karşılanması için bina yüksekliği boyunca tasarlanan perdeler, çekirdekler, yatay kafes kirişler, yatay perde duvarlar ve binayı çevreleyen kuşak gibi yapısal elemanlar destek sağlamaktadır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Mega çerçeveli rijit katlı bir uygulama (International Commerce Center) (2010, Hong Kong, Çin)

2.4 Taşıyıcı Sistem Seçiminde Etkili Paramatreler

Yüksek bina maliyetlerinde genel olarak, taşıyıcı sistem maliyetinin toplam bina maliyetine oranı %30 iken elektro mekanik sistemlerin maliyeti %40 düzeyindedir. Taşıyıcı sistemin yatay yüklere karşı etkinliğinin yüksek olmasının yanında bina üzerinde bulunan sistemlerin ve cephe elemanlarının hasar görmememesi için de yeterli konforun sağlaması gerekmektedir. Yüksek binalarda beklenilen bu etkinlik ve performansın sağlanması için taşıyıcı sistemlerin belirlenmesinde dikkat edilebilecek konular aşağıda özetlenmiştir.

2.4.1 Taşıyıcı Sistemin Basit ve Simetrik Olması

Deprem hareketi ve yapısal eleman davranışlarındaki belirsizliklerle beraber analiz ve tasarım yöntemlerindeki yaklaşıklıklar nedeni ile binanın deprem davranışının öngörülebilir olmasını sağlamak için, taşıyıcı sistemin olabildiğince sade ve basit olması depreme dayanıklı yapı tasarımının temel kuralıdır. Yüksek binalarda narinliğin artmasıyla birlikte deprem etkileri daha önemli olmakta ve yüksek modların davranışa olan etkisi önem kazanmaktadır [34]. Taşıyıcı sistemin basit ve sade olması yüksek modların etkisini azalttığı gibi binada görülmesi istenmeyen burulma modlarının oluşmasını da engellemektedir.

Benzer nedenlerden dolayı binanın planda iki doğrultuda simetriye sahip olması istenir. Taşıyıcı sistemin planda düzenli ve simetrik olarak düzenlenmesi ile, döşemelerdeki yayılı kütlelerden kaynaklanan eylemsizlik kuvvetleri en uygun biçimde düşey taşıyıcı elemanlara aktarılabilir. Ayrıca deprem sırasında perde ve kolonlarda meydana gelen hasarlar elemanların dayanım ve rijitliklerini değiştirir. Böylelikle statik konumda simetrik olan bina dinamik konumda burulma etkisine maruz kalabilir. Simetrik taşıyıcı sistem düzenlemesi ile kütle, rijitlik ve dayanım bakımlarından oluşabilecek dışmerkezliklerin önüne geçilebilir ve öngörülebilir bir deprem davranışı gerçekleştirilebilir.

Taşıyıcı sistemde düşey doğrultuda da düzensizlikler bulunmamalıdır. Bunun için kat rijitliklerinde ve dayanımlarında ani değişimler sonucu oluşabilecek yumuşak kat ve zayıf kat düzenlemelerinden olabildiğince kaçınılmalıdır.

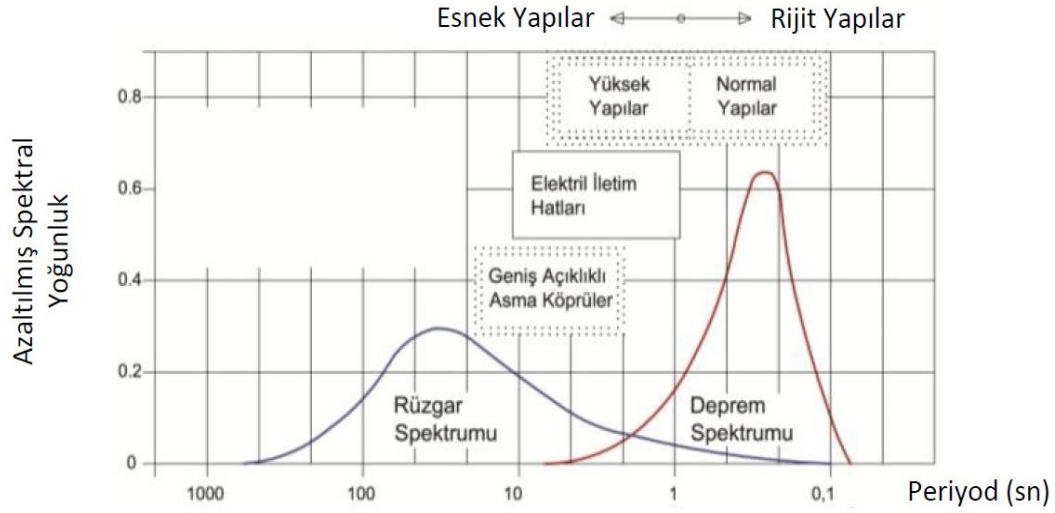
2.4.2 Taşıyıcı Sistemde Fazla-Bağlılık Özelliğinin Sağlanması

Statik yükler altındaki fazla bağlılık (hiperstatiklik) davranışının deprem etkileri altında da geçerli olması, deprem sırasında bazı taşıyıcı sistem elemanlarının dayanımlarının azalması ve hatta devre dışı kalması durumunda sistemde kararlı davranışı sağlayabilecek yeterli sayıda yedek elemanın devreye girmesini sağlamaktadır. Daha fazla bağlılık özelliğinin sağlanması ile ortaya çıkacak plastik mafsalların sayısı dolayısıyla dinamik enerjinin yutulan kısmı da büyütülmüş olur.

2.4.3 Taşıyıcı Sistemde Yeterli Dayanım ve Rijitlik

Yüksek dayanımlı ve daha hafif malzemelerin kullanımı, yanal yerdeğiştirmeleri olumsuz etkilemektedir. Yerdeğiştirmelerin azaltılması için binanın yeterli yanal rijitliğe sahip olması gerekmektedir. Malzeme teknolojisindeki gelişmelere bakıldığında dayanım değerlerinde önemli artışlar olmasına karşın rijitliklerinde büyük değişiklikler yoktur. Bu durum, taşıyıcı sistemde iyileştirmesini ve gerektiğinde sönümleme sistemleri kullanılmasını gerektirmektedir.

Rüzgar ve deprem yükleri yüksek binalarda dikkate alınması gereken ana yatay yükleri oluşturmaktadırlar. Ancak bu iki yük sınıfının karakterlerinin birbirinden farklıdır. Şöyle ki depremin en etkin olduğu binaların periyotları daha küçük değerlerde iken rüzgarın etkin olduğu binaların periyotları daha büyüktür (Şekil 2.17). Rüzgar yükleri dışarıdan etkimektedir ve etkidiği yüzeyin alanı ile orantılıdır. Deprem yükleri ise zemin hareketinden dolayı binada oluşan atalet kuvvetleridir ve binanın kütlesi ile orantılıdır.



Şekil 2.17 Deprem ve rüzgar için azaltılmış spektrum-periyot değişimleri

Rüzgar etkisi, yapı ömrü boyunca büyüklüğü değişkendir ama depremden farklı olarak sürekli mevcuttur. Depremler sık olan olaylar değildir, bölgenin sismik aktivitesine uygun belirli dönüş periyotlarına göre tanımlanır. Çok yüksek ve önemli binaların 50 yılda oluşma olasılığı %10 olan depremi (dönüş periyodu 475 yıl) tamamen elastik sınırlar içinde karşılayacağı, 50 yılda oluşma olasılığı %2 olan (dönüş periyodu 2475 yıl) maksimum depremde ise kontrollu plastik şekil değiştirmeler yapacağı kabul edilir.

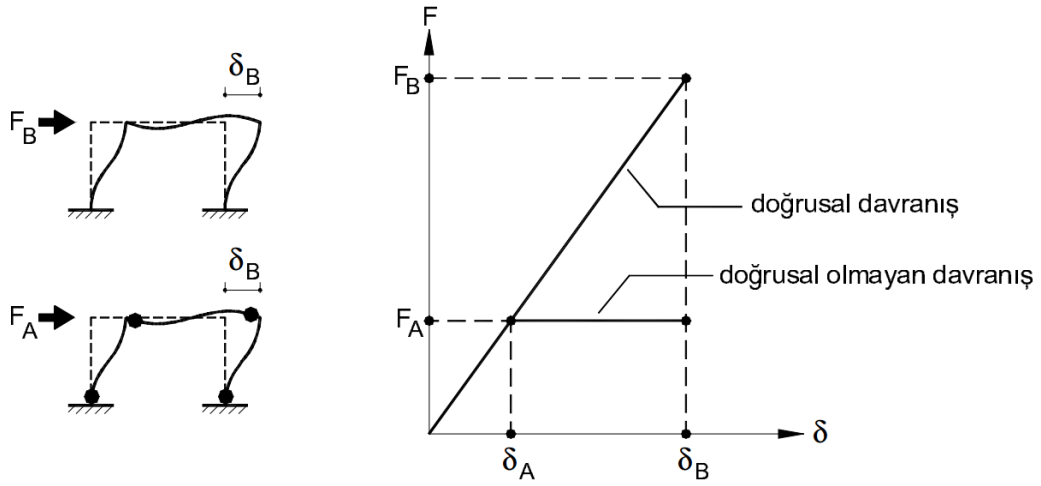
Deprem yer hareketinin planda tüm doğrultularda etkili olduğu dikkate alınarak taşıyıcı sistem elemanlarının tercihen birbirine dik iki asal doğrultuda düzenlenmesi ve birbirine yakın dayanım ve rijitliğe sahip olması esastır. Bina içindeki rijitliklerin ani değişiminden kaçınılmalıdır. Taşıyıcı sistem elemanlarının rijitliği uygun seçilerek titreşim periyodu belli aralıklara getirilebilir, böylelikle deprem kuvvetleri azaltılabilir. Rijitliğinin arttırılması ile göreli yatay ötelenmelerin sınırlandırılması, taşıyıcı olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarları önler. Yüksek binalarda deprem sırasında düşey yüklerin ikinci mertebe etkilerini sınırlı tutmak için yerdeğiştirmeler sınırlandırılmalıdır. Bunun için de rijitliğin arttırılması gereklidir [34].

Taşıyıcı sistemde üniform olmayan davranışlara neden olan burulma düzensizliğini ortadan kaldırmak ve tehlikeli burulma titreşimlerini önlemek amacı ile yeterli burulma dayanımının ve rijitliğin sağlanması esastır. Bu doğrultuda en uygun çözüm, rijitliği ve dayanımı yüksek taşıyıcı sistem elemanlarının olabildiğince binanın çevresinde düzenlenmesidir.

2.4.4 Taşıyıcı Sistemde Yeterli Süneklik

Süneklik, dayanımı kaybetmeden büyük şekil değiştirme veya yerdeğiştirme yapabilme özelliği olarak tanımlanmaktadır. Sünek olmayan davranış gevrek davranış olarak adlandırılır. Malzeme sünekliği, kesit sünekliği, eleman sünekliği ve sistem sünekliği olarak farklı süneklik türleri bulunmaktadır. Büyük depremler seyrek olarak ortaya çıktığından oluşturacağı büyük etkilerin sistemin doğrusal (lineer) davranışı ile karşılanması ekonomik olmamaktadır. Binanın elastik sınırı geçmesiyle kesit zorlarında önemli artmalar olmadan şekil değiştirme yapması arzu edilir. Depremde ortaya çıkan etkilerin önemli bir bölümünün doğrusal olmayan davranış ile karşılanması amaçlanır. (Deprem sırasında binada hasar oluşması kabul edilir.)

Yapılan çalışmalara göre binaların tipik bir depremde zorlanması durumunda çözümlemenin elastik veya elastik ötesi yapılmasına bağlı olmaksızın aynı yatay yerdeğiştirmeler meydana gelmektedir [34]. Aşağıda Şekil 2.18'de görülebilir ki her iki durumda da δ_B değerine ulaşılmaktadır. Binaların süneklilik koşullarını sağlayacak tasarlanması ile F_B yerine F_A yüküne göre tasarım yapılabilir ve ekonomi sağlanabilir ($F_B>F_A$). Ayrıca deprem etkisinde sünek davranış gösteren bir bina, elemanların ve birleşimlerin doğrusal olmayan davranışları ile büyük miktarda enerji yutabilmektedir.



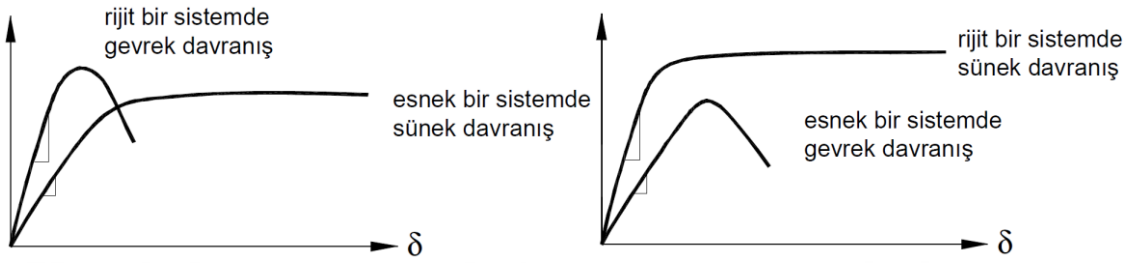
Şekil 2.18 Doğrusal ve doğrusal olmayan davranış için kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi

Yüksek bina tasarımında eleman ve sistem bazında sünekliliğin sağlanması TBDY2016 taslak yönetmeliğinde zorunlu görülmüş ve taşıyıcı sistemin sünekliliğinin sağlanması için dikkat edilmesi gereken kurallar verilmiştir. Bunların önemli olanları iki grupta aşağıda özetlenmiştir [34].

- Plastikleşme ihtimali yüksek olan kiriş ve kolonların birleşim bölgelerinde, perdelerde mesnede yakın kritik yükseklik boyunca etriye sıklaştırılmasının uygulanması.
- Betonarme elemanlarda sünek güç tükenmesinin gevrek güç tükenmesinden daha önce ortaya çıkmasının sağlanması.

Eğilme momenti altında donatının akma gerilmesine erişmesi sonucu meydana gelen güç tükenmesi sünek olmakla birlikte kesme kuvveti altında eğik çekme gerilmeleri veya eğik basınç gerilmelerinin betonda oluşturduğu güç tükenmesi gevrek olarak meydana gelir. Aderansın sağlanamaması sonucu donatının sıyrılması ve zımbalama sonucu meydana gelen güç tükenmeleri de sünek değildir.

Bu konuda karıştırılan bir diğer durum rijitlik ve süneklilik kavramlarıdır. Karşıt gibi görünen bu iki kavram için karşılaştırma Şekil 2.19'da verilmiştir. Buradan da görüleceği üzere rijitlik kavramının karşıtı esneklik, süneklik kavramının karşıtı gevrekliktir. Depreme dayanıklı yüksek binalarda rijit bir sistem ve sünek davranış gerektiği daha önceki bölümlerde de detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 2.19 Rijit ve esnek sistemlerde gevrek ve sünek davranışların karşılaştırması

2.4.5 Katlarda ve Geçiş Katlarında Yeterli Döşeme Rijitliği ve Dayanımı

Deprem etkisinde döşemelerde oluşan eylemsizlik kuvvetlerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılmasını ve aynı zamanda deprem etkilerinin farklı rijitliklere sahip düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle dağıtılmasını sağlamak üzere, döşemelerin yüksek düzlem içi rijitliğe ve yeterli dayanıma sahip olmaları esastır.

Döşemelerde özellikle yük aktarımının kritik olduğu bölgelerde büyük boşluklardan kaçınılmalıdır. Boşluklardan kaçınılamadığı durumlarda, eylemsizlik kuvvetlerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına aktarılmasını sağlamak üzere boşluk kenarlarında yeterli rijitlik ve dayanıma sahip yatay elemanlar düzenlenmelidir.

Özellikle normal rijitlikli katlardan çok rijit bodrum katlarına geçişte yer alan ve üstteki katlarda oluşan deprem kuvvetlerinin büyük kısmını bodrum katlardaki çevre perdelerine aktaran geçiş döşemelerinde yeterli düzlem içi rijitlik ve dayanımın sağlanması esastır.

2.4.6 Çekirdek Planlaması ve Düşey Taşıma

Çekirdek planlaması hem günlük kullanım hem de taşıyıcı sistem belirlenmesinde ana kriterdir. Betonarme çekirdekler, betonarme malzemesinin yangına karşı dayanımı ve akustik açıdan sağladığı faydalar nedeniyle çelik emsallerine oranla daha üstündür. Çekirdek bina planındaki konumuna göre farklı şekillerde düzenlenebilir. Binanın

merkezinde bulunan çekirdek açık ve ışık alan mekanlar, köşelerdeki çekirdekler ise homojen bir çalışma alanı sağlar. Ayrıca çekirdek içindeki boşluklar doğal havalandırma amaçlı değerlendirilir. Çekirdek sistemi her katla bağlantılı olduğundan, ekonomik açıdan en geniş kullanım alanı ve kesintisiz hizmet verecek şekilde düzenlenmelidir.

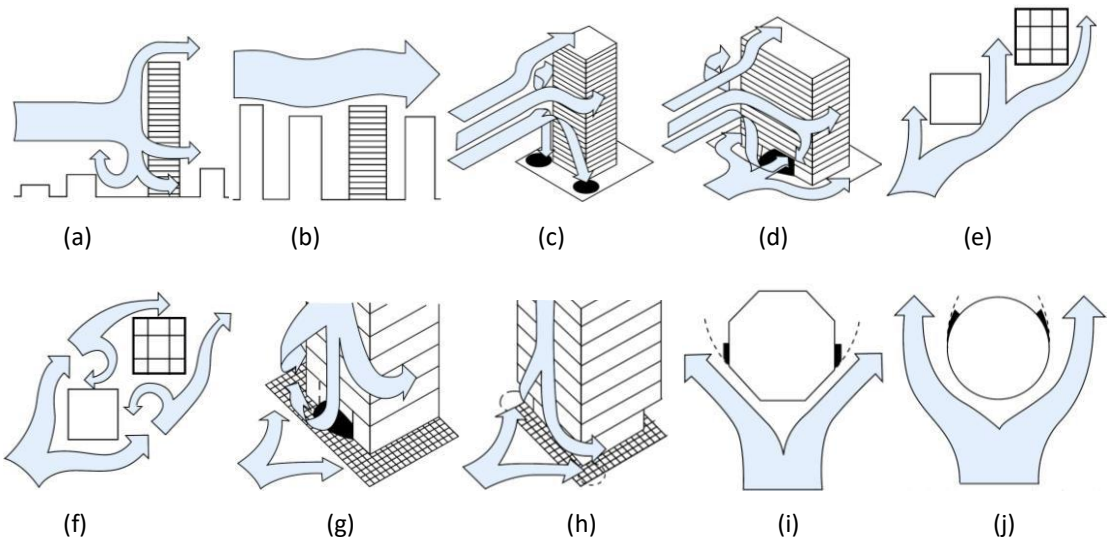
Taşıyıcı sistem içinde çekirdek perdeleri yatay yüklerin tamamını ya da büyük bir bölümünü taşımaktadır. Bundan dolayı merkezcil yerleşim uygulanması döşeme ve kiriş gibi perdelere birleşen yatay taşıyıcı elemanlardaki gerilme dağılışlarının daha dengeli oluşmasını sağlamaktadır. Binanın rijitlik merkezini ağırlık merkeziyle yakınlaştırmak burulma etkilerini azaltarak daha ekonomik çözümler sunmayı sağlamaktadır. Çekirdek yerleşiminin merkezcil yapılmaması durumunda yapı davranışında basitlik bozulmakta, tahmin edilmeyen burulma mod şekillleri görülebilmektedir. Bu durumun negatif etkisini düzeltmek için ekonomiden uzak zorlayıcı çözümler ortaya çıkabilmektedir.

2.4.7 Bina Formu

Bina formunun düzenlenmesinde en önemli faktörlerden biri, rüzgar etkisidir. Yeryüzündeki pürüzlülük veya kısaca sürtünme (yapılar, ağaçlar vb) rüzgar enerjisini mekanik türbülansa dönüştürür. Türbülansın düşey ve yatay hız bileşeni mevcuttur ve rüzgar hızı zemine yaklaştıkça sürtünme ile azalır. Zeminden uzaklaştıkça, rüzgar hızı zemin pürüzlülüğünün fonksiyonu olarak genellikle artar. 300-350 m yükseklikte sürtünme ihmal edilir düzeydedir ve bu seviyeden itibaren rüzgar hareketi bölgesel ve mevsimsel rüzgarların etkisindedir. Çevredeki nesnelerin (ağaçlar, arazi şekli, yapılar) etkisi ne kadar fazla ise maksimum rüzgar hızı da o kadar yüksekte oluşur.

Rüzgarın cisimlere etkisi birbirine dik üç doğrultuda söz konusu olsa da binalarda rüzgarın düşey bileşeni yatay doğrultudaki boyuna ve enine bileşenleri yanında daha az önemlidir. Yüksek binalarda enine yöndeki bileşen boyuna yöndekinden daha kritiktir. Enine doğrultudaki titreşim periyodunun bina periyodu ile çakışması ekstrem durumu oluşturarak binayı rezonansa sokabilir. Daha hafif ve daha yüksek binalarda rüzgar nedeni ile rezonans riskinin ortadan kaldırılması kadar rüzgardan dolayı oluşan salınımı sınırlandırmak da önemlidir. Bina formu ile ilgili sık rastlanan durumlar ve bazı önlemler maddeler şeklinde özetlenmiştir.

- Çevre binalardan daha uzun bir bina, daha fazla rüzgar yüküne maruz kalacak ve yaya seviyesinde rüzgarın yoğunlaşmasına neden olacaktır. Çevre binalar ile aynı seviyede ise ani rüzgar hızı artışı oluşmaz (Şekil 2.20.a ve b).
- Yüksek binanın zemin seviyesinde rüzgar hızı artar, açıklık bırakmak rüzgar hızını azaltır (Şekil 2.20.c ve d).
- Rüzgar yönünü, binanın diyagonaline denk düşecek biçimde binayı konumlandırmak rüzgar hızını azaltır (Şekil 2.20.e ve f).
- Gömülü girişler kapı seviyesinde rüzgar hızını azaltır (Şekil 2.20.g).
- Binada zemin seviyesindeki geri çekmeler, rüzgar yoğunluğunu daha iyi veya daha kötü yönde plan ve düşeydeki değerlerine bağlı olarak etkileyebilir (Şekil 2.20.h).
- Çokgen yüzeyli binalar rüzgardan oluşan basıncı, yaya seviyesi de dahil azaltabilir (Şekil 2.20.i).
- Dairesel planlı binalar, rüzgar basıncı ve türbülanstan en az seviyede etkilenir. Ancak rüzgarın binadan ayrılma noktalarında ve çokgen yüzeylerdeki cephe kısımlarında oluşan çekme kuvvetine dikkat edilmelidir (Şekil 2.20.j).



Şekil 2.20 Yüksek binalarda rüzgar etkileri ve ilgili çözümler [33]

300 m'den yüksek, dikdörtgen veya kare planlı, narinliği 8'den büyük olan yüksek binalar aeroelastik kararsızlıklara duyarlı hale gelmektedir. Rüzgar etkisinin azaltılması açısından formlarda bazı değişiklikler yapılmalıdır. Bunlar yükseklik ile doğrusal azalım, sarmal form, açıklık eklemek, köşe ve yüzeyde biçim değişimi gibi aerodinamik düzenlemelerdir.

- Formun yükseklik ile doğrusal azalımı: Üst katlara doğru azalan kesit tesirlerine paralel biçimde bina enkesiti düzenli olarak azaltılır. Böylece, binanın toplam ağırlığı ve rüzgarın etki ettiği alan da azalmaktadır (Şekil 2.21.a).
- Sarmal form: Bina yükseldikçe plan şekli belli açılarla düşey eksen etrafında döndürülür. Tasarım simülasyonlar ve rüzgar tüneli testleri ile değerlendirildiğinde, aynı ölçülere sahip dikdörtgen planlı binalara göre aerodinamik yapısı ve rüzgarın farklı açılardan etkimesi nedeni ile daha iyi aerodinamik performans göstermekte ve bina yüksekliğince oluşan girdap etkisi azalmaktadır (Şekil 2.21.b).
- Açıklık eklemek: Özellikle binanın üst seviyelerinde açıklık eklemek dikdörtgen planlı, narinliği 8 olan bir binada, bina genişliğinin her dış yüzeyinde %1.5 oranında açılan açıklıklar rüzgarın salınıma etkisini % 20-25 azaltabilmektedir. (Şekil 2.21.c).



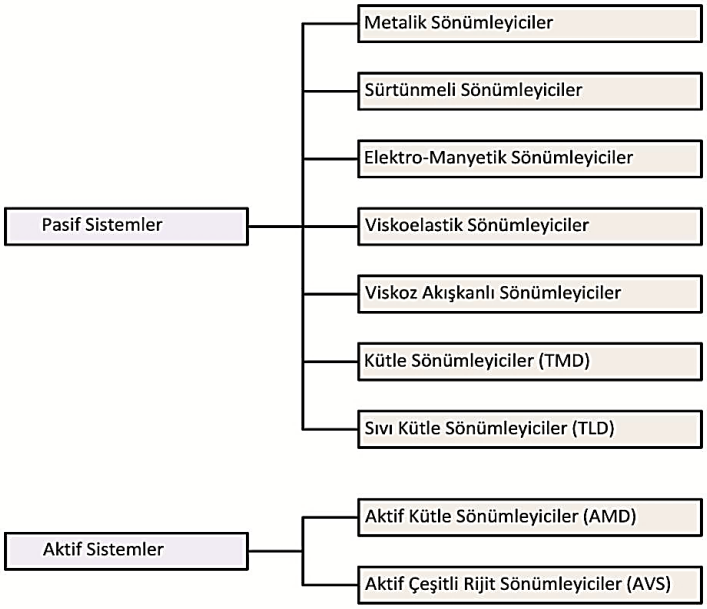
Şekil 2.21 (a) Burj Khalifa (b)Infinity Tower (c) Changhai Fin. Center (d) Aqua Tower

- Köşe ve yüzeyde biçim değişimi: Rüzgar tüneli testleri sonuçlarına göre; yuvarlatılmış, kademeli, kesik köşeler ve dalgalı yüzeyler binaya etkiyen rüzgar yüklerini ve yanal yerdeğiştirmeleri önemli derecede azaltmaktadır. (Şekil 2.21.d).

2.4.8 Sönümleme Sistemler

Yüksek binalarda ekstrem yük grubunu oluşturan yatay yüklere karşı genel alınabilecek önlemler, binanın kütlesini ek kütleler ile arttırmak veya birleşim detaylarında sönümleme sistemleri kullanmaktır. Sönümleme sistemleri, aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunların alt sınıflandırması Şekil 2.22'de verilmiştir.

Aktif sistemler, pasif sistemlere göre daha etkilidir; ancak, pasif sistemler güvenilirlik ve ekonomik açıdan daha yaygın uygulanmaktadır.



Şekil 2.22 Aktif ve pasif sönümleme sistemlerinin sınıflandırılması

2.4.9 Rötre ve Sünme Etkisi

Rötre ve sünme etkisi zaman içinde kendiliğinden oluşup basınç bölgesinde beton ve çelik arasındaki gerilme paylaşımında değişimlere sebep olmaktadır. 30 kat veya 120 m'ye kadar olan binalarda eksenel kısalmalar önemli bir sorun oluşturmaz iken, (sadece pencere, cephe elemanları gibi tali bileşenlerde zaman içinde düzenlemeler gerekebilir) bina yüksekliği arttıkça betonarme kolon ve perdelerdeki kısalma birikimli olarak artar. Aynı eksenel gerilmeye maruz komşu elemanlardaki özellikle farklı donatı oranları kısalma durumları arasındaki farkı arttırır (yüksek donatı oranlı kolon ve düşük donatı oranlı perde elemanın komşu olması durumu). Farklı kısalma durumu, söz konusu düşey taşıyıcı elemanlara birleşen kiriş ve döşemelerde ikincil momentler oluşturur. Bundan dolayı tasarım aşamasında hem yatay hem de düşey yüklerin sistem içinde dengeli bir şekilde dağıtılması sağlanmalıdır. Donatılandırmanın belli kısımlarda yoğunlaşmasının yarardan çok zarar getirdiği sürekli gözönünde bulundurulmalıdır.

Malzeme açısından bakıldığında yüksek binalarda düşük su/çimento oranları ve yüksek dayanımlar söz konusu olsa da kat sayısındaki fazlalık ve yüksek gerilmeler rötre ve sünme etkilerini yine de önemli hale getirmektedir.

2.5 Hesap Yöntemleri

Bina taşıyıcı sistemlerindeki hesaplamaların amacı dış etkilerden meydana gelen iç kuvvetlerin, şekil değiştirmelerin ve yerdeğiştirmelerin bulunmasıdır. Bu hesapların yeterli doğrulukta yapılabilmesi için iki farklı teoriye dayanan hesap yöntemleri kullanılır.

- Doğrusal (Lineer) hesap yöntemleri
- Doğrusal olmayan (Lineer olmayan) hesap yöntemleri

2.5.1 Doğrusal Hesap Yöntemleri

Bina taşıyıcı sisteminin üzerine gelen yükler altında doğrusal davranış sergilediği kabul edilmektedir. Mekanik problemler aşağıdaki şartların sağlanması ile çözümlenmektedir. İlk iki şart malzeme özelliklerinden bağımsız olarak sağlanmaktadır.

- Denge denklemlerinin sağlanması,
- Uygunluk koşullarının sağlanması,
- Bünye bağıntıları, yani malzeme için gerilme-şekil değiştirme σ-ε ilişkisinin belirlenmesi.

Doğrusal teoriyi esas alan analiz yöntemlerinin dayandığı kabuller maddeler şekilde şöyle sıralanabilir:

- Malzeme doğrusal-elastiktir.
- Birinci mertebe teorisi geçerlidir. Yani, yerdeğiştirmelerin denge ve geometrik süreklilik denklemlerine etkileri terk edilebilecek kadar küçüktür.
- Sistemin boyutları yükleme ile değişmemektedir ve tepki kuvvetleri çift yönlüdür.
- Süperpozisyon prensibi geçerlidir.

2.5.2 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Bina taşıyıcı sistemleri işletme yükleri altında genelde doğrusal olmayan davranış gösterirler. Bunun anlamı, binanın doğrusal teori ile hesaplanan değerden daha fazla yerdeğiştirme ve şekil değiştirme kapasitesine sahip olmasıdır. Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak binanın taşıma gücüne yaklaştıkça şekil değiştirme ve

gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmakta, yerdeğiştirmeler büyüyerek kabul edilemeyecek değerler almaktadır. Böyle bir durumda doğrusal teoriden söz etmek doğru olmayacaktır ve bunun yerine doğrusal elastik sınır ötesindeki davranışın gözönüne alınması zorunlu olmaktadır. Doğrusal olmayan teoride süperpozisyon prensibi geçerli değildir. Bundan dolayı taşıyıcı sistemde yüklerin paylaşılması, elemanlar arasındaki oranın sabit kalacak şekilde bir yük parametresine bağlı olarak değiştiği gözönüne alınarak bulunur.

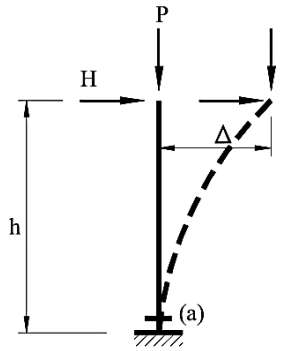
Bina taşıyıcı sisteminin doğrusal olmayan davranışı, çeşitli şekillerde malzeme ve geometri bakımından doğrusal davranış kabulü yapılarak gerçekleştirilen sistem çözümleri ile ilişkilendirilmeye çalışılmaktadır. Örneğin, yönetmelikte deprem hareketi nedeniyle oluşan doğrusal olmayan etkilerin gözönüne alınması amacıyla taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve yeniden dağılım ilkesi kullanılmaktadır. Bina taşıyıcı sistemleri genel olarak iki ana neden dolayısıyla doğrusal ötesi davranış gösterirler [35]. Bu nedenler;

- Kullanılan malzemenin doğrusal-elastik davranmaması nedeniyle iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarının doğrusal olmaması,
- Geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin ve geometrik süreklilik denklemlerinin doğrusal olmaması.

Bu nedenlerden dolayı yerdeğiştirmeye dayalı analizlerde, denge denklemlerinin şekil değiştirmiş sistemde yazılması gerekmektedir. Yapı mühendisliği literatüründe *ikinci mertebe teorisi* veya *P-Δ etkisi* olarak bilinen bu durumun ele alınması, yüksek bina tasarımlarında zorunlu olmaktadır. Bina taşıyıcı sistemlerinde geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan davranışın, başka bir deyişle P-Δ etkisinin incelenmesi gerekmektedir.

2.5.3 Geometri Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler

Geometri değişimlerinin denge denklemleri üzerindeki etkilerinin gözönüne alındığı teoriye *ikinci mertebe teorisi* denir. Yüksek binalarda taşınan düşey yük miktarlarının büyük değerlerde olması ve yüksek modların etkinliğinin fazla olması bu etkiyi daha da önemli hale getirmektedir.



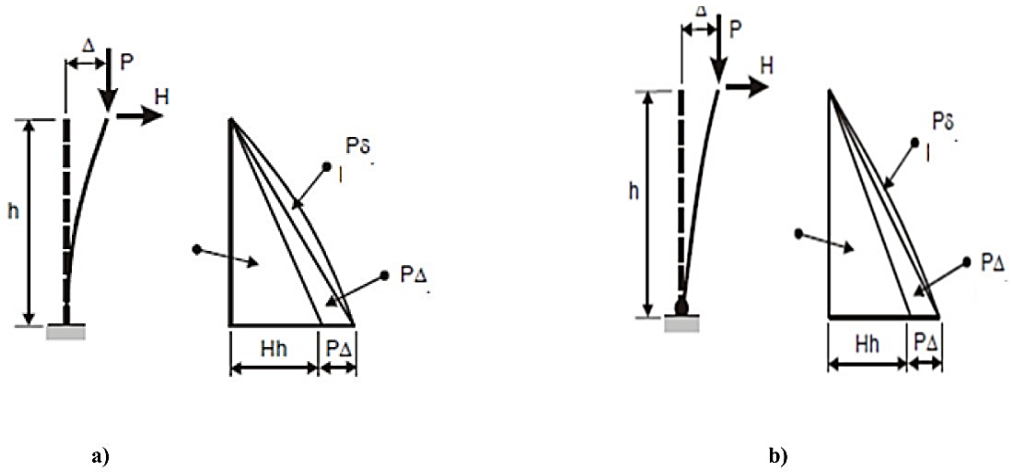
I. mertebe teorisi : $M^{I}{}_{a} = H \times h$

II. mertebe teorisi : $M^{II}{}_{a} = H \times h + P \times \Delta$

II. mertebe terimi
($P\Delta$ etkisi)

Şekil 2.23 Birinci ve ikici mertebe teorilerinin karşılaştırılması

Şekil 2.23'de birinci ve ikinci mertebe teorilerinin karşılaştırması görülmektedir. Teoriler arasındaki temel fark P-Δ terimidir ve bu terimin katkısının belirlenmesi ardışık bir çözümlemenin yapılmasını gerektirmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere P-Δ etkisi, normal kuvvet düzeyi büyük olan yapısal taşıyıcı elemanlarda düğüm noktalarının yerdeğiştirmesiyle oluşmaktadır. Bu etkinin sınırlandırılması yapısal taşıyıcı elemanların dayanımları ve stabiliteleri için son derece önemlidir.



Şekil 2.24 P-Δ ve P-δ etkileri

Şekil 2.24'de konsol bir kolon görülmektedir. Kesit özelliklerini ve donatı içeriklerini bildiğimizi kabul edelim. Böylece plastikleşme momenti kolaylıkla hesaplanabilir. Böylelikle plastik mafsal oluşumunun P-Δ etkisiyle bir bağlantısının olmadığı söylenebilir. Plastik mafsal oluşması için gerekli olan moment değerimiz M_p olsun, dolayısıyla, ''a'' sistemi ve ''b'' sistemi için şu bağıntılar yazılabilir.

$$M_p = H * h \qquad (a\ durumu) \tag{2.1}$$

$$M_p = H * h + P * \Delta \quad (b\ durumu) \tag{2.2}$$

Plastik mafsal oluşumu için gerekli yatay kuvvet değeri (H) her iki durum için hesaplanırsa moment formülasyonundan da görüleceği gibi ‘‘b’’ durumunda daha küçük bir H değerinde plastik mafsal oluşmaktadır. Bundan dolayı doğru çözümlemelerin yapılması için yüksek binalarda ikinci mertebe etkilerinin mutlaka gözönüne alınması gerekmektedir. TBDY2016 taslak yönetmeliğinde yüksek binalarda ikinci mertebe etkilerinin dikkate alınması zorunlu olarak belirtilmiştir.

P-Δ etkilerinin sınırlandırılması amacıyla TBDY2016 taslak yönetmeliğinde 4.9.1.3 ve 4.9.2.1 maddelerinde verilen bağıntılardan yararlanılmaktadır. Bu bağıntıların kontrolü doğrusal elastik çözümlemeler ile değerlendirilmekte olup doğrusal olmayan analiz aşamalarında kullanılmazlar.

$$\lambda * \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \le 0.008 \ \ (0.016) \qquad (2.3)$$

Dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapılması, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması durumunda Denk. (2.3)’de verilen sınır değer 0.016 olarak alınabilmektedir.

$$\theta_{H,i}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{ort} * \sum_{k=i}^{N} w_k}{V_i^{(X)} * h_i} \le 012 * \frac{D}{C_h * R} \qquad (2.4)$$

R ve D, bina taşıyıcı sistemi için taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı’nı, C_h ise taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı olarak tanımlanan bir katsayıyı göstermektedir. Yönetmelikte, betonarme binalarda 0.5, çelik ve kompozit kolonlu binalarda ise 1.0 değeri kullanılması önerilmektedir.

Şekil 2.24’de P-Δ etkilerine ek olarak P-δ etkileri de görülmektedir. P-Δ etkileri taşıyıcı sistem elemanlarının düğüm noktalarının yerdeğiştirmeleri nedeniyle oluşmakta, P-δ etkileri ise bu taşıyıcı sistem elemanlarının eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkileri nedeniyle elastik eğrilerinin şekil değiştirmesiyle oluşmaktadır.

Eğer yapısal taşıyıcı elemanlarda dinamik kuvvetler etkisiyle oluşabilecek plastik mafsalların, önceden belirlenen bölgelerde oluşacağından emin olunuyorsa başka bir deyişle olası plastik şekil değiştirmelerin eleman boyunca yayılmasının önüne geçileceğinden emin olunuyorsa P-δ etkileri hesaplara dâhil edilmeyebilir.

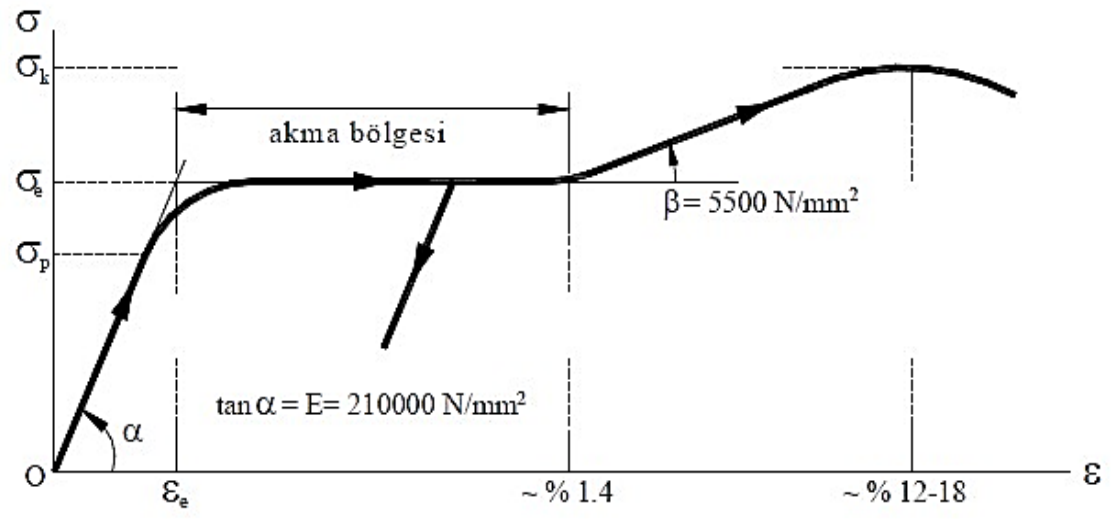
2.5.4 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler, yapısal malzemenin doğrusal-elastik davranmaması nedeniyle iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarının doğrusal olmadığı ve bu durumun sebep olduğu etkilerin gözönüne alındığı sistemlerdir.

Bina üzerine gelen yüklerin büyüklükleri, karekteristikleri zamanla değişebilmekte ve malzeme üzerindeki gerilmelerinde işaret değiştirmesine sebep olmaktadır. Bu durum malzemede yükleme ve boşalma olarak ortaya çıkmaktadır. Gerçek malzemelerin şekil değiştirme özelliklerinin daha kullanışlı olması ve parametresel olarak kullanımı için bazı idealleştirmeler yapılmaktadır.

2.5.4.1 Bina Malzemelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Bağıntıları

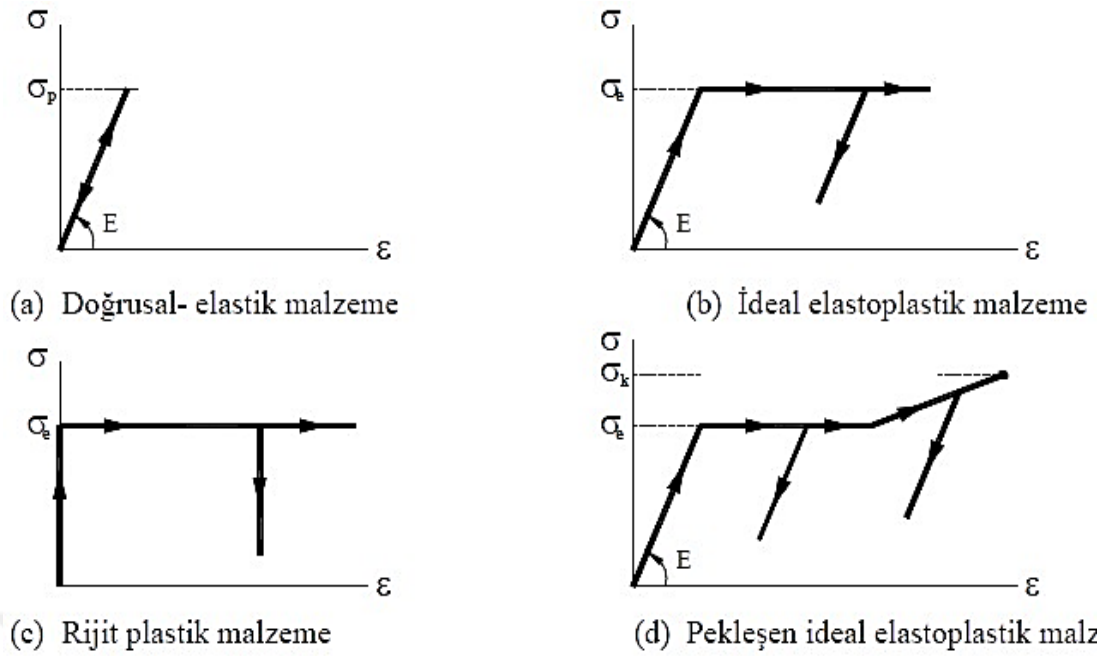
Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme (σ-ε) diyagramı ve bu diyagrama ait bazı sayısal değerler aşağıda Şekil 2.25'de yer almaktadır.



Şekil 2.25 Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme diyagramı

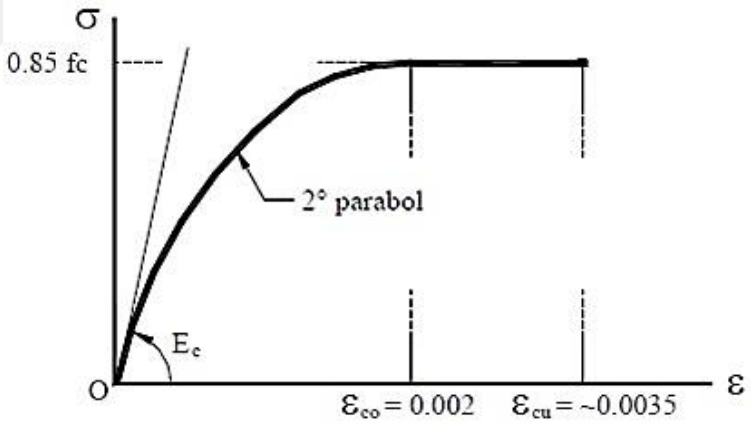
S420 donatı çeliği için σ_k = 550 MPa (kopma gerilmesi), σ_e = 420 MPa (akma gerilmesi), ε_e = 0.0021 (akma birim şekil değiştirmesi) değerleri kullanılmaktadır.

Taşıyıcı sistem elemanlarının analizinde matematiksel zorlukları önlemek amacıyla donatı çeliklerinin gerilme-şekil değiştirme (σ-ε) diyagramlarının bir bölümü veya tümü Şekil 2.26'daki gibi idealleştirilebilir [35].



Şekil 2.26 Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının idealleştirilmesi

Beton malzemesinin eğilme etkisindeki gerilme-şekil değiştirme (σ-ε) diyagramı ve bu diyagrama ait bazı sayısal değerler Şekil 2.27'de verilmiştir.



Şekil 2.27 Betonun gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Bu diyagramda f_{ck} karakteristik basınç dayanımını, E_c ise beton elastisite modülünü göstermekte olup aralarındaki bağıntı TS500 yönetmeliğinde verilen aşağıdaki formülasyon ile hesaplanmaktadır.

$$E_c = 14000 + 3250 * \sqrt{f_{ck}} \qquad (2.5)$$

Betonun ezilerek kırılmasına neden olan ε_{cu} birim kısalması, kısa süreli yükler altında, sargısız betonda yaklaşık 0.0035 olarak kabul edilebilirken, sargı donatısı (etriye) miktarına bağlı olarak bu değer artmaktadır.

2.5.4.2 Betonarme Elemanlar

Eğilme momenti ve normal kuvvet (bileşik eğilme) etkisindeki betonarme çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları ve akma koşulları bu kısımda verilmiş olup, bağıntıların nasıl idealleştirilebileceği açıklanmıştır.

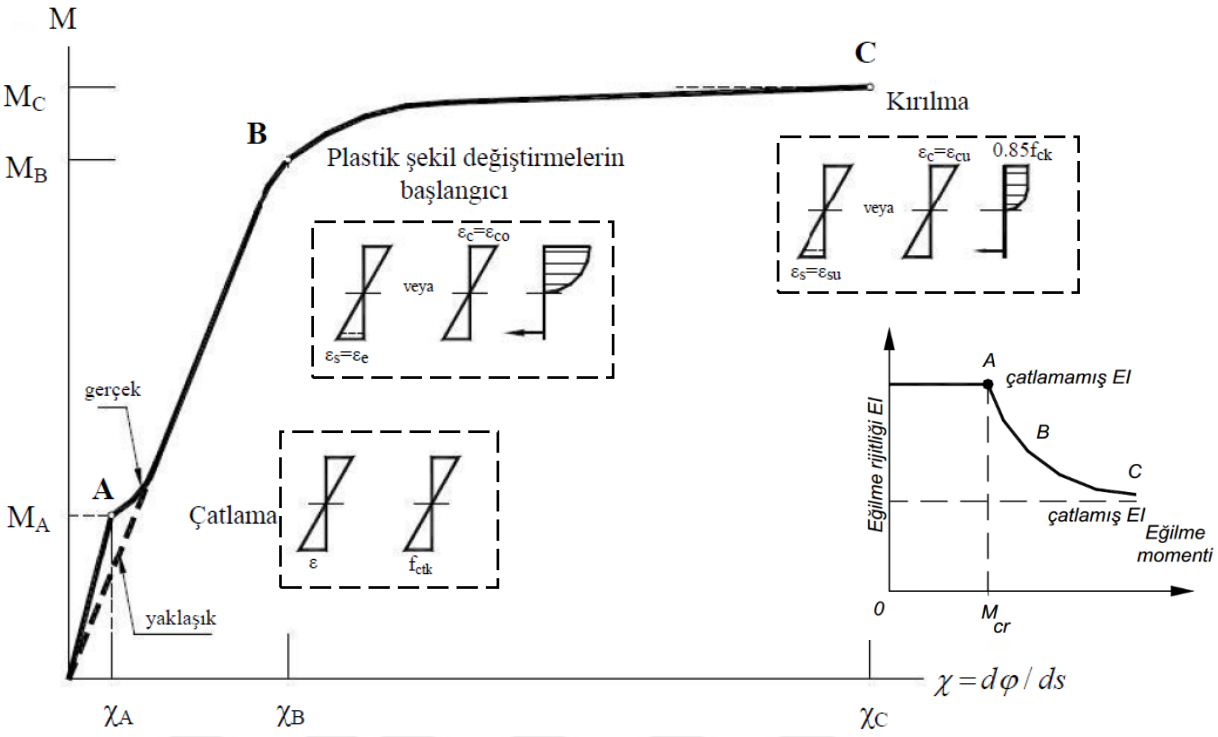
Betonarme çubuk elemanların iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarının incelenmesinde şu temel varsayımlar ve esaslar gözönünde tutulmaktadır.

- Şekil değişiminden önce düzlemsel olarak dik olan kesit, şekil değiştirdikten sonra da düzlem kalmaktadır.
- Beton ve donatı arasında tam aderans bulunmaktadır.
- Çatlamış betonun çekme dayanımı terk edilmektedir.
- Betonun σ–ε diyagramı için ideal elastoplastik malzeme varsayımı yapılmaktadır.

2.5.4.3 Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisindeki Elemanlar

a) <u>Eğilme Momenti-Eğrilik (M-χ) Bağıntısı</u>

Basit eğilme altındaki bir betonarme kesitteki eğilme momenti-eğrilik arasındaki değişim üç bölgeden oluşmaktadır. Eğilme momentinin küçük değerleri için betonda basınç ve çekme gerilmeleri meydana gelirken, donatı elastik davranır. Bütün beton kesiti davranışa etkili olduğu için donatının katkısı bu devrede sınırlı olur. Kesitin eğilme rijitliğine beton kesitinin elastiklik modülü ve brüt atalet momenti etkili olur. Momentin artmasıyla çekme bölgesindeki beton çatlar ve çatlak tarafsız eksene doğru ilerler. Çekme gerilmelerinin hemen hemen tamamı çekme donatısı tarafından karşılanır. Tarafsız eksenin altında çekme gerilmelerinin küçük olduğu bir bölge kalırsa da değerlendirmelerde ihmal edilir. Yani kesitin tamamının çatladığı kabul edilir. Betonun çatlaması moment-eğrilik değişiminde doğrusal davranıştan ilk ayrılmayı doğurur ve artan gerilmelerle birlikte doğrusal olmayan davranış belirginleşir (Şekil 2.28). Eğilme momentinin artmasıyla betonda basınç gerilmelerinin dağılışı doğrusal olmayan biçimde görülürken, donatı akma gerilmesine ulaşır. Momentin daha da artması donatıda plastik uzamalar meydana getirir. Güç tükenmesi, genelde donatının uzama kapasitesi çok büyük olduğu için betonun en büyük kısalma kapasitesine erişmesiyle ortaya çıkar [36].



Şekil 2.28 Betonarme kesitlerde moment-eğrilik diyagramı

Moment değerlerinin hesabında A noktasında beton kesitin homojen olduğu varsayılmakta ve betonun gerilme-şekil değiştirme (σ–ε) bağıntısı doğrusal-elastik olarak anılmaktadır. Bu durum beton kesitin dış çekme lifinde çatlakların başladığı durumdur. Dış çekme lifindeki normal gerilme değerinin betonun çekme dayanımına eşit olmasıyla betonda çatlakların meydana geldiği kabul edilmektedir.

B noktasında eğilme momentinin hesabında betonun çekme dayanımı hesaba katılmaz. Bu durum beton dış basınç lifinde veya çekme donatısında plastik şekil değiştirmelerin başlamasına karşı gelen durumdur. Plastik şekil değiştirmelerin betonda ε_{co}=0.002 birim kısalmasında, çelikte ise ε_y akma sınırında başladığı kabul edilmektedir.

C noktasında eğilme momenti artarak kesitin taşıma gücü adı verilen M_p değerine eşit olunca basınç bölgesindeki beton ezilerek kırılır veya çekme donatısı kopar. Basınç bölgesindeki betonun ezilerek kırılması birim kısalmanın ε_{cu} sınır değerine ulaşması suretiyle meydana gelir. Sargısız betonda kısa süreli yükler için ε_{cu}=0.0035 kabul edilen bu sınır değer, sargı donatısına bağlı olarak artmaktadır. Betonarme kesitlerin boyutlandırılmasında, çekme donatısının kopması yerine genellikle çelikte birim uzamanın ε_{su}=0.01 değeri ile sınırlandırılması esas alınır.

Moment eğrilik değişiminde yataya yakın kolun uzun olması, yani kesit güç tükenmesinin sünek olması çekme donatısının miktarına bağlıdır. Donatı oranının dengeli donatı oranından büyük olması durumunda donatı akmaya erişmeden beton en büyük kısalmasına ulaşır. Bu durumda yatay kol ortaya çıkmaz ve güç tükenmesi gevrek olur.

b) <u>Akma Eğrisi (Karşılıklı Etki Diyagramı)</u>

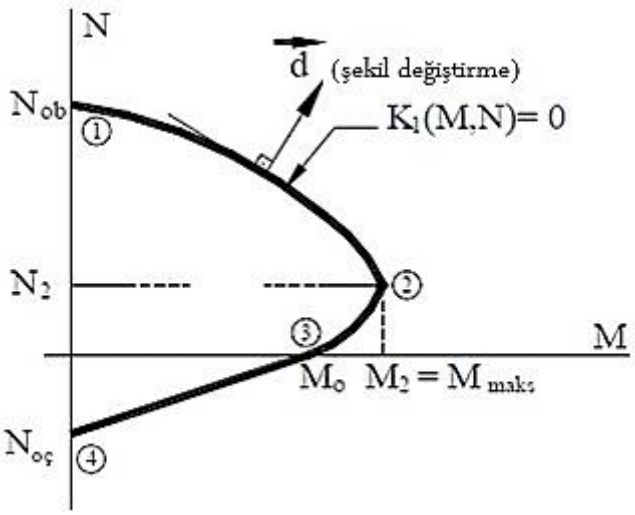
Kolonlarda eğilme momenti ve normal kuvvet beraberce ortaya çıkar ve artan yüke bağlı olarak bu kesit etkilerinin değerleri değişir. Betonarme kesitte bu etkilerin sınır değerleri beton ve donatı için kabul edilen gerilme ve şekil değiştirme sınır değerleri alınarak hesap edilebilir. Taşıma gücünü ifade eden bu eğriye *karşılıklı etki diyagramı* denir. Bu eğri Şekil 2.29'da gösterilmiştir. Karşılılı etki diyagramı üzerinde bulunan noktalar taşıma gücü açısından sınır değerler olup eğri içinde kalan değerlerin karşılanması mümkündür.

Kolon kesitinde sargı donatısının bulunması, sargı donatısı içindeki çekirdek betonunun sınırlı ölçüde dayanımını ve maksimum birim kısalma oranını da önemli ölçüde arttırır. Karşılıklı etki diyagramındaki değerlere ulaşılması taşıma gücü sınırına erişildiğini gösterir. Ancak sargı donatısı ile sünek duruma getirilen kesitin şekil değiştirmesi bakımından kapasitesine erişildiğini göstermez. Eğriyi tanımlayan değerlere ulaşıldığı zaman, yükleme ile kesit moment ve normal kuvvet değerleri sabit kalacağı gibi eğri üzerinde de hareket edebilir. Bu durumda sünek kesitte plastik şekil değişimler meydana gelir ve plastik dönme ve plastik kısalmalar görülür [36].

Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı varsayılan betonarme sistemlerde, iç kuvvet durumunun bu eğri üzerinde bulunması bir plastik kesitin oluştuğunu ve bu kesitte sonlu plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiğini (yani kesitin aktığını) ifade etmektedir. Bu nedenle, karşılıklı etki diyagramına akma eğrisi de denilmektedir.

$K_1(M,N)=0$ bağıntısı ile tanımlanan akma eğrisi N normal kuvvetinin çeşitli değerleri için hesaplanan M_p eğilme momentleri yardımı ile elde edilmektedir.

Akma eğrisi dört karakteristik noktası ile tanımlanmaktadır. Akma eğrisinin idealleştirilmesinde yararlanılabilecek olan bu noktalar eksenel basınç, basit eğilme ve eksenel çekme hallerine karşılık gelen *1, 3* ve *4* noktaları ile kesitin en büyük eğilme momenti taşıma gücüne sahip olduğu dengeli duruma karşı gelen *2* noktasıdır.



Şekil 2.29 Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramı

Bileşik eğilme etkisindeki betonarme kesitlerde, plastik şekil değiştirme bileşenlerini içeren akma vektörünün bazı koşullar altında ve yaklaşık olarak akma eğrisine dik olduğu kanıtlanmaktadır (Şekil 2.29).

2.5.5 Plastik Mafsal Hipotezi

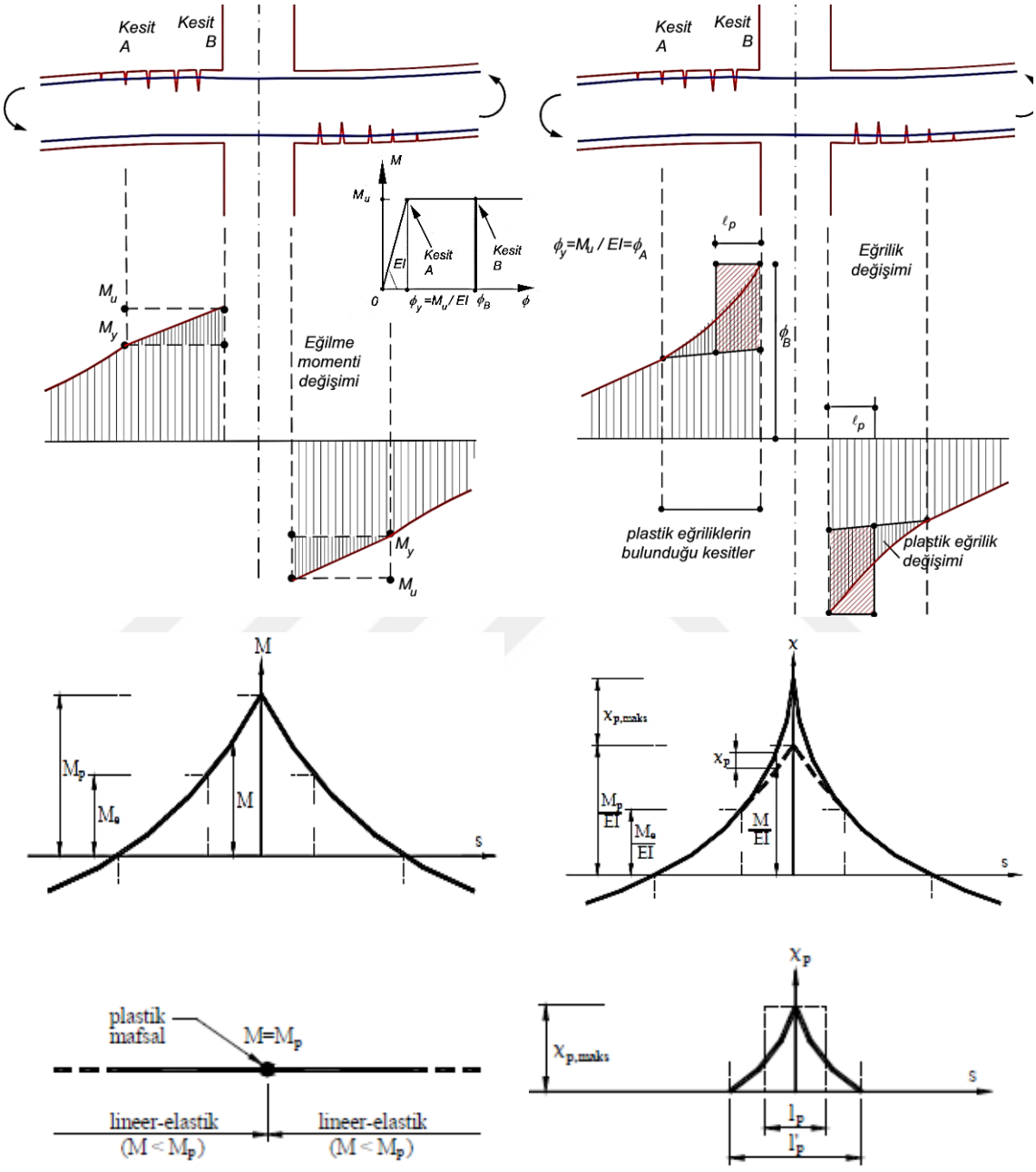
Malzeme bakımından doğrusal olmayan ve yeterli düzeyde sünek davranış gösterebilecek taşıyıcı sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, sistemin geriye kalan diğer bölümlerinin ise doğrusal-elastik davrandığı kabul edilmektedir. Kesitteki eğilme momentinin artarak M_p plastik moment değerine eşit olmasıyla mafsallaşma başlar. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti M_p değerinde sabit kalır ve kesit serbestçe döner. Plastik mafsaldaki φ_p plastik dönmesi artarak maksφ_p dönme kapasitesine erişince, oluşan hasar nedeniyle kesit kullanılamaz duruma gelebilir.

Bu teori için geliştirilmiş yığılı plastik davranış modeli malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi için geliştirilmiş olup, plastik mafsal hipotezi bu davranış modelinin özelleştirilmiş bir şeklidir. Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren taşıyıcı sistemlerde (çelik binalarda ve bazı koşullar altında betonarme binalarda) plastik mafsal hipotezi kullanılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir.

Plastik mafsal hipotezinde, çubuk elemanı üzerinde l_p uzunluğundaki bir bölgeye yayılan doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmelerin, plastik mafsal olarak tanımlanan bir

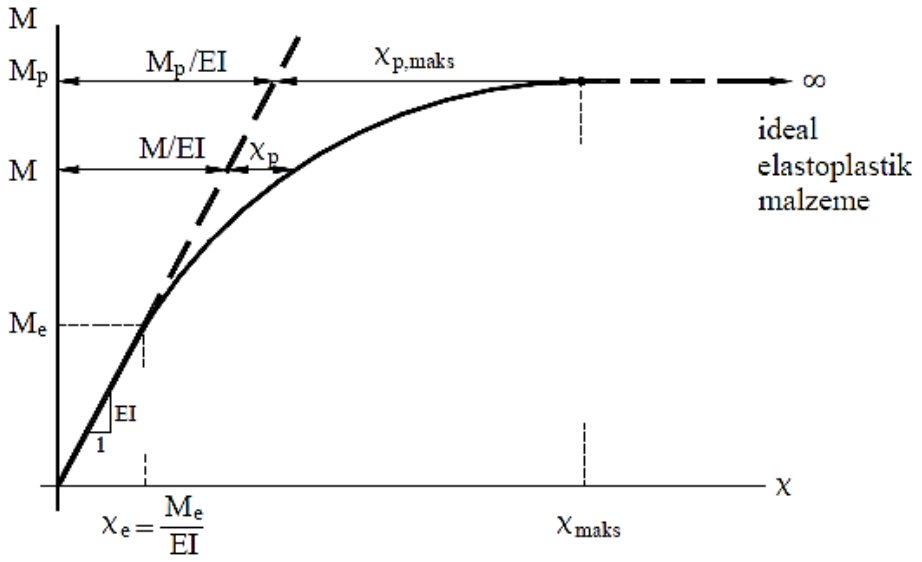
noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada, φ_p plastik mafsalın dönmesi olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\varphi_p = \int_{l_p'} \chi_p ds \tag{2.6}$$



Şekil 2.30 Mafsal bölgesi doğrusal olmayan şekil değiştirmeler [36].

Gerçek eğilme momenti-eğrilik değişiminin Şekil 2.30'da verilen bir düzlem çubuk elemanın belirli bir kesitindeki eğilme momenti, toplam eğilme şekil değiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeler görülmektedir.

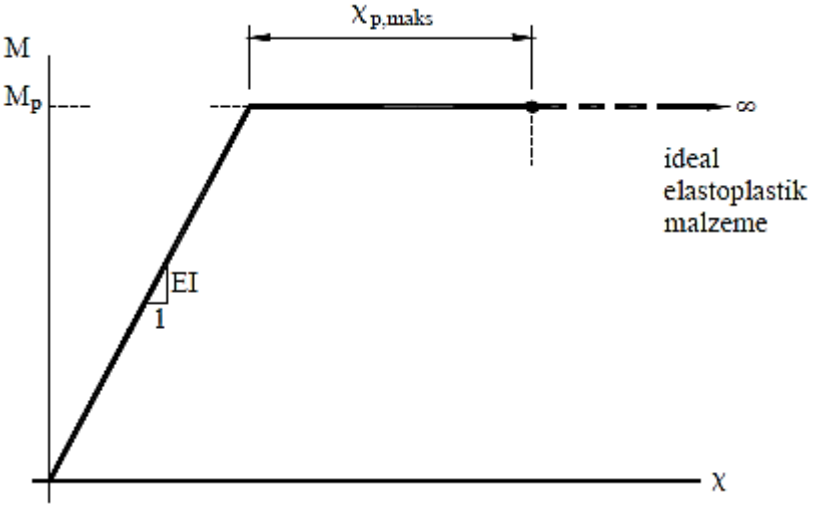


Şekil 2.31 Gerçek eğilme momenti-eğrilik diyagramı

Yukarıda verilen Şekil 2.31'de görülebilir ki akma momentinden küçük değerlerde doğrusal elastik davranış ortaya çıkarken kesitin bir kısmının plastikleşmesiyle oluşan elasto-plastik davranış doğrusal olmamakta ve asimptotik olarak plastikleşme momentine yaklaşmaktadır. Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısının idealleştirmesi, aşağıda belirtilen iki doğru parçasının birleşimine karşılık gelmektedir (Şekil 2.32).

$$M \le M_p \quad için \quad \chi = \frac{M}{EI} \tag{2.7}$$

$$M = M_p \quad için \quad \chi = \chi_{p,\max} \tag{2.8}$$



Şekil 2.32 İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik diyagramı

Meydana gelen maksimum dönme, eğilme momenti diyagramının şekline ve moment-eğrilik bağıntısına bağlı olarak aşağıdaki formülle belirlenmektedir.

$$maks\varphi_p = \int_{l_p} \chi_p ds \qquad (\chi_p \to \chi_{p,maks}) \tag{2.9}$$

Ancak bu formülün uygulanmasında da her kesit ve yükleme için çeşitlilik olması formülün uygulanmasında kolaylık oluşturmamaktadır. Bundan dolayı dönme değerinin yaklaşık olarak hesabı;

$$maks\varphi_p = l_p * \chi_{p,maks} \tag{2.10}$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada l_p , plastik plastik mafsal boyunu göstermektedir.

Herhangi bir kesitte plastik mafsalın oluşması için kesitin plastik mafsal oluşabilecek seviyede yüklenmiş olması gerekir. Artan dış yükler altında plastik mafsalın dönmesi artarak dönme kapasitesi adı verilen bir sınır değere eşit olunca, büyük plastik şekil değiştirmeler nedeniyle kesit kullanılmaz hale gelebilir. Plastik mafsal dönmesi, dönme kapasitesi adı verilen değere ulaştığı durumda plastik mafsal yapısal özelliğini kaybeder ve kesitte göçme durumu oluşur.

Performans değerlendirmesinde hasar düzeylerinin belirlenmesi, bu maksimum dönme sonucu oluşan malzeme birim şekil değişimleri ile sınır değerlerin karşılaştırılmasına dayanmaktadır.

Yapısal taşıyıcı elemanlarda plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğunun gerçeğe en yakın olarak belirlenmesi, yapısal elemanların dönme kapasitelerini etkileyen önemli değişkenlerden birisidir. Bu bölgenin uzunluğu; kesitin moment eğrilik ilişkisine, eğilme momentinin değişimine, kesit yüksekliğine ve iç kuvvetlere bağlı olarak değişmektedir.

Plastik mafsal boyunun hesaplanması için genel görüş eğilme momentinin hâkim olduğu yapısal elemanlar için eleman kesit yüksekliğinin yarısının alınmasıdır.

$$l_p = 0.5h \tag{2.11}$$

Plastik mafsal dönme kapasitesi, kesit tarafsız eksen yüksekliği, donatı ve betonun güç tükenmesi durumundaki birim uzama miktarı ve kesitteki iç kuvvet dağılımına bağlıdır.

Ek olarak, kesitte yeterli derecede sargı donatısının ve basınç donatısının bulunması kesitin dönme kapasitesini arttırmaktadır.

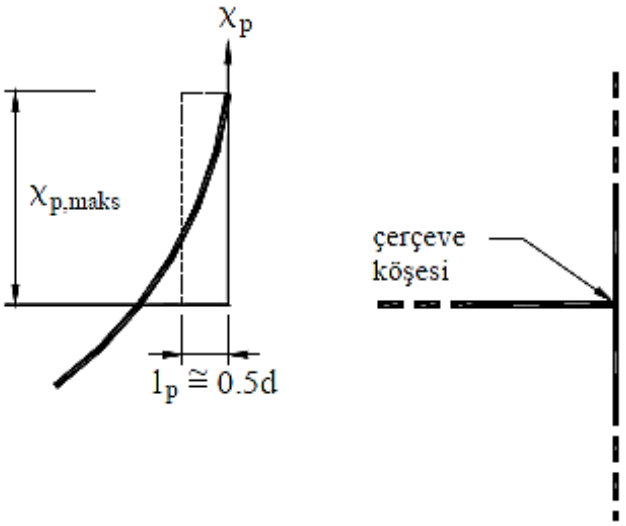
Şekil 2.33'de mafsal yerleşimi gösterilmiş olup, yapısal hesaplama aşamalarında plastik mafsalların teorik olarak plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gereklidir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen idealleştirmeler yapılabilir:

a) Kolon ve kirişlerde plastik mafsallar, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına yerleştirilebilirler. Bu durumda, düşey yük etkisiyle özellikle kirişlerin açıklık bölgelerinde plastik mafsalların oluşma olasılığının artacağı unutulmamalıdır.

b) Betonarme perdelerde plastik mafsallar, her katta perde kesitinin alt ucuna yerleştirilebilir. U,T,L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek bir perdeymiş gibi idealleştirilebilir.

c) Plastik mafsal akma yüzeylerinin modellenmesi aşamalarında, donatı çeliğindeki pekleşme etkisi gözardı edilebilir. Ancak, bu kabulle birlikte plastik şekil değiştirme sırasında oluşacak iç kuvvetlerin akma yüzeyi veya düzlemi içinde kaldıkları ve plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık dik olduğu koşullarının da kabul edilmiş olacağı unutulmamalıdır.

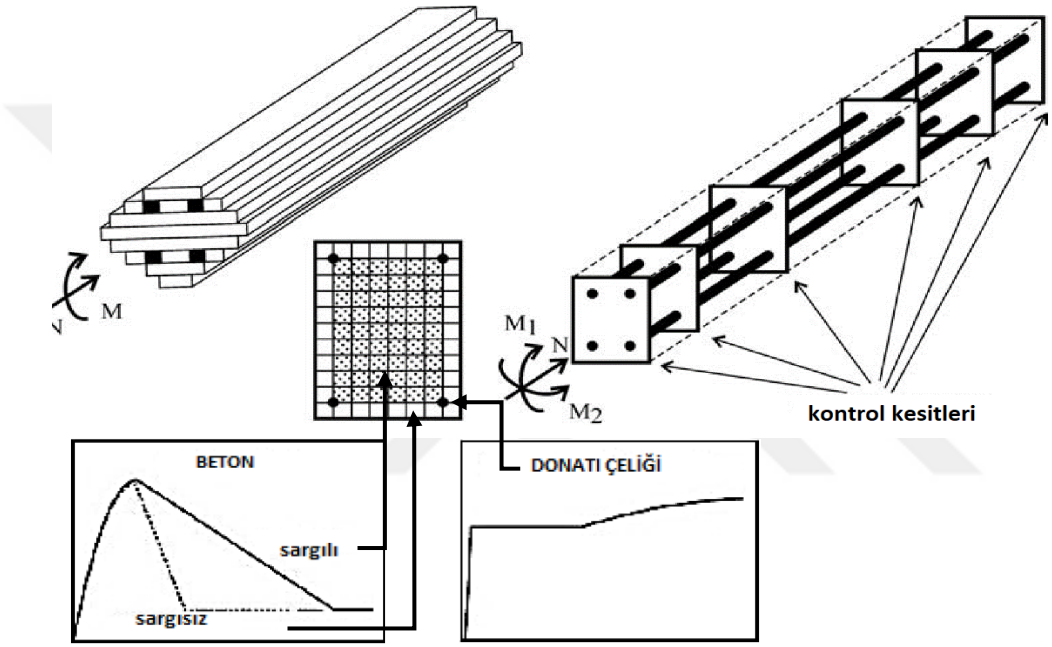
d) Pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumunda, oluşan iç kuvvetlerin ve şekil değiştirmelerin sağlaması gereken koşullar, uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanmalıdır.



Şekil 2.33 Plastik mafsal boyu

2.5.6 Yayılı (Fiber) Plastik Davranış

Yayılı plastik davranış modelinde kesit sonlu eleman ağı şeklinde tanımlanmakta ve kesitteki her bir lif elemanının tek doğrultudaki gerilme–şekil değiştirme ilişkisi (σ-ε) belirlenmektedir. Kesitteki plastikleşme eleman boyunca belirlenmiş olan kontrol kesitleri ile belirlenmektedir. Kesitteki her bir lif elemanın her adımdaki gerilme-şekil değiştirme ilişkisinden gerilmeler ve şekil değiştirmeler toplanıp, plastik mafsal boyuyla çarpılarak kesittin eksenel kuvvet-deformasyon ve moment-dönme ilişkileri elde edilmektedir (Şekil 2.34).



Şekil 2.34 Lifli eleman davranışı

Yayılı plastik davranış modellerinde plastikleşmenin belli bölgelerde alındığı kabulü gerçek davranıştan biraz sapmalara sebep olsa da kesitteki plastikleşmenin ve plastikleşme ile oluşan yük paylaşımının daha dengeli ve gerçekçi olduğu görülmektedir. Ayrıca bu modellerde yüksek kesme kuvvetleri ile bükülme ve eksenel etkileşimler arasındaki ilişkilerinin tanımlanabilme avantajı vardır.

Özellikle çevrimsel yüklemelere maruz kalan perde elemanlar için bulunan sonuçların gerçek davranışa çok yakın olduğu görülmüştür. Ancak bu modellemede dikkat edilmesi gereken bir durum yüksek gerilme değerlerinde kritik olan makaslama etkisinin dikkate alınmamasıdır.

BÖLÜM 3

BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN TBDY2016'A GÖRE DOĞRUSAL ANALİZİ VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

3.1 Giriş

TBDY2016 taslak yönetmeliğinde belirtilen yükseklik tanımı esas alınarak aşağıda belirtilen binalar yüksek bina olarak tanımlanır ve BYS=1 olarak sınıflandırılır.

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

b) DTS=3, 3a için yüksekliği $H_N > 91$ m olan binalar

c) DTS=4, 4a için yüksekliği $H_N > 105$ m olan binalar

Yüksek bina taşıyıcı sistemleri, yönetmelikte verilen tanımlara göre süneklik düzeyi yüksek sistem olarak düzenlenecektir. Süneklik düzeyi sınırlı ve süneklik düzeyi karma sistemlere izin verilmez. Birbirine dik doğrultularda taşıyıcı sistemlerin *süneklik düzeyleri*'nin aynı olması zorunludur.

Yüksek bina taşıyıcı sistemleri, yönetmelikte ***A12, B12, A13, A14, A15*** simgeleri ile tanımlanan betonarme veya ***C12, C14, C1*5** simgeleri ile tanımlanan çelik taşıyıcı sistemlerden oluşturulacaktır. Bu sınıflandırmanın tez çalışmasını ilgilendiren kısmı Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinde betonarme perdelerin kalınlığı 300 mm'den daha az olmayacaktır.

Binanın kullanım amaçlarına göre belirlenen sınıflandırma ve katsayıları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu katsayının kullanımının amacı, daha fazla önem arz eden binaların daha büyük kuvvet değerlerine göre tasarlanması ve daha güvenlikli olmasını sağlamaktır.

Çizelge 3.1 Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

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

Bina Kullanım Sınıfları'na ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısına bağlı olarak, yönetmelikte deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak Deprem Tasarım Sınıfları (DTS), Çizelge 3.2'ye göre belirlenecektir. Çalışmada kullanılan deprem tasarım sınıfı DTS=1 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.2 Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

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

Deprem etkisi altında tasarımda binalar yükseklikleri bakımından sekiz Bina Yükseklik Sınıfı'na (BYS) ayrılmıştır. Bu sınıflara giren binalar için tanımlanan yükseklik aralıkları, deprem tasarım sınıflarına bağlı olarak Çizelge 3.3'de verilmiştir. BYS = 1 olarak belirtilen binalar Bölüm 13'e göre yüksek binalar olarak sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 3.3 BYS ve DTS'ye göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları

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

Dayanıma Göre Tasarım çerçevesinde bu bölümde verilen hesap esaslarının uygulanabileceği bina taşıyıcı sistemleri ve İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları (BYS), süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler için, Çizelge 3.4'de verilmiştir. Yüksek binalar (BYS=1) için taşıyıcı sistemler ve hesap esasları, yönetmelikte Bölüm 13'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Bina taşıyıcı sistemleri için izin verilen bina yükseklik sınıfları

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
A12. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 2
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından karşılandığı binalar	8	2.5	BYS ≥ 2
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen süneklik düzeyi yüksek betonarme kolonlar tarafından karşılana tek katlı binalar	3	2	–

3.2 Deprem Etkisinin Tanımlanması

3.2.1 Deprem Düzeyleri

Yüksek binaların performansa göre tasarımında esas alınacak deprem düzeyleri aşağıda verilmiştir.

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

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

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

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

3.2.2 Deprem Tasarım Spektrumları

Belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulları ve %5 sönüm oranı esas alınarak kısa periyot ve 1.0 saniye periyot için doğal titreşim periyoduna karşı gelen harita spektral ivme değerleri S_s ve S_1 değerleri EK-A'da verilen deprem tehlike haritalarından alınabilir. Aynı deprem yer hareketi düzeyi için Çizelge 3.5/6'dan alınan harita spektral ivme katsayıları, faya yakınlık katsayısı ve yerel zemin etki katsayısı dikkate alınarak aşağıdaki gibi tasarım spektral ivme spektral katsayılarına dönüştürülür.

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

$$S_{D1} = S_1 * \gamma_f * F_1 \tag{3.2}$$

Faya yakınlık katsayısı sadece DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerinde S_{D1}'e uygulanmak üzere, aktif fay düzlemlerine 25 km ve daha az mesafedeki konumlar için aşağıdaki formulasyon ile tanımlanmıştır. DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketi düzeyleri için bu katsayı 1.0 alınacaktır. (L_F: Fay düzlemine olan mesafe [km])

$$\gamma_f = 1.2 \quad L_F \leq 15.km \tag{3.3}$$

$$\gamma_f = 1.2 - 0.02*(L_F - 15) \quad 15km < L_F \leq 25km \tag{3.4}$$

Çizelge 3.5 Kısa periyod bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

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

Çizelge 3.6 1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyod için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

Yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden tanımlanmıştır (Şekil 3.1).

T_A ve T_B aşağıdaki denklem ile S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak verilmiştir.

$$T_A = 0.2*\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.5}$$

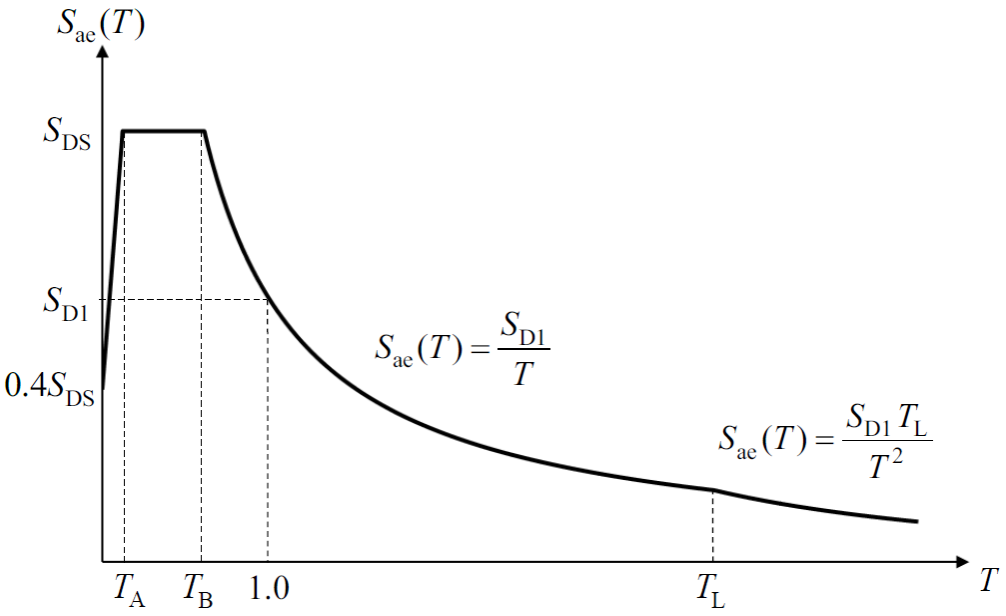
Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu T_L = 6 saniye olarak alınacaktır.

$$S_{ae}(T) = (0.4 + 0.6 * \frac{T}{T_A}) * S_{DS} \qquad 0 \le T \le T_A$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \qquad T_A \le T \le T_B \qquad (3.6)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \qquad T_B \le T \le T_L$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} * T_L}{T^2} \qquad T_L \le T$$



Şekil 3.1 Yatay elastik deprem spektrumu

Yönetmelikte DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=2a olarak sınıflandırılan ve aşağıdaki elemanları içeren binalarda düşey deprem etkisinin alınmasında düşey deprem spektrumunun kullanımını zorunlu kılmaktadır.

a) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalar

b) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsolları içeren binalar

c) Kirişlere oturan kolonları içeren binalar

Bunun dışındaki taşıyıcı sistem kısımlarında ve tanımın dışında kalan binalarda düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$, özel bir hesap yapılmaksızın, Denk. (3.7) ile yaklaşık hesaplanabilir.

$$E_d^{(Z)} = (2/3) * S_{DS} * G \qquad (3.7)$$

3.2.3 Zaman Tanım Alanında Deprem Etkisi

Çalışmada ele aldığımız binaların, ülkemizde yüksek binaların çokça olduğu İstanbul ili sınırlarında olduğunu kabul ettiğimizden kayıtların seçilmesi ve ölçeklendirilmesinde hem TBDY2016 (taslak) hem de İYBDY-2008 yönetmelik esaslarının sağlanması gerekmektedir. Bundan dolayı aşağıda her iki yönetmeliği de kapsayacak şekilde kurallar özetlenmiştir.

- Zaman tanım alanında yapılacak analizlerde, aşağıda belirtilen koşullara sahip, her biri birbirine dik iki yatay bileşen ivme kaydına sahip olmak üzere en az on bir deprem kaydı takımı seçilecektir.
- Aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısı üçü geçmeyecektir. Yeterli sayı veya nitelikte deprem kaydı seçiminin yapılamadığı durumlarda, zaman tanım alanında benzeştirilmiş yer hareketi kayıtları kullanılabilir. Bu tür kayıtların kullanılması durumunda, binanın bulunduğu sahanın sismik kaynak, dalga yayılım ve yerel zemin özellikleri gözönüne alınacaktır. Benzeştirme işleminde kullanılan parametrelerin, geçmiş depremlerde kaydedilmiş gerçek deprem kayıtları ile doğrulanması gerekmektedir.
- Doğrusal olmayan analizler spektrum şekline ve yer hareketinin faz özelliklerine bağlı olmaktadır. Bu açıdan spektrum uyumlu olarak üretilmiş yapay deprem yer hareketlerinin faz spektrumunun senaryo depremi parametreleri ile uyumlu gerçek bir depremden elde edilmiş ivme kayıtlarının faz spektrumuna benzemesi gereklidir.
- Her bir deprem yer hareketi takımı için senaryo depremi parametreleri ile uyumlu gerçek bir depremden elde edilmiş ivme kayıtları kullanılacaktır. İstanbul ili için bu ivme kayıtların seçiminde yanal atılımlı deprem kaynak mekanizması, $7.0 < M_W < 7.5$ arası deprem moment büyüklüğü, deprem uzaklığı olarak bina konumu ile Ana Marmara Fay Hattı arasındaki en kısa mesafe ve B veya C zemin sınıfı esas alınacaktır.
- Bir veya iki boyutlu hesap için seçilen tüm kayıtlara ait spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları (T_p: Binanın hâkim doğal titreşim periyodu) arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyod aralığındaki genliklerinden daha

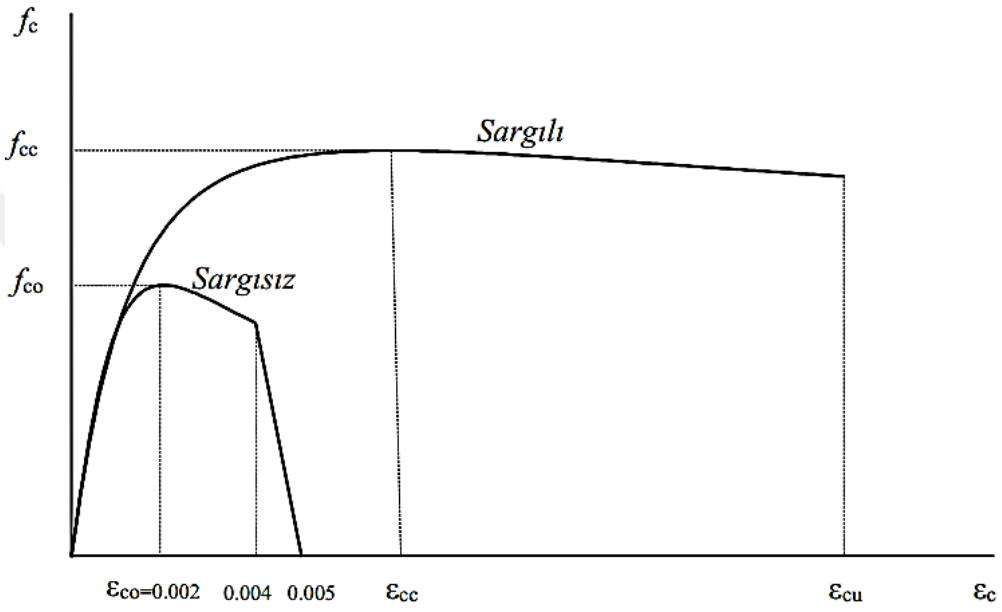
küçük olmaması kuralına göre, deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir.

- Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları (T_p: Binanın hâkim doğal titreşim periyodu) arasındaki genliklerinin tasarım spektrumunun aynı periyod aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir. Bu periyot aralığı yalıtımlı binalar için değişebilir. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile yapılacaktır.
- Serbest zemin analizinde kullanılacak deprem kayıtlarının veya kayıt takımlarının yukarıdaki maddelere göre ölçeklendirilmesinde, bina hâkim doğal titreşim periyodunun üst sınırı $2T_p$ olarak alınacaktır.
- Yapılacak deprem yer hareketi simülasyonları faylanma mekanizması yırtılma özellikleri, deprem kaynağı ve kayıt istasyonu arasındaki ortamın jeolojik yapısını gözönüne alan fiziksel bir modele dayalı olmalıdır. Doğrultu etkilerinin gözönüne alınması amacıyla, bina konumu ile Ana Marmara Fay Hattı arasındaki en kısa mesafenin 15 km'den daha az olduğu durumlarda en az üç deprem yer hareketi takımı simülasyona dayalı olarak belirlenecektir.
- Her bir yer hareketi takımından hesaplanan 0 saniye periyodundaki %5 sönümlü spektral genliklerin ortalaması, tasarım spektrumunun 0 saniye periyodundaki spektral genliğinden ($0.4*S_{DS}$) daha düşük olmamalıdır.
- Bir deprem kaydının genliğinin ±0.5g 'yi ilk ve son olarak aştığı iki nokta arasında kalan süre, yapının birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır.

3.3 Malzeme Karakteristikleri

3.3.1 Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri

TBDY2016 taslak yönetmeliğinde doğrusal olmayan yöntemler ile şekil değiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmak üzere, sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme bağıntıları tanımlanmıştır. Analiz modellerinde malzeme idealleştirmeleri yapılmayıp formülasyonlar ile tanımlanan detaylı modeller kullanılmıştır.



Şekil 3.2 Beton gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Şekil 3.2'de görülebilir ki sargılı beton için verilen eğrinin ε_c=0.004'e kadar olan bölümü sargısız beton için de geçerlidir. Sargısız betonda etkin sargılama basıncı olmadığından dolayı buna bağlı olarak hesaplanan ek dayanım artışı da yoktur ($f_{cc}=f_{co}$ ve $\varepsilon_{cc}=\varepsilon_{co}$). ε_c=0.005'de f_c=0 olarak tanımlanır. $0.004 < \varepsilon_c \leq 0.005$ aralığında gerilme–şekil değiştirme ilişkisi doğrusaldır.

3.3.2 Donatı Çeliği Modeli

Doğrusal olmayan yöntemler ile şekil değiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmak üzere, donatı çeliği için aşağıdaki gerilme-şekil değiştirme bağıntıları tanımlanmış ve bu formüller esas alınarak oluşturulan model Şekil 3.3'de verilmiştir. Analiz modelinde bu tanımlama kullanılmaktadır.

$$f_s = E_s * \varepsilon_s \quad \varepsilon_s \le \varepsilon_{sy} \tag{3.8}$$

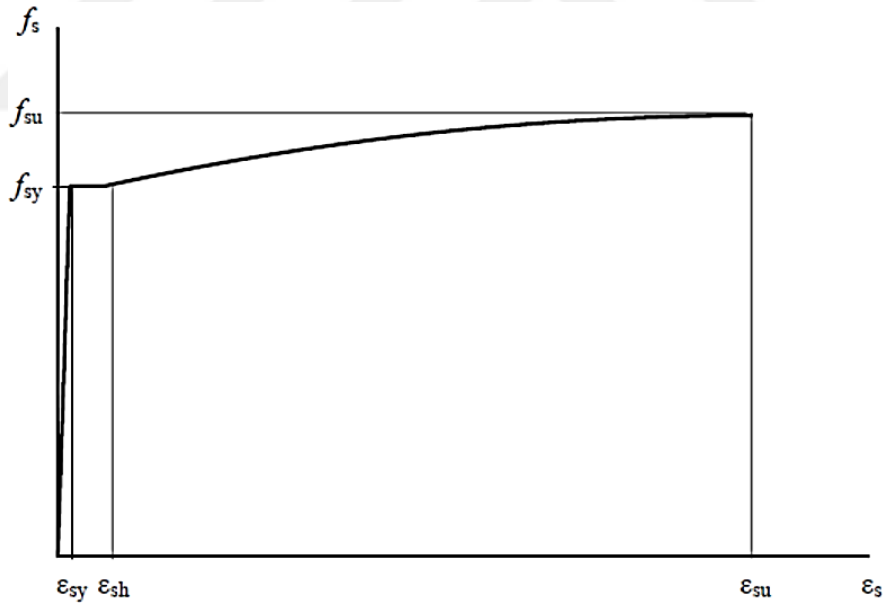
$$f_s = f_{sy} \quad \varepsilon_{sy} \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{sh} \tag{3.9}$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) * \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad \varepsilon_{sh} \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{su} \tag{3.10}$$

Donatı çeliğinin elastiklik modülü $E_s = 2x10^5$ MPa'dır. Donatı çeliklerine ait diğer bilgiler Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Donatı çeliklerine ait bilgiler

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} (Mpa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	550
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	675



Şekil 3.3 Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme diyagramı

3.4 Doğrusal Analiz ve Tasarım

Bu kısımda binaların Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ile tasarımı için kullanılacak doğrusal hesap esasları açıklanmıştır. Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımında aşağıda belirtilen maddeler uygulanarak bina detayları belirlenmektedir.

a) Öngörülen belirli bir performans hedefi için tanımlanan taşıyıcı sistem süneklik kapasitesine karşı gelen azaltılmış deprem yükleri belirlenir.

Yatay doğrultuda azaltılmış deprem yüklerinin belirlenmesi için kullanılacak azaltılmış tasarım ivme spektrumu aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \tag{3.11}$$

Burada $S_{ae}(T)$, DD-2 deprem yer hareketi için Denk. (3.6) ile belirlenen yatay elastik tasarım spektral ivmesini göstermektedir.

R_a, deprem yükü azaltma katsayısı, taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönünde bulundurmak için kullanılır. R_a , deprem yükü azaltma katsayısı doğal titreşim periyodu T 'ye, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R 'ye ve dayanım fazlalağı katsayısı D'ye bağlı olarak aşağıda şekilde hesaplanmaktadır.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \qquad T > T_B \tag{3.12}$$

$$R_a(T) = D + (\frac{R}{I} - D) * \frac{T}{T_B} \qquad T \le T_B \tag{3.13}$$

b) Bu hesaptan bulunan eleman azaltılmış iç kuvvetleri, gerekli durumlarda dayanım fazlalığı da dikkate alınarak, diğer yüklerden oluşan iç kuvvetlerle birleştirilerek dayanım talepleri elde edilir.

c) Eleman dayanım talepleri, öngörülen performans hedefi için tanımlanmış bulunan eleman iç kuvvet kapasiteleri (dayanım kapasiteleri) ile karşılaştırılır.

d) Deprem hesabından elde edilen göreli kat ötelemeleri izin verilen sınırlarla karşılaştırılır.

e) Dayanım taleplerinin dayanım kapasitelerinin altında olduğu ve aynı zamanda göreli kat ötelemelerinin izin verilen sınırların altında olduğu gösterilerek tasarım tamamlanır. Aksi durumda eleman kesitleri değiştirilir ve hesap tekrarlanarak sonuca gidilir.

Yönetmelikte izin verilen tüm binalarda Çizelge3.12'de normal performans hedefi olarak tanımlanan Can Güvenliği (CG) performans hedefini sağlamak üzere, DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında burada verilen hesap esasları ile deprem hesabı yapılacaktır.

Çalışma içerisinde verilen Çizelge 3.12'ye göre DTS=1a, DTS=2a ve BYS=2, BYS=3 olan binalarda, DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında I=1.5 alınarak bu bölümdeki DGT hesap esasları ile yapılan tasarım bir ön tasarım olarak gözönüne alınacaktır.

Ön tasarımı yapılan bina taşıyıcı sistemi bu kez DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında Çizelge 3.12'de ileri performans hedefi olarak tanımlanan Can Güvenliği (CG) performans hedefini ve ayrıca DD-3 depremi altında Hemen Kullanım (HK) performans hedefini sağlamak üzere Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı ile değerlendirilecek ve gerekli olması durumunda tasarım iyileştirilecektir.

3.4.1 Eşdeğer Deprem Yükü

Eşdeğer deprem yüklemesinde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) Denk. (3.14)'de verilen şekilde hesaplanır.

$$V_{tE}^{(x)} = m_t * S_{aR}(T_p^{(x)}) \geq 0.04 * m_t * I * S_{DS} * g \qquad (3.14)$$

Burada S_{aR} ($T_p^{(X)}$), gözönüne alınan (X) deprem doğrultusunda Denk. (3.15)'de hesaplanan binanın hâkim doğal titreşim periyodu $T_p^{(X)}$ gözönüne alınarak hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivmesini göstermektedir. S_{DS} ise kısa periyod bölgesi için tanımlanan tasarım spektral ivme katsayısıdır.

(X) deprem doğrultusunda binanın hâkim doğal titreşim periyodunu ifade eden $T_p^{(X)}$, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır. Hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu, saniye biriminde $0.04H_N$ değerinden daha uzun alınmayacaktır.

$$T_p^{(X)} = 2\pi * \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i * (d_{fi}^{(X)})^2}{\sum_{i=1}^{N} F_{fi}^{(X)} * (d_{fi}^{(X)})^2} \right)^{0.5} \qquad (3.15)$$

m_i i'inci kat döşemesinin toplam kütlesini, m_t ise binanın toplam kütlesini, N ise toplam kat adedini göstermektedir. Kütle hesaplanmasında kullanılan g_i , zati yükleri, q_i hareketli yükleri, n ise hareketli yük katılım katsayısını göstermektedir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8 Hareketli yük kütle katılım katsayısı

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

$$m_t = \sum_{i=1}^{N} m_i = \sum_{i=1}^{N} g_i + nq_i \tag{3.16}$$

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri aşağıda Denk. (3.17)'de verildiği gibi hesaplanır.

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) * \frac{m_i * H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j * H_j} \tag{3.17}$$

ΔF_N, binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen eşdeğer deprem yükünü, H_i ise binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliğini (binada rijit bodrum katları var ise zemin üstünden yüksekliğini) göstermektedir.

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 * N * V_{tE}^{(X)} \tag{3.18}$$

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabildiği binalar Çizelge 3.9'da tanımlanmıştır. Belirtilen sınırlar içinde yüksek yapılar (BYS=1) olmadığından bu yöntem hesapları kullanılmaz. Ancak yönetmelik mod birleştirme yönteminin kullanılmasıyla beraber bulunan taban kesme kuvvetinin, eşdeğer deprem yükü ile bulunacak değer ile karşılaştırılmasını gerekli görmektedir.

Çizelge 3.9 Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS ≥ 4	BYS ≥ 5
Diğer tüm binalar	BYS ≥ 5	BYS ≥ 6

3.4.2 Mod Birleştirme Yöntemi

Mod birleştirme yönteminde maksimum iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir. Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yerdeğiştirme ve göreli kat ötelemesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her titreşim modu için hesaplanan ve eş zamanlı olmayan maksimum katkıların istatiksel olarak birleştirilmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir.

a) T_m/T_n olmak üzere, gözönüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_m/T_n<0.80$ koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için karelerin toplamının kare kökü (SRSS) kuralı uygulanabilir.

b) Yukarıdaki belirtilen koşulun sağlanamaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için tam karesel birleştirme (CQC) kuralı uygulanacaktır. Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak çapraz korelasyon katsayılarının hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır.

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda mod birleştirme yöntemine göre elde edilen deprem yükünün, eşdeğer deprem yükü yöntemiyle elde edilen deprem yükünden küçük olması durumunda, mod birleştirme yöntemine göre elde edilen deprem yükü aşağıda verilen formülasyona göre büyütülecektir.

$$\beta_{tE}^{(X)} = \frac{\gamma_E * V_{tE}^{(X)}}{V_{tx}^{(X)}} \geq 1.0 \qquad (3.19)$$

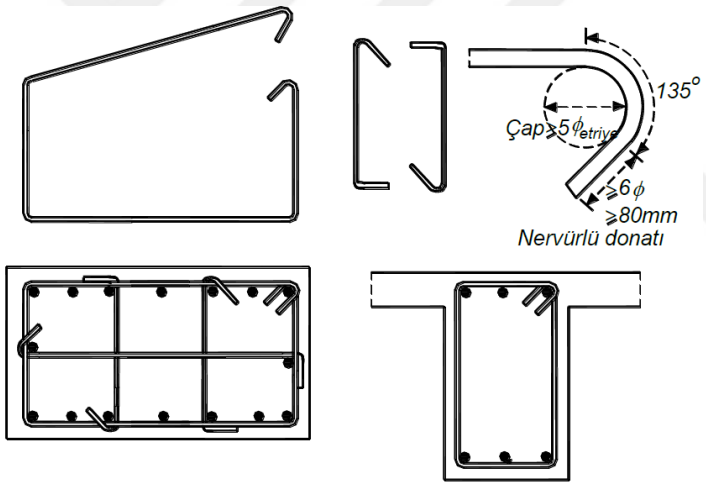
Binada A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerinin en az birinin bulunması durumunda $\gamma_E = 0.90$ alınacak, düzensizliklerden hiçbirinin binada bulunmaması durumunda $\gamma_E = 0.80$ alınacaktır.

Yatay deprem doğrultularında alınacak yeterli mod sayısı, her bir mod için hesaplanan *taban kesme kuvveti modal etkin kütleleri*'nin toplamının bina toplam kütlesinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir. Ancak katkısı %5'ten büyük olan bütün modlar gözönüne alınacaktır.

3.4.3 Bina Elemanlarının Tasarımı

Yönetmelik taslağına göre betonarme binalarda C25'den daha düşük dayanımlı beton kullanılmadığı gibi C80'den daha yüksek olan betonarme binalar kapsam dışında tutulmuştur. Eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemleriyle yapılacak taşıyıcı sistem hesabında sonraki bölümlerde verilen taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır. Betonarme elemanların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında ve donatı hesaplarında TS500'de verilen kabuller, betonda oluşan gerilme dağılımı ve elastisite modülünün kullanılması zorunludur.

Süneklik düzeyi yüksek veya süneklik düzeyi sınırlı olan tüm betonarme sistemlerin kolonlarında, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde kullanılan etriyeler özel deprem etriyesi, çirozlar ise özel deprem çirozu olarak düzenlenecektir. Özel deprem etriye ve çirozlar Şekil 3.4'de temsili gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Özel deprem etriye ve çirozları

3.4.3.1 Süneklilik Düzeyi Yüksek Kirişlerin Tasarımı

Kolonlarla birlikte çerçeve oluşturan veya perdelerle kendi düzlemleri içinde bağlanan kirişlerin en kesit boyutlarına ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir.

- Kiriş gövde genişliği en az 250 mm olacaktır. Kiriş gövde genişliği, kiriş yüksekliği ile kirişin birleştiği kolon veya perdenin kirişe dik genişliğinin toplamını geçmeyecektir.
- Kiriş yüksekliği, döşeme kalınlığının 3 katından ve 300 mm'den daha az olmayacaktır. Ayrıca, kiriş yüksekliği kiriş gövde genişliğinin 3.5 katından fazla olmayacaktır.

- Kiriş yüksekliği, serbest açıklığın 1/4'ünden daha fazla olmamalıdır. Aksi durumda kiriş gövdesinin her iki yüzüne, kiriş yüksekliği boyunca boyuna gövde donatısı konulacaktır. Gövde donatısı çapı 12 mm'den az, aralığı ise 300 mm'den fazla olmayacaktır. Kiriş yüksekliği boyunca 600 mm'yi ve kiriş ekseni boyunca 400 mm'yi geçmeyen aralıklarla yatay gövde çirozları konulacaktır.

- Kiriş genişliği ve yüksekliği ile ilgili olarak yukarıda belirtilen sınırlamalar, kolonlara mafsallı olarak bağlanan betonarme kirişler, bağ kirişli (boşluklu) perdelerin bağ kirişleri ve düğüm noktaları dışında saplanan ikincil kirişler için zorunlu değildir.

- Kiriş mesnetlerinde çekme donatısı minimum oranı için aşağıdaki koşula uyulacaktır.

$$\rho \geq 0.6 * f_{ctk} / f_{yk} \tag{3.20}$$

- Deprem Tasarım Sınıfı; DTS=1, 1a ve DTS=2, 2a olan taşıyıcı sistemlerde, kiriş mesnedi alt donatısı, aynı mesnetteki üst donatının %50'sinden daha az olamaz. Ancak, diğer durumlarda bu oran %30'a indirilebilir.

- Açıklık ve mesnetlerdeki çekme donatısı oranı TS500'de verilen maksimum değerden ve %2'den fazla olmayacaktır.

- Kirişlerde enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti, V_e, depremin soldan sağa veya sağdan sola etkimesi durumları için aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

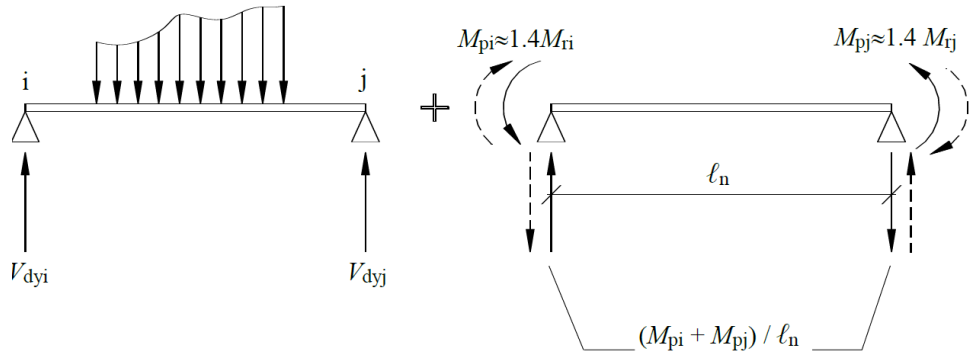
$$V_e = V_{dy} + (M_{pi} + M_{pj}) / \ell_n \tag{3.21}$$

- Kiriş uçlarındaki moment kapasiteleri, $M_{pi} \approx 1.4 * M_{ri}$ ve $M_{pj} \approx 1.4 * M_{rj}$ olarak alınabilir. Düşey yükler ile birlikte depremden hesaplanan D ile artırılmış kesme kuvvetinin toplamının, Denk. (3.21) ile hesaplanan V_e'den küçük olması durumunda, V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılacaktır.

- Hesaplanan kesme kuvveti, V_e, aşağıda verilen koşulları sağlayacaktır. Denk. (3.23) koşulun sağlanamaması durumunda, kesit boyutları gerektiği kadar büyültülerek deprem hesabı tekrarlanacaktır.

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

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



Şekil 3.5 Kirişlerde tasarım kesme kuvvetini oluşturan etkiler

- Kiriş enine donatısının hesabında, betonun kesme dayanımına katkısı, V_c , TS500'e göre belirlenecektir. Kiriş sarılma bölgelerindeki enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması halinde, betonun katkısı V_c=0 alınacaktır.

3.4.3.2 Süneklilik Düzeyi Yüksek Kolonların Tasarımı

- Dikdörtgen kesitli kolonların enkesit boyutu 300 mm'den küçük olmayacaktır.
- Kolonun brüt enkesit alanı, N_{dm} , TS498'e göre alınan düşey yükler ve depremin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü olmak üzere, $A_c \geq N_{dm} / (0.4 * f_{ck})$ koşulunu sağlayacaktır.
- Kolonlarda boyuna donatı alanı, brüt kesitin %1'inden az, %4'ünden daha büyük olmayacaktır. Kolonlarda ϕ14 den daha ince donatı kullanılmayacaktır. Bindirmeli ek yapılan kesitlerde toplam boyuna donatı oranı %6'yı geçmeyecektir.
- Etriyeli kolonlarda $N_d > 0.2 * A_c * f_{ck}$ olması durumunda, sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatı alanı, aşağıdaki koşulların elverişsiz olanını sağlamalıdır. Kolonun çekirdek boyutu b_k, her iki doğrultu için gözönüne alınacaktır.

$$A_{sh} \geq 0.3 * s * b_k * \left[\left(A_c / A_{ck} \right) - 1 \right] * \left(f_{ck} / f_{ywk} \right) \quad (3.24)$$

$$A_{sh} = 0.075 * s * b_k * \left(f_{ck} / f_{ywk} \right) \quad (3.25)$$

- $N_d \leq 0.2 * A_c * f_{ck}$ olması durumunda, kolon sarılma bölgelerinde Denk. (3.24) ve Denk. (3.25) ile verilen enine donatıların en az 2/3'ü kullanılacaktır.

- Sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından %20 daha büyük olacaktır.

$$(M_{ra} + M_{rü}) \geq 1.2 * (M_{ri} + M_{rj}) \quad (3.26)$$

Ancak düğüm noktasına birleşen kolonların her ikisinde $N_d \leq 0.1 * A_c * f_{ck}$ olması durumunda, tek katlı binalarda ve çok katlı binaların kolonları üst kata devam etmeyen düğüm noktalarında ve kirişlerin saplandığı perdenin zayıf doğrultuda kolon gibi çalışması durumunda bu koşulun sağlanıp sağlanılmadığına bakılmayacaktır.

- Kolon enine donatı hesabındaki kesme kuvveti V_e aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$V_e = (M_a + M_{ü}) / \ell_n \quad (3.27)$$

Denk. (3.26)'da verilen koşulun sağlanmadığı durumlarda M_a ve $M_{ü}$ hesaplanması için Denk. (3.28)'de verilen hesaplamalar kullanılabilir.

$$M_{pa} \cong 1.4 * M_{ra} \quad ve \; M_{ra} \cong 1.4 * M_{rü} \quad (3.28)$$

- Denk. (3.27) 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 aşağıda verilen koşulu sağlayacaktır.

$$V_e \leq 0.85 * A_w * \sqrt{f_{ck}} \quad (3.29)$$

- Kolon enine donatı hesabında, betonun kesme dayanımına katkısı, V_c , TS500'e göre belirlenecektir. Sarılma bölgelerindeki enine donatı hesabında, sadece depremden oluşan kesme kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından büyük ve $N_d \leq 0.05 * A_c * f_{ck}$ olması durumunda betonun katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

3.4.3.3 Süneklilik Düzeyi Yüksek Perdelerin Tasarım

- Perdenin boşluklar çıkarıldıktan sonra kalan net enkesit alanı, N_{dm} düşey yükler ve deprem yüklerinin *G+Q+E* ortak etkisi altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü olmak üzere $A_c \geq N_{dm} / (0.25 * f_{ck})$ koşulunu sağlayacaktır.

- Perdeler, planda uzun kenarının kalınlığına oranı en az yedi olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Özel durumlar dışında, perde gövde bölgesinin kalınlığı kat yüksekliğinin 1/16'sından ve 200 mm'den az olmayacaktır.

- H_w temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20'den daha fazla küçüldüğü veya kesit genişliğinin yarıdan daha fazla küçüldüğü seviyeden itibaren ölçülen perde yüksekliğini, ℓ_w perdenin plandaki uzunluğunu gösterdiği durumuda, $H_w / \ell_w > 2.0$ olan perdelerin planda her iki ucunda perde uç bölgeleri oluşturulur.

- Temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20'den fazla küçüldüğü seviyeden itibaren kritik perde yüksekliği, $2\ell_w$ değerini aşmamak üzere, aşağıda verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak şekilde seçilecektir.

$$H_{cr} = \max\left[\ell_w; H_w / 6\right] \le H_{cr} \le 2\ell_w \qquad (3.30)$$

- Bodrum katlarında çevre pedeleri mevcut ise H_w ve H_{cr} büyüklükleri zemin kat döşemesinden itibaren dikkate alınacaktır. Bu binalarda kritik perde yüksekliği, en az zemin katın altındaki ilk bodrum yüksekliği boyunca aşağıya doğru ayrıca uzatılacaktır.

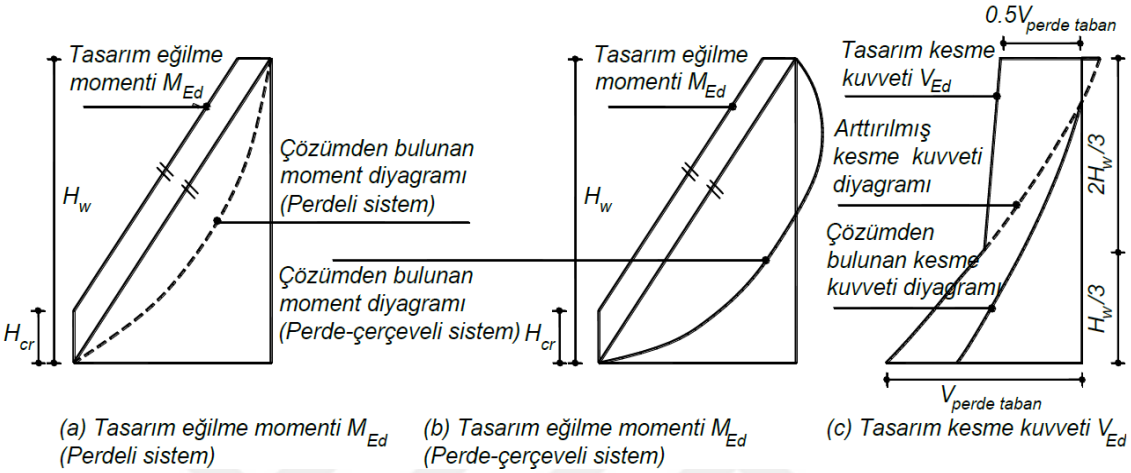
- Dikdörtgen kesitli perdelerde uç bölgelerinin plandaki uzunluğu; kritik perde yüksekliği boyunca perdenin plandaki uzunluğunun %20'sinden ve perde kalınlığının iki katından, kritik perde yüksekliğinin üstünde ise perdenin plandaki toplam uzunluğunun %10'undan ve perde kalınlığından az olmayacaktır.

- Perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam enkesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için, perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olmayacaktır. $H_w / \ell_w < 2.0$ olması durumunda perde gövdesi, perdenin tüm kesiti olarak gözönüne alınacaktır.

- Perde uç bölgelerinin her birinde kritik perde yüksekliği boyunca toplam düşey donatı alanının perde brüt enkesit alanına oranı en az 0.002 olacaktır. Bu yüksekliğin dışında bu oran 0.001'den daha az olmayacaktır. Kritik perde yüksekliği perde uç bölgelerine, kolonların sarılma bölgeleri için verilen enine donatının en az 2/3'ü konulacaktır.

$$A_{sh} \ge 0.075 * s * b_k * \left(f_{ck} \Big/ f_{ywk} \right) * 2/3 \qquad (3.31)$$

- $H_w / \ell_w > 2.0$ koşulunu sağlayan perdelerde tasarıma esas eğilme momentleri, kritik perde yüksekliği boyunca sabit bir değer olarak, perde tabanındaki eğilme momentine eşit alınacaktır. Kritik perde yüksekliğinin sona erdiği kesitin üstünde ise, ise perdenin tabanında ve tepesinde hesaplanan momentleri birleştiren doğruya paralel olan doğrusal moment diyagramı uygulanacaktır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Perdelerde tasarım kesme kuvvetinin belirlenmesi

- $H_w / \ell_w > 2.0$ koşulunu sağlayan perdelerde, herhangi bir kesitte enine donatı hesabı için esas alınacak tasarım kesme kuvveti, V_e, aşağıdaki denklemle belirlenecektir.

$$V_e = \beta_v * \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} * V_d \qquad (3.32)$$

Bu denklemde yer alan kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı β_v=1.5 alınacaktır. Deprem yükünün tamamının betonarme perdelerle taşındığı binalarda β_v=1.0 alınabilir. Daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda $(M_p)_t$=1.25*$(M_d)_t$ kabul edilebilir. Düşey yükler ile arttırılmış deprem yüklerinden hesaplanan kesme kuvvetinin, hesaplanan V_e'den küçük olması durumunda bu kesme kuvveti kullanılacaktır.

V_e tasarım kesme kuvveti aşağıdaki koşulları sağlamak zorundadır.

$$V_e \le V_r = A_{ch} * (0.65 * f_{ctd} + \rho_{sh} * f_{ywd}) \qquad (3.33)$$

$$V_e \le 0.85 * A_{ch} * \sqrt{f_{ck}} \quad \text{(boşluksuz perdeler)} \qquad (3.34)$$

$$V_e \le 0.65 * A_{ch} * \sqrt{f_{ck}} \quad \text{(bağ kirişli perdeler)} \qquad (3.35)$$

3.5 Doğrusal Olmayan Analiz ve Performans Değerlendirmesi

Bina yüksekliklerindeki artış, bu alanda şekil değişimini dikkate alarak tasarım yapmayı zorunlu hale getirmiştir. Bu kısımda binaların Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı ile tasarımı için kullanılacak doğrusal olmayan hesap esasları açıklanmaktadır. Ön tasarım yapıldıktan sonra, ayrıca bu bölümde açıklanan esaslar dikkate alınarak performans değerlendirmesi yapılacaktır.

a) Mevcut veya daha önce ön tasarımı yapılmış taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan modelleme yaklaşımları ile uyumlu iç kuvvet–şekil değiştirme bağıntıları belirlenir.

b) Öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olarak seçilen deprem yer hareketleri altında, taşıyıcı sistemin statik veya zaman tanım alanında dinamik artımsal yöntemlerle hesabı yapılır, doğrusal olmayan sünek davranışa ilişkin şekil değiştirme talepleri ile gevrek davranışa ilişkin dayanım talepleri elde edilir.

c) Elde edilen şekil değiştirme ve iç kuvvet talepleri, öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olarak tanımlanan şekil değiştirme ve dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılır.

d) Mevcut binalar için, şekil değiştirme ve dayanım taleplerinin bunlara karşı gelen şekil değiştirme ve dayanım kapasitelerinin altında olduğu veya onları aştığı gösterilerek şekil değiştirmeye göre değerlendirme tamamlanır.

e) Yeni yapılacak veya güçlendirilecek mevcut binalar için şekil değiştirme ve dayanım talepleri, bunlara karşı gelen şekil değiştirme ve dayanım kapasitelerinin altında ise şekil değiştirmeye göre tasarım tamamlanır. Aksi durumda eleman kesitleri değiştirilir ve hesap tekrarlanarak yeniden değerlendirme yapılır ve bu şekilde şekil değiştirmeye göre tasarım sonuçlandırılır.

Çerçeve (çubuk) sonlu elemanları olarak modellenebilen kolon, kiriş ve betonarme perdelerde, doğrusal olmayan davranış modeli olarak **2.5.5**'de verilen plastik mafsal modeli veya **2.5.6**'da verilen yayılı davranış modeli kullanılabilir. Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır.

3.5.1 Yüksek Binalarda için Analiz Yöntemleri ve Performansa Göre Deprem Tasarımı Aşamaları

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal olmayan hesap yöntemleri, *Sabit ve Değişken Modlu* İtme Yöntemleri ile *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi*'dir.

İtme Yöntemleri'nde, deprem doğrultusunda hâkim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde deprem yerdeğiştirme talebi sınırına kadar monotonik olarak uygulanan deprem yükü artımlarının etkisi altında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dönme, uzama, vb) ve iç kuvvet artımları ile bunların birikimli değerleri hesaplanır. Son adımda, deprem talebine karşı gelen birikimli değerler, değerlendirmeye esas büyüklükler olarak alınır ve performans sınırları ile karşılaştırılır.

İtme Yöntemleri, Çizelge 3.3'e göre BYS ≥ 5 olan, ayrıca aşağıda verilen koşulları sağlayan binalar için kullanılabilir.

- Herhangi bir katta ek dışmerkezlik alınmadan, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının η_{bi}<1.4 koşulunu sağlaması gereklidir.
- Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlesinin toplam bina kütlesine oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi, tüm binaların deprem hesabında kullanılabilir. Yüksek binalar (Çizelge 3.3'de BYS=1 olan) için kullanımı zorunlu olup deprem etkisi tanımlanmasında ölçeklendirilen deprem yer hareketleri alınmalıdır.

3.5.2 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşı gelir. Böylece doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisinin sürekli değişimi gözönüne alınır.

$$\ddot{d}_n^{(X,Y)}(t) + 2\zeta_n \omega_n \dot{d}_n^{(X,Y)}(t) + \omega_n^2 d_n^{(X,Y)}(t) = -\ddot{u}_n^{(X)}(t) - \frac{\Gamma_n^{(Y)}}{\Gamma_n^{(X)}} * \ddot{u}_n^{(Y)}(t) \qquad (3.36)$$

En az 11 deprem yer hareketi takımı kullanılacaktır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilecektir. Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90^o döndürülerek hesap tekrarlanacaktır.

Taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışa ilişkin enerji tüketimi dışında, doğrusal çalışan yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşan dinamik enerji kaybı, hareket denklemlerinde viskoz sönüm matrisi ile temsil edilecektir. Viskoz sönüm matrisi, *Orantılı (Rayleigh) Sönüm Matrisi* olarak oluşturulacaktır.

Tüm doğrusal olmayan yöntemlerde olduğu üzere hesabın başlangıç adımında, deprem dışı yüklemeler altında doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılır. Bu hesaptan elde edilen iç kuvvetler ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeler deprem hesabında başlangıç değerleri olarak gözönüne alınacaktır.

3.5.3 Yüksek Binalarda İçin Analiz Aşamaları

Yüksek binaların tasarımı, Çizelge 3.12'de tanımlanan üç performans hedefini de sağlamak üzere aşağıda belirtilen üç aşamada yapılacaktır. II. Aşama ile III. Aşama'nın sıraları değiştirilebilir.

3.5.3.1 Tasarım Aşaması I (Ön Tasarım ve Boyutlandırma)

Bu aşamada DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında Can Güvenliği (CG) performans hedefini sağlamak üzere yüksek binanın doğrusal hesap yöntemine dayalı Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ile ön tasarımı ve boyutlandırması yapılacaktır.

- Çalışma içerisinde **4.4.1**'de verilmekte olan doğrusal analiz için modelleme kurallarına uyulacak ve deprem etkisini içeren yük birleşimleri ile hesaplamalar yapılacaktır.
- Deprem hesabından önce yapım aşamalarını gözönüne alan düşey yük hesabı ve rüzgar hesabı ile betonarme binalarda sünme hesabı yapılmalıdır.
- Deprem hesabı kapsamında, DD-2 depremi altında *Mod Birleştirme Yöntemi* veya zaman tanım alanında *Mod Toplama Yöntemi* ile üç boyutlu doğrusal hesap yapılacaktır.

- Yüksek binalar için belirtilen özel performans hedefini sağlamak istenirse, seçilen taşıyıcı sistem için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R'nin 4/5'i ön tasarımda gözönüne alınmalıdır.

- Azaltılmış iç kuvvetlerin Eşdeğer Taban Kesme Kuvveti'ne göre büyütülmesi işlemi, yüksek binaların I. Aşama deprem hesabında, aşağıda tanımlanan minimum taban kesme kuvveti esas alınarak yapılacaktır. Ayrıca bulunan taban kesme kuvvetinin karşılaştırılmasında kullanılan Denk. (3.19)'da $\gamma_E = 1.0$ alınacaktır.

$$V_{t,\min} = 0.04 * \alpha_H * m_t * S_{DS} * g \qquad (3.37)$$

  α_H ise aşağıda verilen bina yüksekliği H_N'e bağlı olarak hesaplanan katsayıyı göstermektedir. Aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned} &\alpha_H = 1.0 && H_N \le 105 \\ &\alpha_H = 2.05 - 0.01 H_N && 105 < H_N \le 155 \\ &\alpha_H = 0.5 && 155 \le H_N \end{aligned} \qquad (3.38)$$

- Perdelerde oluşan dinamik kesme büyütmesi etkilerini karşılamak üzere kritik perde yüksekliği boyunca perde kesme kuvvetlerinin 2.5 katının üst kısımlarda da 1.5 katının gözönüne alınması ön hesaplama için önerilmektedir.

3.5.3.2 Tasarım Aşaması II (KK-HK)

Bu aşamada, ön tasarımı yapılmış bulunan yüksek binanın, Çizelge 3.12'e göre normal performans hedefi için DD-4 deprem yer hareketi altında Kesintisiz Kullanım (KK) performans hedefini sağlamak üzere, Dayanıma Göre Tasarım (DGT) veya Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı ile performans değerlendirmesi yapılacaktır. İleri performans hedefi için DD-3 deprem yer hareketi altında Hemen Kullanım (HK) performans hedefini sağlamak üzere Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı ile performans değerlendirmesi yapılacaktır.

- DGT yaklaşımının uygulanması durumunda **4.4.1**'e doğrusal modelleme kurallarına, ŞGDT yaklaşımının uygulanması durumunda **4.4.2**'e göre doğrusal olmayan

modelleme kurallarına uyulacaktır. Ancak ek dışmerkezliklerin gözönüne alınmaması, sönüm oranının %2.5 alınması ve bu aşamada aşağıda verilen etkin kesit rijitliklerinin kullanılması her iki hesap için de uygulanacaktır (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10 II. Tasarım aşamasında uygulanacak etkin kesit rijitlikleri

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

- Bu aşamada deprem hesabından önce yapılan ve yapım aşamalarını gözönüne alan düşey yük hesabı sonuçları kullanılacaktır.

- Deprem hesabının modal hesap yöntemleri ile doğrusal yapılması durumunda, iç kuvvetlerin hesabında R/I=1 ve D=1 alınacaktır. Minimum taban kesme kuvveti koşulu uygulanmayacaktır. Mod birleştirme yönteminin kullanılmasında, %2.5 sönüm oranına karşı gelen yatay elastik tasarım spektral ivmesi, %5 sönüm oranı için verilen spektral ivmelerin 1.25 katsayısı ile çarpılmasıyla elde edilebilir. Zaman tanım alanında hesap yapılırsa (Rayleigh) sönüm matrisi'nin oluşturulması için gözönüne alınacak modlarda sönüm oranı %2.5 olarak alınacaktır.

- Sünek davranışa sahip betonarme elemanlardaki toplam birim şekil değiştirme talepleri Çizelge 3.11'de ilgili performans düzeyleri için verilen sınır değerlerini aşmayacaktır.

- En büyük göreli kat ötelemesi oranı, kesintisiz kullanım performans hedefinin sağlanması için DD-4 deprem yer hareketinin etkisi altında 0.006'yı, hemen kullanım performans hedefinin sağlanması için DD-3 deprem yer hareketinin etkisi altında 0.01'i geçmeyecektir.

3.5.3.3 Tasarım Aşaması III (CG-GÖ)

Bu aşamada, ilk iki tasarım aşaması tamamlanmış olan yüksek binanın Çizelge 3.12'e göre DD-1 deprem yer hareketi altında normal performans hedefi olarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ), ileri performans hedefi olarak ise Can Güvenliği (CG) performans hedefini sağlamak üzere Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı ile performans değerlendirmesi yapılacaktır.

- Performans hedefinin gerçekleştirilmesi için, III. Aşama'da yüksek bina taşıyıcı sisteminin zaman tanım alanında yapılan üç boyutlu doğrusal olmayan hesabında sönüm oranı %2.5 olarak alınacak ve hareketli yüklere karşı gelen kütleler bu aşamada dikkate alınmayacaktır. Ek dışmerkezlik etkisi A1 türü düzensizliğin bulunması ve burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} > 1.5$ olması durumunda doğrusal analiz için modelleme esas alınarak yapılacaktır.

- Yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması alınacaktır. Toplam birim şekil değiştirme taleplerinin Çizelge 3.11'de tanımlanan performans sınırlarından daha küçük olduğu gösterilecek, bu koşulların sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemde gerekli iyileştirmeler yapılarak analizler tekrar edilecek ve bu şekilde tasarım geliştirilerek sonuçlandırılacaktır.

- İç kuvvet taleplerinin **3.4.3**'de verilen iç kuvvet kapasitelerinden daha küçük olduğu gösterilecektir. İç kuvvet kapasitelerinin hesabında karakteristik malzeme dayanımları yerine ortalama malzeme dayanımları esas alınacaktır.

- Her katta, her bir düşey taşıyıcı elemanın göreli kat ötelemesi oranı (göreli kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı) deprem sonuçlarının ortalamasının alınmasıyla 0.03 değerini tek bir depremden elde edilen oranın ise 0.045'i aşmaması gereklidir.

3.5.4 Performans Düzeyleri

Mevcut binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkili olup dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. Binaların deprem performansının belirlenmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir. Burada verilen kurallar betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar için geçerlidir.

3.5.4.1 Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi

Bu düzey, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir. Taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

3.5.4.2 Hemen Kullanım Performans Düzeyi

Bu düzey, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir. Bu durumda yüksek bina kesintisiz olarak kullanılmaya devam eder veya meydana gelebilecek aksamalar birkaç gün içinde kolayca giderilebilecek düzeyde kalır.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Minimum Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

3.5.4.3 Can Güvenliği Performans Düzeyi

Bu düzey, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan kontrollü hasar düzeyine karşı gelmektedir. Bu durumda, binanın kullanımında kısa süreli (birkaç hafta veya ay) aksamaların meydana gelmesi normaldir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören

elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

- Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve düşey elemanların (kolonlar, perdeler ve güçlendirilmiş bölme duvarlar) aşağıdaki paragrafta tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

3.5.4.4 Göçme Öncesi Performans Düzeyi

Bu düzey, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir. Bu durumda, yüksek binanın kullanımında uzun süreli aksamaların meydana gelmesi, hatta binanın kullanımına son verilmesi mümkündür. Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun gözönüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

- Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde

birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

- Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

3.5.4.5 Göçme Durumu

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

3.5.5 Kesit Hasar Bölgeleri ve Performans Hedefleri

Betonarme taşıyıcı sistemlerde **2.5.5**'da tanımlanan yığılı plastik davranış modeli esas alınarak bu bölümde verilen hesap yöntemlerinden herhangi biri ile yapılan hesap sonucunda, herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak *plastik eğrilik talebi*, aşağıdaki bağıntı ile elde edilecektir.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \tag{3.39}$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile veya ampirik olarak hesaplanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, Denk. (3.39) ile tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik talebine eklenerek, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik talebi elde edilecektir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \tag{3.40}$$

Betonarme taşıyıcı sistemlerde betonun basınç birim şekil değiştirmesi talebi ε_c ile donatı çeliğinin çekme/basınç birim şekil değiştirme talebi ε_s, Denk. (3.40) ile tanımlanan toplam eğrilik talebine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanacaktır. Eğer **2.5.6**'da tanımlanan yayılı plastik davranış modeli esas alınarak bu bölümde verilen hesap yöntemlerinden herhangi biri ile yapılan hesap sonucunda birim şekil değiştirmeler doğrudan elde edileceklerdir.

Yüksek binalarda dahil olmak üzere, yeni betonarme bina elemanları için bu hesap yöntemleri ile hesaplanan beton ve donatı çeliği toplam birim şekil değiştirmeleri ε_c ve ε_s için izin verilen sınırlar, Çizelge 3.12'de tanımlanan performans düzeylerine göre Çizelge 3.11'da verilmiştir. Betonarme perdelerde çekme uzamaları için tabloda (*) ile işaretli değerler kullanılacaktır. Çizelge 3.11'daki sınır değerleri süneklik düzeyi yüksek betonarme elemanlar için geçerlidir.

Çizelge 3.11 Beton ve donatı için izin verilen birim şekil değiştirme sınırları

Performans Düzeyi	Perdelerde, kolonlarda, çerçeve kirişlerinde ve bağ kirişli perdelerin düz donatılı bağ kirişlerinde		Bağ kirişli perdelerin çapraz donatılı bağ kirişlerinde	
	Beton ve donatı çeliği için basınç kısalması	Donatı çeliği için çekme uzaması	Beton ve donatı çeliği için basınç kısalması	Donatı çeliği için çekme uzaması
Kesintisiz Kullanım	0.0025	0.005	0.0035	0.008
Hemen Kullanım	0.0035	0.010	0.005	0.020
Can Güvenliği	0.010	0.030 / 0.020(*)	0.0135	0.040
Göçmenin Önlenmesi	0.015	0.045 / 0.030(*)	0.018	0.060

Yüksek binalar için öngörülen minimum performans hedefleri **3.2.1**'de tanımlanan dört deprem yer hareketi düzeyi için bu yönetmelik kapsamındaki yüksek binalara uygulanmak üzere, Deprem Tasarım Sınıfı DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a için tanımlanan Normal Performans Hedefleri ile Deprem Tasarım Sınıfı DTS = 1a, 2a için tanımlanan İleri Performans Hedefleri Çizelge 3.12'de verilmiştir. Bina sahibinin isteğine bağlı olarak deprem yer hareketi düzeylerine karşı gelen daha ileri performans hedefleri seçilebilir.

Çizelge 3.12 Deprem tasarım sınıfına göre yüksek bina performans hedefleri

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

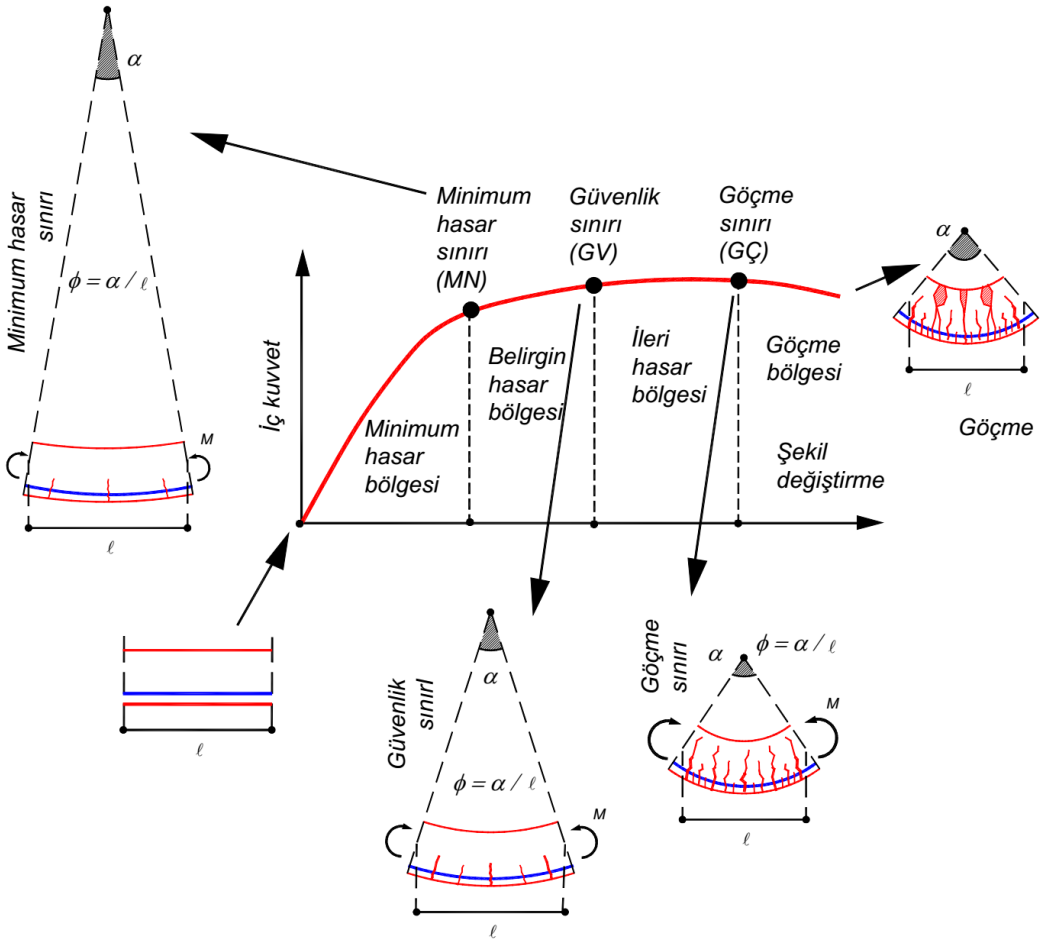
(1) Ön tasarım olarak yapılacaktır.

(2) I = 1.5 alınarak uygulanacaktır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesaplamalar sonucunda elde edilen iç kuvvetlerin ve/veya şekil değiştirmelerin, kesit hasar sınırlarına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilecektir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenecektir.

Kritik kesitlerinin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar (Şekil 3.7).

Belirtilen şekil değiştirme sınırlarında Hemen Kullanım MN sınırına, Can Güvenliği GV sınırına, Göçmenin Önlenmesi GÇ sınırına karşı gelmektedir [37].



Şekil 3.7 Betonarme kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

BÖLÜM 4

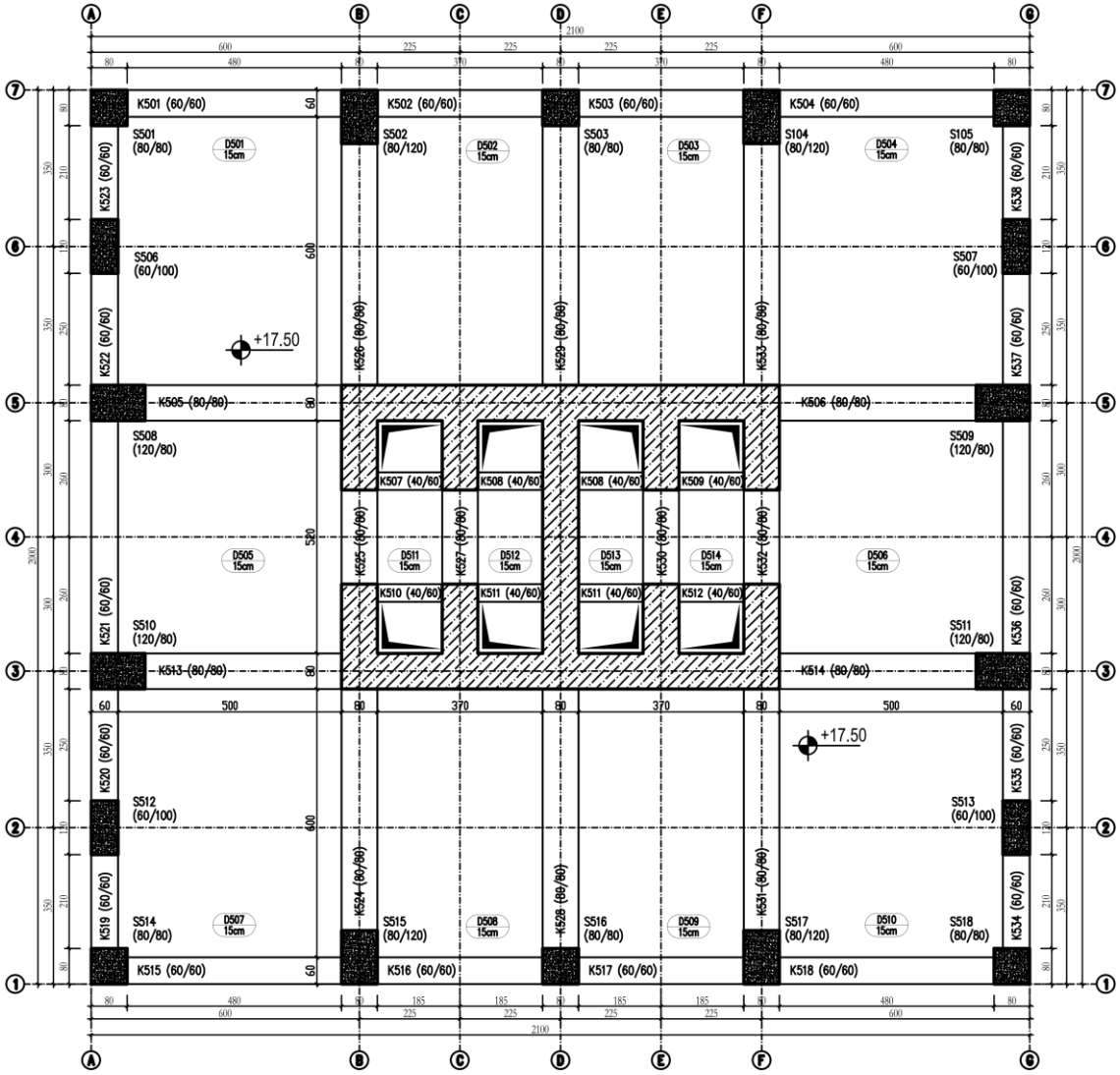
SAYISAL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde İstanbul ili Levent semtinde yer aldığı varsayılan farklı taşıyıcı sisteme sahip üç adet betonarme yüksek binanın mod birleştirme yöntemi kullanılarak doğrusal analiz ve tasarımı, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak deprem performanslarının sayısal olarak belirlenmesi ve yönetmelik koşulları uyarınca değerlendirilmesi yer almaktadır. Bölüm içinde ilk olarak yapıların taşıyıcı sistem özellikleri tanıtılmış, sırayla yapıya etki eden deprem kuvvetlerinin belirlenmesi, deprem ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi aşamaları açıklanmış, analizlerde dikkate alınan yüklemeler ve yük kombinasyonları verilmiştir. Son olarak analiz modellerinin oluşturulmasında dikkate alınan kurallardan ve iki tasarım aşamasına ait sonuçlar ve değerlendirmelerden bahsedilmiştir.

4.1 Binaların Genel Bilgileri

Çalışmada ele alınan binaların hepsi aynı yükseklikte (108 m) ve kat adedinde (30 kat) olup, plan boyutları da benzer seçilmiştir. Binaların kullanım amacı konut olarak dikkate alınmış ve etkiyen düşey yükler ve kütlelerde yaklaşık olarak benzer modellenmiştir. Tüm binalarda taşıyıcı sistemin parçası olan çekirdek, benzer boyut ve detaylara sahip olup perdelerden oluşturulmuş ve merkezde konumlandırılmıştır. Binalar planda uzunlukları X doğrultusunda 21 metre ve 4 açıklık, Y doğrultusunda 20 metre ve 3 açıklık olarak seçilmiştir. Bu durumda Bina yüksekliği / Oturma alanı değerinin başka bir deyişle yapısal narinlik oranı değeri *5.5* olmaktadır. Binaların taşıyıcı sistem seçimi **2.4**'de verilen kurallar dikkate alınarak belirlenmiş ve simetriden yararlanılmıştır. Modelleme ve değerlendirme kolaylığı açısından eleman tipleştirmelerinden yararlanılmıştır.

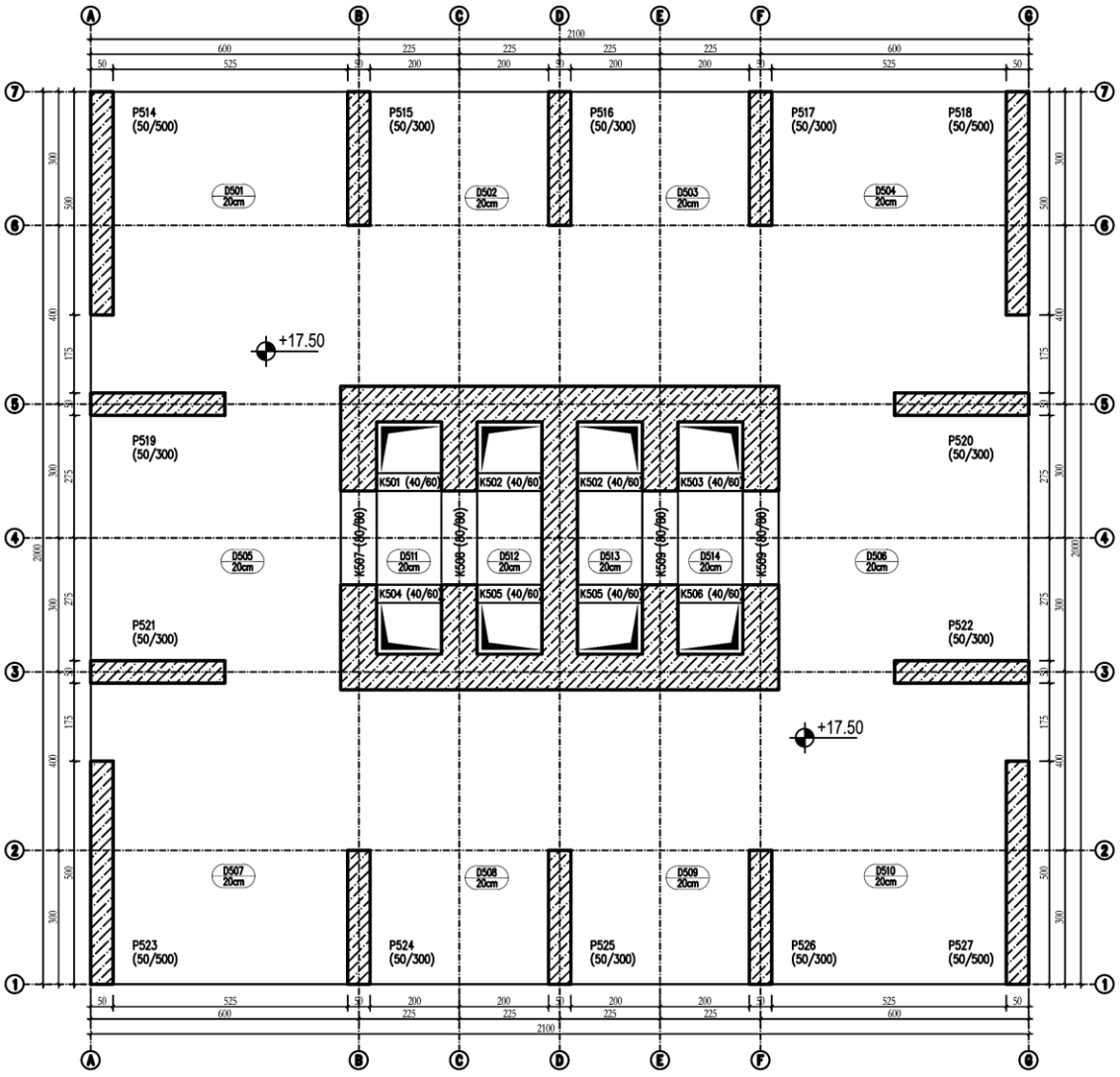
Model 1 olarak verilen çalışmada, taşıyıcı sistem çekirdek kısmına ek olarak çerçeve elemanlar ile oluşturulmuştur. Analizler sonucu boyutlandırılan taşıyıcı sistemin tipik kalıp planı Şekil 4.1'de görülebilir. Taşıyıcı sistemde kolonlar bina çevresine yerleştirilmiş, kolonların çekirdek perdeleri ile olan bağlantıları değişik boyutlardaki kiriş elemanlar ile yapılmıştır.



Şekil 4.1 Model 1 kalıp planı

Model 2 olarak verilen çalışmada, taşıyıcı sistem benzer çekirdek sistemine ek olarak çevreye yerleştirilmiş perde elemanlardan oluşturulmuş, perde konumlandırmaları yapım hızını arttıran tünel kalıp imkânı düşünülerek belirlenmiştir. Tipik bir kalıp planı Şekil 4.2'de görülebilir.

Üç analiz modelinin oluşturulmasında da taşıyıcı sistemin kaya zemine oturduğu kabul edilerek taban kesitinde ankastre mesnetlenme dikkate alınmıştır.



Şekil 4.2 Model 2 kalıp planı

Model 3 olarak verilen çalışmada, Model 1 çalışmasındaki aynı sistem dikkate alınmış, bu sistem bina çevresine yerleştirilen sürekli çapraz elemanlar ile rijitleştirilerek çözümlemeler yapılmıştır.

4.2 Bina Taşıyıcı Sistemleri

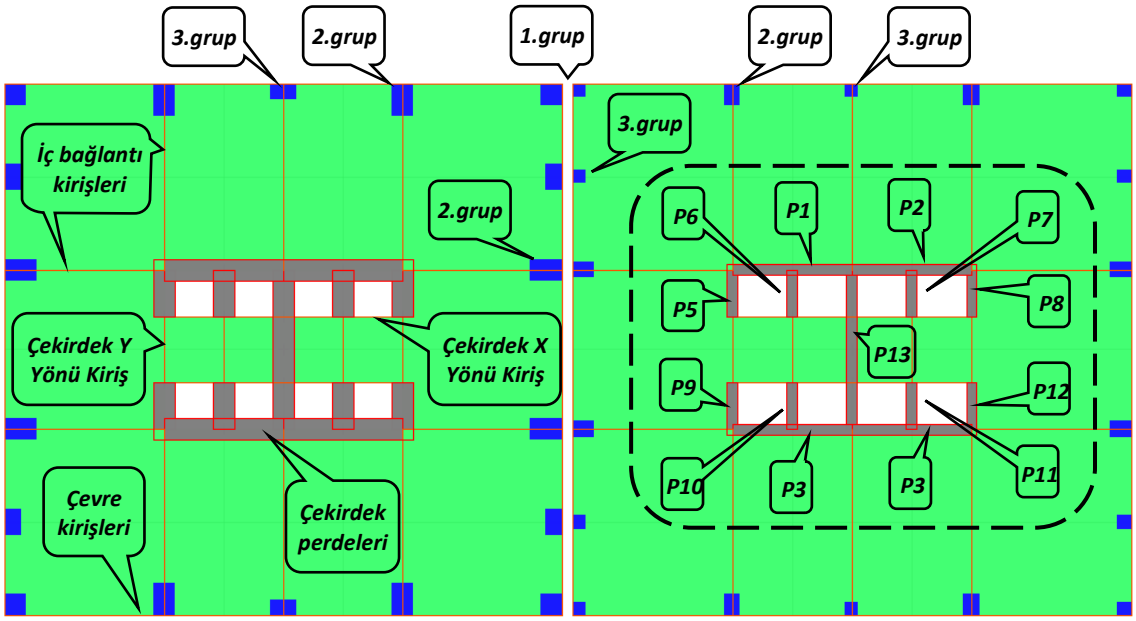
Binaların taşıyıcı sistemlerini oluşturan elemanların ön tasarımı, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlilikte rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunacak şekilde TS500 ve TBDY2016 (taslak) yönetmelik koşullarına uygun olarak yapılmıştır.

Yüksek binalarda kat sayısının artmasına bağlı olarak güvenle karşılanması gereken büyük mertebelerdeki düşey ve yatay yükler nedeniyle, özellikle alt katlarda perde ve

kolon boyutları büyüme eğilimindedirler. Sistemin ekonomik olarak boyutlandırılması için, yüksek dayanımlı betonların kullanılması kaçınılmaz olmaktadır. Ülkelerin depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmelikleri, genellikle beton kalitesini C50~C60 olarak sınırlamaktadır. Bu sınırlamanın asıl nedeni, yüksek dayanımlı betonlarda malzeme sünekliliğin özellikle dinamik etkilere karşı fazla güvenlik sağlamayışıdır. TDY2016 taslak yönetmeliğinde beton için sınır C80 olarak verilmiş olup bu çalışmada kullanılan beton sınıfı C50/60 olarak seçilmiştir.

Binalar X doğrultusunda 4 açıklıklı Y doğrultusunda 3 açıklıklı olarak belirlenmiş olup bütün modellerde çekirdek taşıyıcı sistem 3-5 ve B-F eksenleri arasında merkezcil olarak konumlandırılmıştır. Model 1 taşıyıcı sistemi çekirdek sisteme ek olarak çevre eksenlere sık yerleştirilmiş tüp kolon sisteminden oluşturulmuştur. Model 3'de Model 1 için alınan sistemin aynısı alınmış ve çevredeki eksenlerde çapraz elemanlar eklenmiştir. Analiz modelinden 1. ve 30. kat için plan görünümleri Şekil 4.3'de verilmiş olup düşey taşıyıcılardaki değişim yaklaşık görülebilir. Her iki binada da döşeme sistemi betonarme kirişli plak sistem olup döşeme kalınlığı 15 cm olarak tasarlanmıştır. Döşemeye gelen yüklerin düşey taşıyıcı sistemlere aktarımı betonarme kirişlerle sağlanmaktadır.

Oluşturulan analiz modellerinde elemanların boyutlarındaki değişim Şekil 4.3'de verilen gruplar esas alınarak Çizelge 4.1'de özetlenmiştir. Boyut değişimlerinin yapıldığı katlara göre renklendirilmiş 3 boyutlu taşıyıcı sistem modeli de Şekil 4.4'de, görülmektedir.

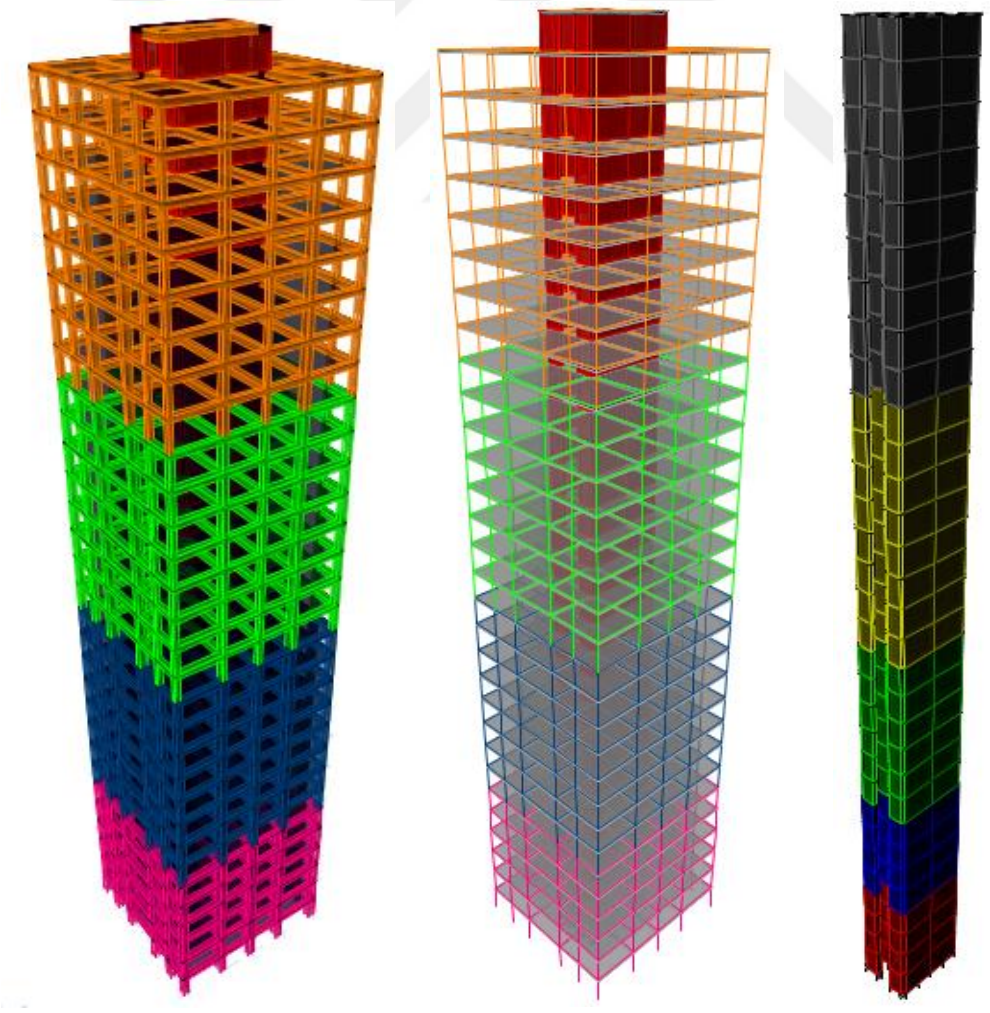


Şekil 4.3 Model 1 analiz modeli kat planları ve isimlendirme(1. ve 30. kat için)

Çizelge 4.1 Kolon ve kirişlerin kesit değişimleri

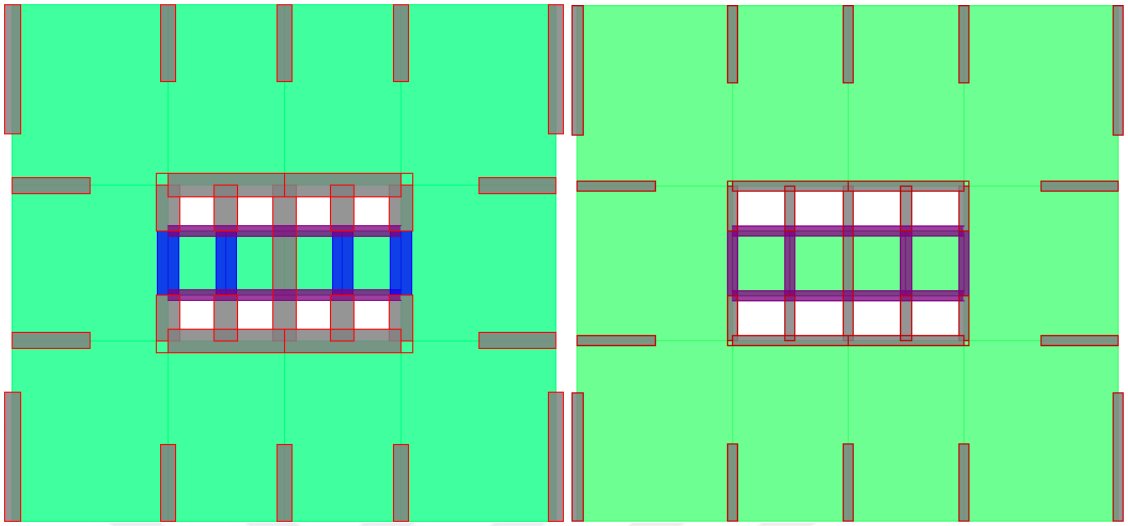
Gruplandırma	***Katlar***			
	1-6	***7-14***	***15-22***	***23-30***
1. Grup Kolon	*80x80*	*80x60*	*60x60*	*50x50*
2. Grup Kolon	*80x120*	*80x100*	*60x100*	*60x80*
3. Grup Kolon	*100x60*	*80x60*	*60x60*	*50x50*
Çevre Kirişler	*60x60*	*60x60*	*60x60*	*50x60*
İç Bağlantı Kirişleri	*80x80*	*60x80*	*50x80*	*50x60*
Çekirdek X Yönü Kirişler	*40x60*	*40x60*	*40x60*	*40x60*
Çekirdek Y Yönü Kirişler	*80x80*	*60x80*	*50x60*	*40x60*

Çekirdek perdelerinin kalınlığı tüm modellerde aynı olup yükseklikle azaltılmıştır. İlk dört katta 90 cm (+14m kotuna kadar), sonraki dört katta 80 cm (+28m kotuna kadar), sonraki 6 katta 60 cm (+49m kotuna kadar), sonraki 8 katta 50 cm (+77m kotuna kadar), geriye kalan 8 katta 40 cm (+108.50m kotuna kadar) olarak belirlenmiştir.

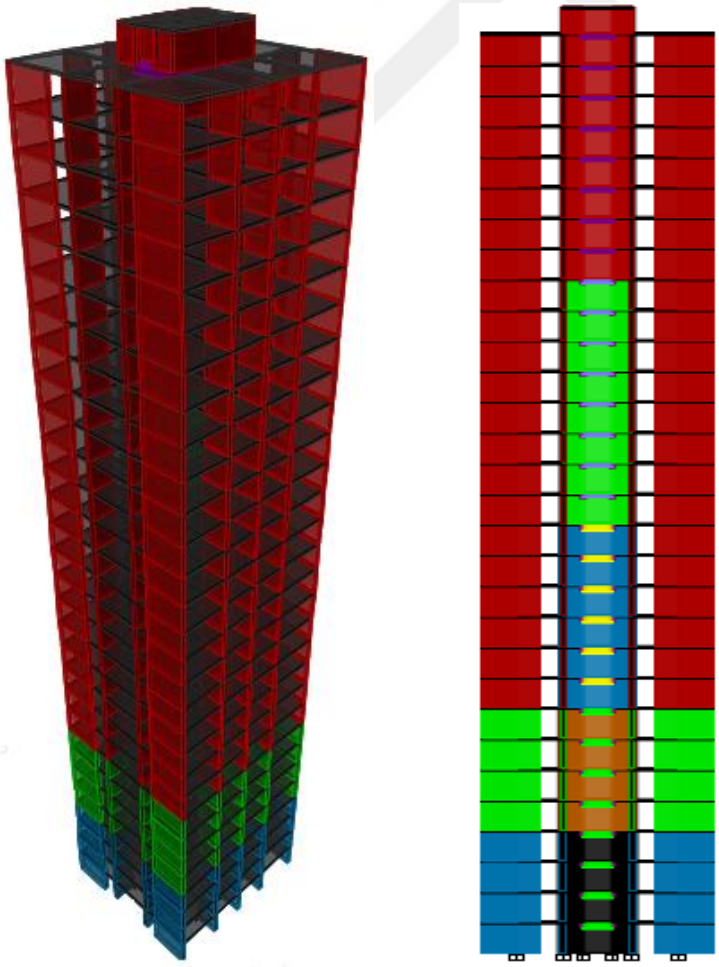


Şekil 4.4 Model 1'e ait sonlu eleman analiz modelleri

Model 2 taşıyıcı sistemi çekirdek perdelerine ek olarak çevre eksenlerde düzenlenmiş perdeler ile oluşturulmuştur (Şekil 4.5). Bu sistemde kiriş elemanlar kullanılmayıp, döşeme yükleri 20 cm kalınlığında kirişsiz plak ile düşey taşıyıcı sisteme aktarılmaktadır.



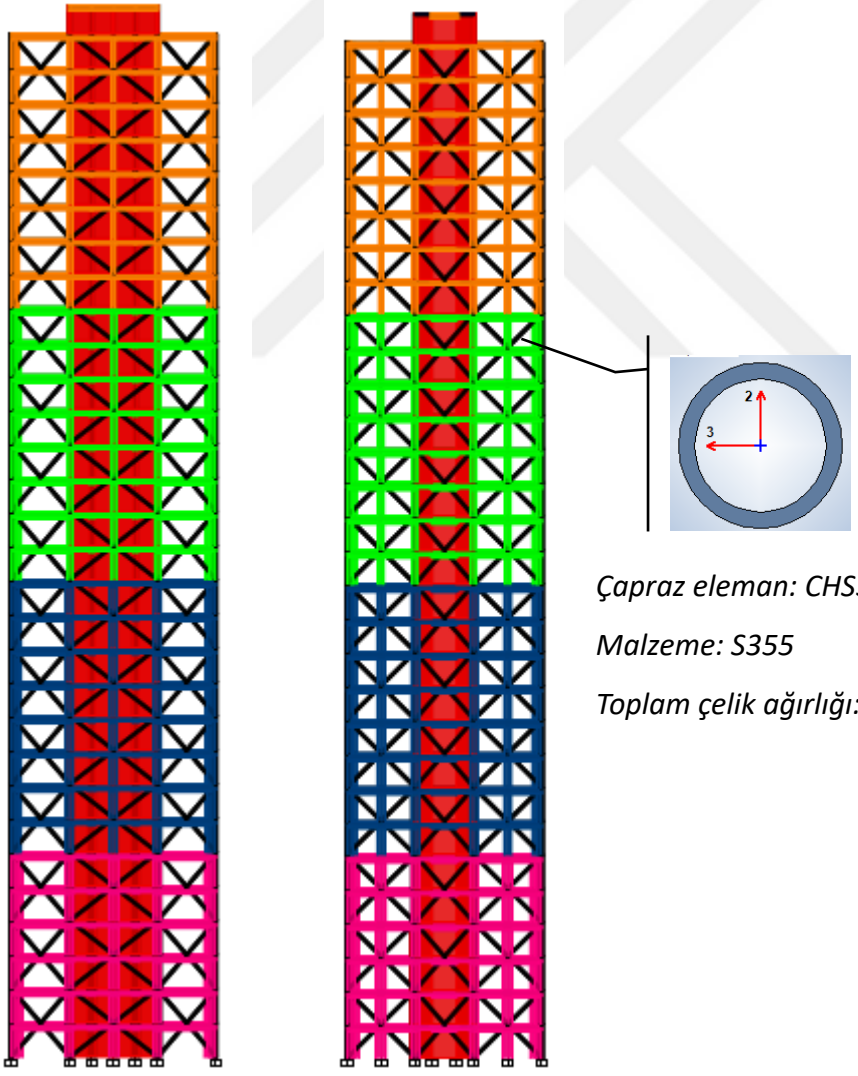
Şekil 4.5 Model 2 analiz modeli plan görünümleri (1. ve 30. kat için)



Şekil 4.6 Model 2'e ait sonlu eleman analiz modelleri

Model 2 olarak belirlenen sistemde çevre perdeleri ilk dört katta 60 cm (+14m kotuna kadar), sonraki dört katta 50 cm (+28m kotuna kadar), sonraki 22 katta 40 cm (+108.5m kotuna kadar) olarak düzenlenmiş olup Şekil 4.6'da kesitlere göre renklendirilmiş sistem görülmektedir.

Model 3'e ait kesit görünümleri ve çapraz eleman kesiti Şekil 4.7'de görülebilir. Çapraz elemanlar olarak burkulması önlenmiş CHS300x30 kesitli, çelik boru profil elemanlar kullanılmıştır. Çapraz elemanlar tüm cephede yüklerin sürekli iletimini sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Sistemin çapraz elemanlar ile rijitleştirilmesi ile cephede oluşturulan sık kolon sistemli düzlem çerçeve davranışının daha belirgin olmasını, binada tüp davranışının daha hâkim olmasını sağlamaktadır.



Çapraz eleman: CHS300x30

Malzeme: S355

Toplam çelik ağırlığı: 692 ton

Şekil 4.7 Model 3'e ait kesit görünümleri (1-7, A-G çevre eksenleri)

4.3 Deprem Etkilerinin Tanımlanması

TBDY2016 taslak yönetmeliğinde tanımlanan DD1, DD2, DD3 ve DD4 deprem düzeyleri için kısa doğal titreşim periyodu ve 1.0 saniyelik doğal titreşim periyoduna karşılık gelen harita spektral ivme değerleri (S_S ve S_1), EK-A bölümünde verilen haritalandırma ve konum dikkate alınarak belirlenmiştir [38].

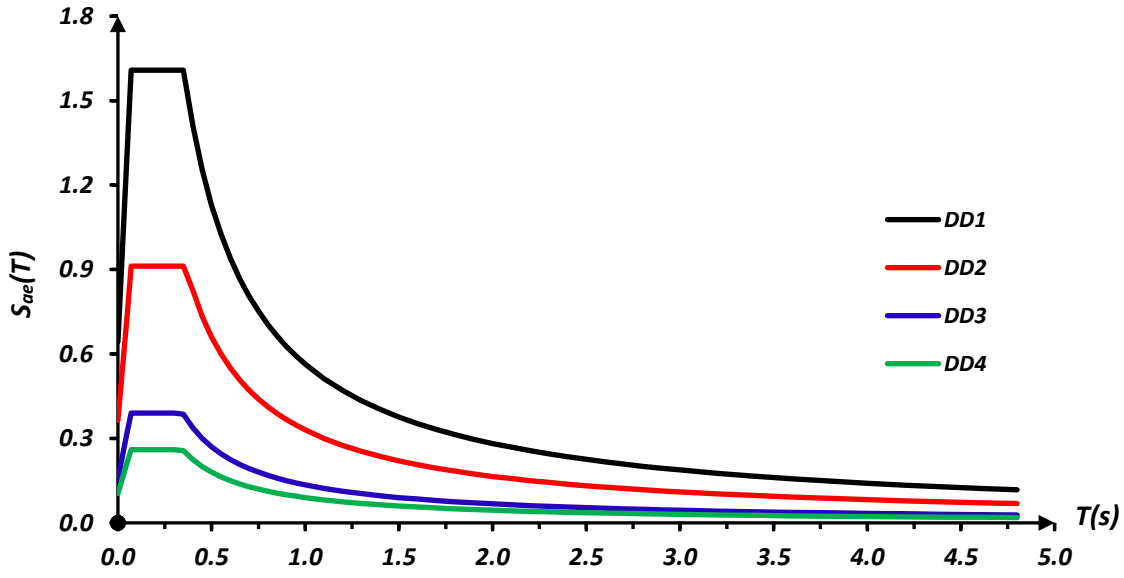
4.3.1 Tasarım Spektrumunun Belirlenmesi

İstanbul ili Levent semti içinde belirlenmiş olan konuma ait spektral değerler Çizelge 4.2'de verilmiştir. Binaların inşa edileceği zeminin ''C'' zemin grubunda olduğu kabul edilmiştir. Tasarım spektral ivme spektral katsayılarının ve köşe periyot değerlerinin hesaplanması **3.2.2**'de verilen formülasyonlar dikkate alınarak yapılmıştır.

Çizelge 4.2 Deprem düzeyleri için spektral değerler

Deprem Düzeyi	*Spektral Parametreler*							
	S_S	S_1	F_S	F_1	S_{DS}	S_{D1}	T_A	T_B
DD1	*1.340*	*0.375*	*1.2*	*1.5*	*1.608*	*0.563*	*0.070*	*0.350*
DD2	*0.760*	*0.220*	*1.3*	*1.5*	*0.980*	*0.330*	*0.067*	*0.337*
DD3	*0.300*	*0.090*	*1.3*	*1.5*	*0.390*	*0.135*	*0.069*	*0.346*
DD4	*0.200*	*0.060*	*1.3*	*1.5*	*0.260*	*0.090*	*0.069*	*0.346*

Bu tablodan elde edilen spektrum grafikleri Şekil 4.8'de görülebilir.



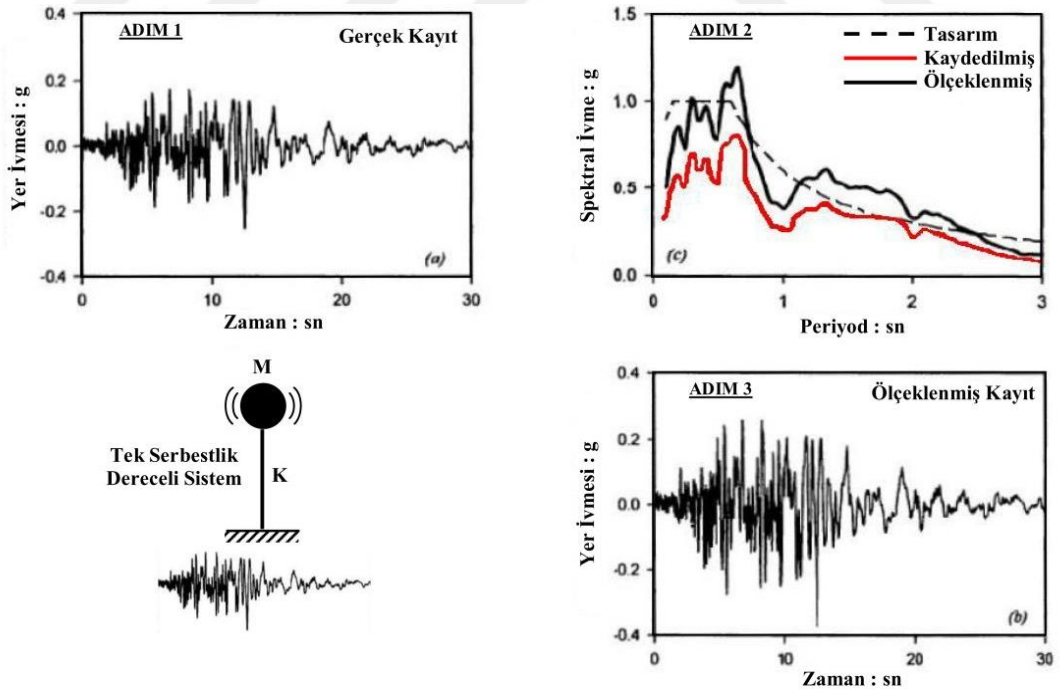
Şekil 4.8 Deprem düzeyleri için tasarım ivme spektrumları

4.3.2 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

Genel olarak doğrusal veya doğrusal olmayan bina analizlerinde kullanılan kayıtlar, deprem hareketi sırasında kaydedilen ivme kayıtlarıdır. Gerçek deprem kayıtları, yer hareketinin özellikleri (genlik, faz ve frekans içeriği) hakkında bilgiler içermeleri nedeniyle diğer alternatiflere göre daha gerçekçidir. Ancak deprem kayıtlarının birçok veri irdelenerek oluşturulmuş, yönetmelikte verilen deprem spektrumu ile de uyumlu olması gerekmektedir. Bundan dolayı zaman tanım alanında kullanılacak deprem kayıtlarının seçilme aşamasından sonra, deprem ivmelerinin tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Kaydedilmiş deprem ivmelerinin ölçeklendirilmesinde kullanılan başlıca iki yöntem şöyledir:

- Zaman tanım alanında ölçeklendirme
- Frekans tanım alanında ölçeklendirme

Bu çalışmada zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin esası deprem ivme kaydının sabit bir katsayı ile çarpılarak, istenilen periyot aralığında tasarım ivme spektrumuna göre en uygun şekle göre ayarlanmasına dayanmaktadır.



Şekil 4.9 Zaman tanım alanında ölçeklendirme işlemi

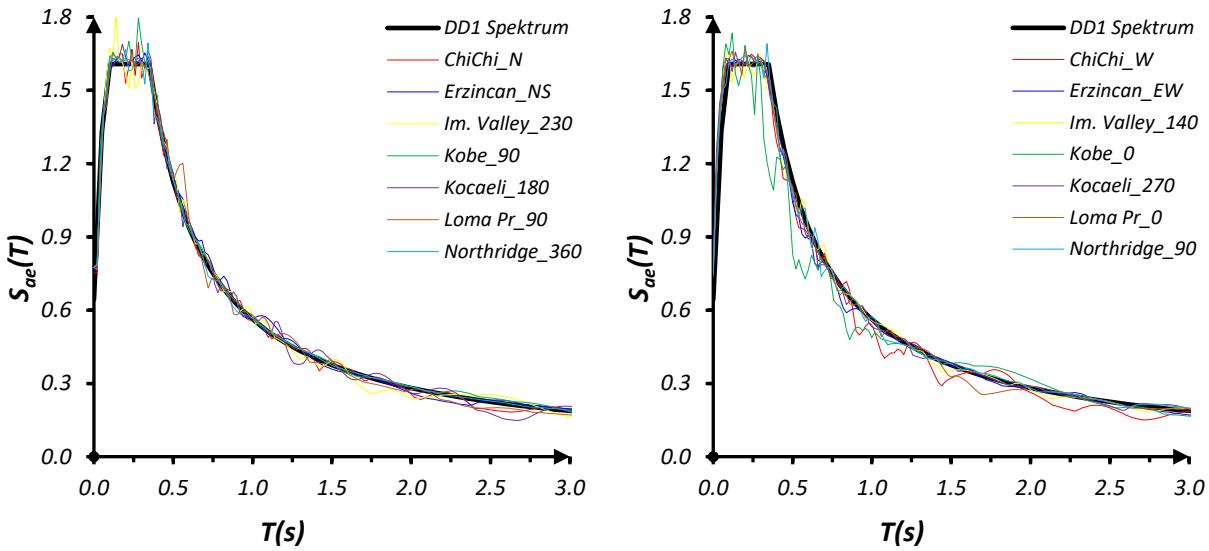
Şekil 4.9'da zaman tanım alanında ölçeklendirme işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Kullanılacak deprem ivme kaydının seçilmesinden sonra, kullanılacak ivme kaydından

elde edilen tepki ve tasarım spektrumu elde edilir. Bir sonraki adım olarak, elde edilmiş tepki spektrumu belirlenen bir aralıkta belirli bir değerin üstüne çıkıncaya kadar ölçeklendirme katsayısı ile çarpılır ve en son adım olarak, belirlenen ölçeklendirme katsayısı ilk adımda seçilmiş olan deprem ivme kaydının tamamı ile çarpılarak ölçeklendirilmiş deprem yer hareketi kaydı elde edilir. Deprem spektrumu ile uyumlu olacak şekilde belirlenmiş olan depremler ve bazı özellikleri Çizelge 4.3'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.3 Seçilen deprem kayıtları ve parametreleri

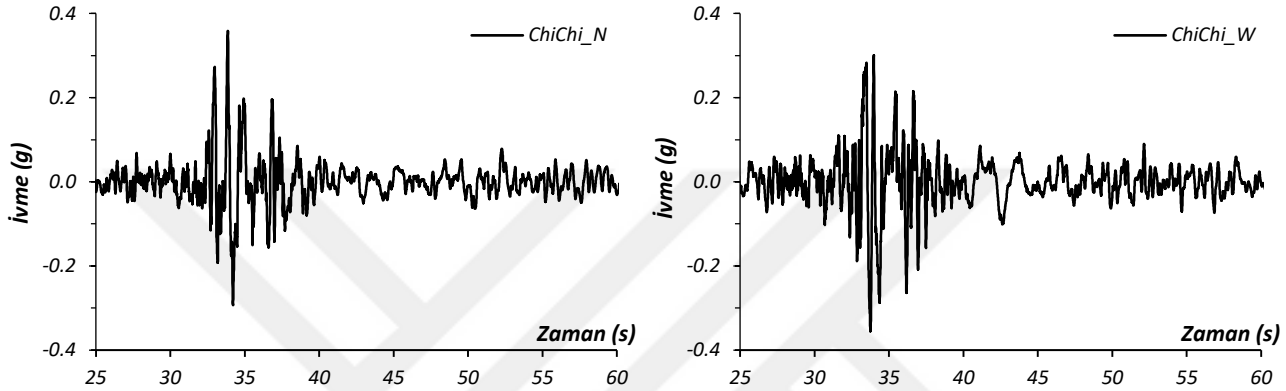
Deprem Adı	*Tarih*	*İstasyon*	*M. Üssü (km)*	*Büyüklük (M_w)*	*5-95% Süre (s)*	*V_{s_30} (m/s)*	*PEER Kayıt No*	*Kırılma Tipi*
Chi-Chi	*1999*	*CHY006*	*9.76*	*7.62*	*26.7*	*438.2*	*1182*	*Eğ.Ters Fay*
Erzincan	*1992*	*Erzincan*	*4.38*	*6.69*	*8.4*	*352.1*	*821*	*Yanal Atım*
Imp. Valley	*1979*	*El Centro*	*7.05*	*6.53*	*10.3*	*208.9*	*179*	*Yanal Atım*
Kobe	*1995*	*Kjma*	*0.96*	*6.9*	*9.5*	*312.0*	*1106*	*Yanal Atım*
Kocaeli	*1999*	*Düzce*	*15.37*	*7.51*	*11.8*	*281.9*	*1158*	*Yanal Atım*
Loma Prieta	*1989*	*Corralitos*	*3.85*	*6.93*	*7.9*	*462.2*	*753*	*Eğ.Ters Fay*
Northridge	*1994*	*Castaic*	*20.72*	*6.69*	*9.1*	*450.3*	*963*	*Ters Fay*

Seçilen depremlerin DD1 deprem spektrumuna göre ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarından elde edilen ortama ivme spektrumu Şekil 4.10'da verilmektedir. Depremlerin orijinal kayıtları Peer NGA veri bankasından temin edilmiştir [39]. Şekilde soldaki çizim X doğrultusunda binalara etkiyen deprem kayıtlarını, sağdaki çizim ise Y doğrultusunda binalara etkiyen deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesini göstermektedir.

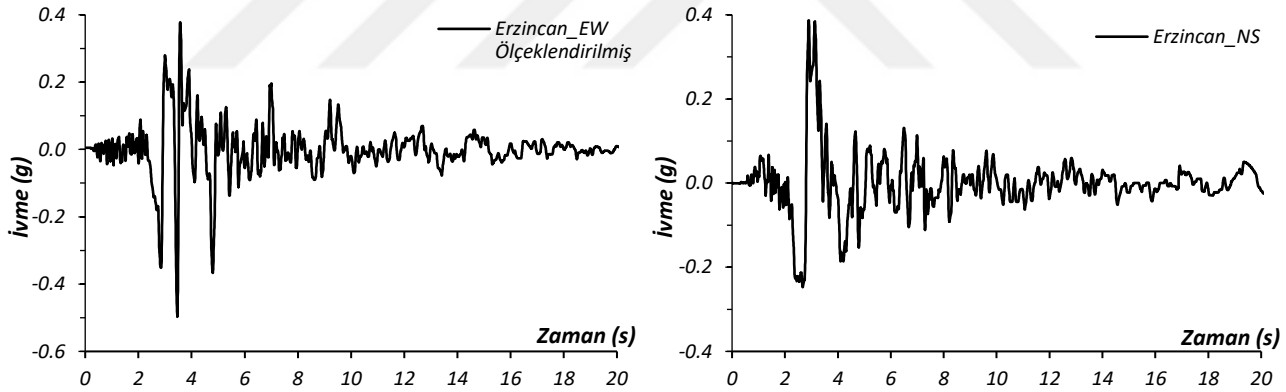


Şekil 4.10 Ölçeklendirilmiş kayıtlara ait periyot-spektrum eğrileri

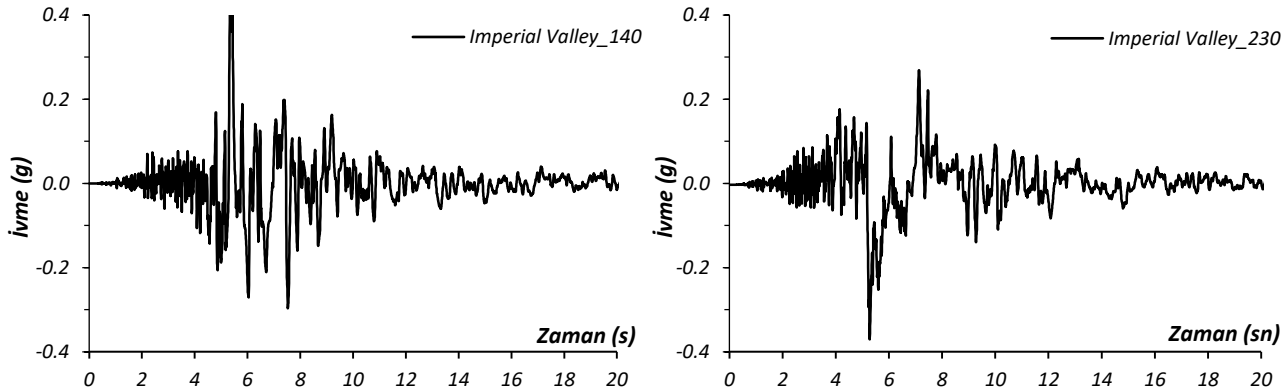
Gerçek kayıtlardan elde edilen spektrumun tasarım ivme spektrumunun bütün periyotları ile uyumlu olarak elde edilmesi olanaklı değildir. Ancak yeterli derecede doğruluk sağlanması için yönetmelikte verilen, **3.2.3**'de özetlenen kurallara uyularak ölçeklendirme yapılmaktadır. Seçilen 7 depremlerin iki yatay doğrultusu esas alınarak DD1 deprem düzeyi spektrumlarına göre ölçeklendirilmiştir. Orijinal deprem ivme kayıtları maksimum deprem ivmesini içerecek şekilde seçilen süre aralıklarına göre aşağıda Şekil 4.11-17 arasında verilmiştir.



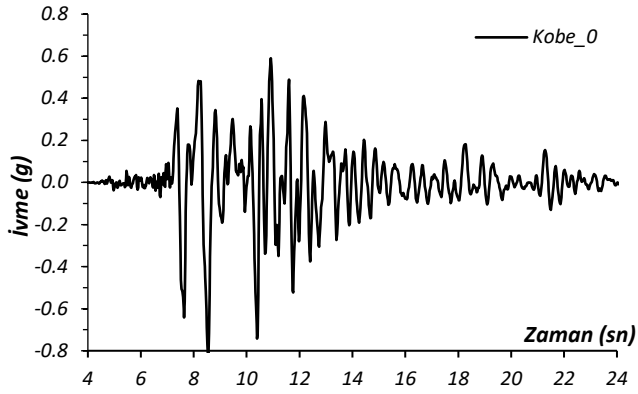
Şekil 4.11 Chi-Chi depremi ivme kayıtları

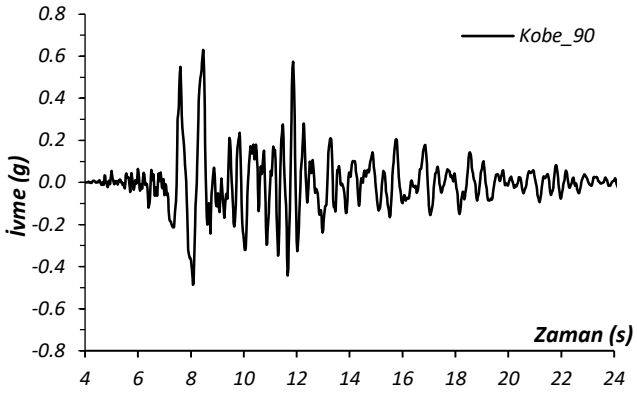


Şekil 4.12 Erzincan depremi ivme kayıtları

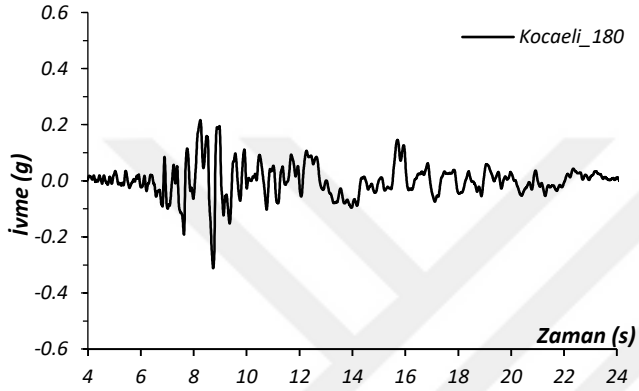


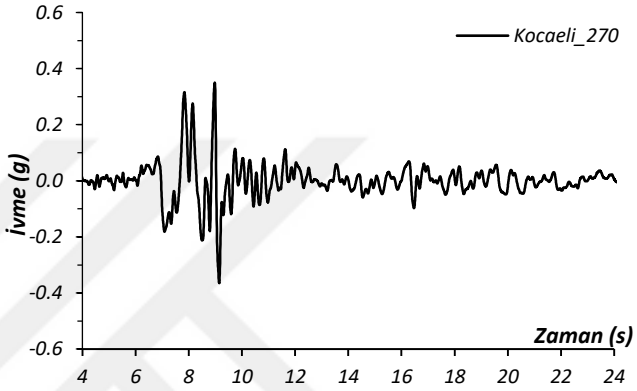
Şekil 4.13 Imperial Valley depremi ivme kayıtları



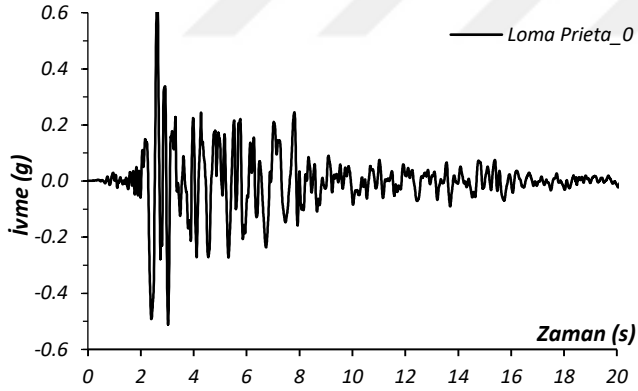


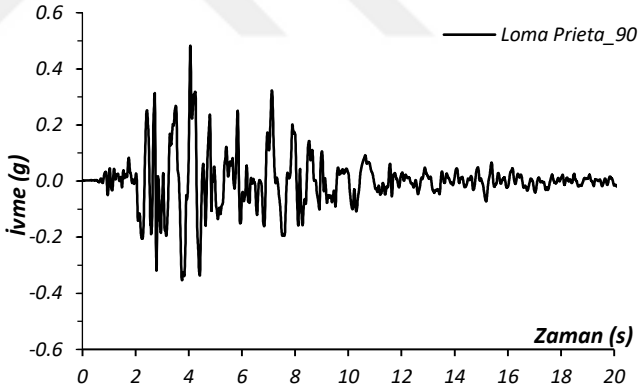
Şekil 4.14 Kobe depremi ivme kayıtlar



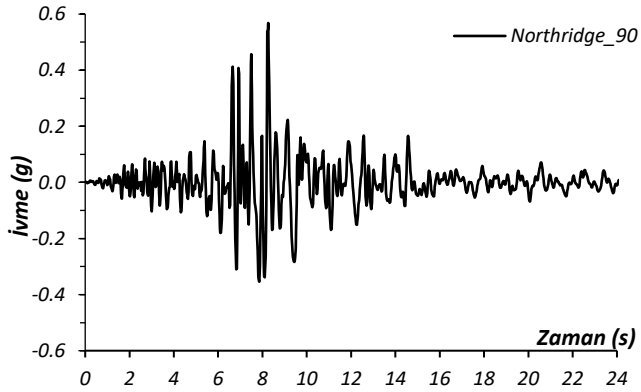


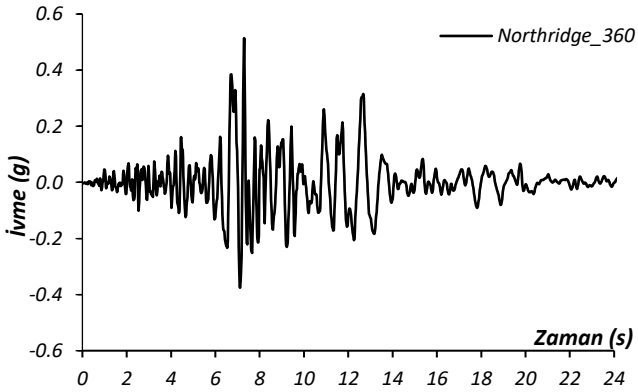
Şekil 4.15 Kocaeli depremi ivme kayıtları





Şekil 4.16 Loma Prieta depremi ivme kayıtları





Şekil 4.17 Northridge depremi ivme kayıtları

4.4 Taşıyıcı Sistem Modellenmesine İlişkin Kurallar

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan binaların taşıyıcı sistem modellenmesinde kullanılan kabuller özetlenmiştir. Kolon, perde, kiriş elemanların modellenme kurallarının yanında özellikle doğrusal olmayan davranış ile ortaya çıkan çevrimsel davranışın tanımlanması, genel kabul görmüş malzeme modellerinin kullanılması, doğru sönüm oranının seçimi son derece önemlidir. Ayrıca etkin kesit rijitliklerinin tanımlanması, diyafram çalışma biçiminin irdelenmesi, deprem etkilerinin tanımlanması ile ilgili kurallar çalışmada kullanılan iki tasarım aşaması için aşağıda özetlenmiştir.

4.4.1 Doğrusal Hesap için Modelleme

Dayanıma Göre Tasarım kapsamında yapılacak doğrusal hesapta kullanılmak üzere, TBDY2016 taslak yönetmeliği gözönünde bulundurularak taşıyıcı sistemleri modelleme ile ilgili dikkate alınan kurallar bu kısımda özetlenmiştir.

- Bina taşıyıcı sistemleri daima üç boyutlu olarak modellenmiştir.
- Birbirine dik X-X ve Y-Y yatay doğrultularındaki deprem etkileri dikkate alınmıştır.
- Sönüm oranı, %5 olarak alınmıştır.
- Betonarme kolon ve kiriş ve perdelerin etkin kesit rijitlikleri Çizelge 4.4'e göre belirlenmiştir. Her iki çarpan da hesap modelinde dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.4 Betonarme taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlikleri

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

- Kiriş ve kolonlar, çerçeve (çubuk) sonlu elemanları olarak modellenmiştir. Kolon ve kirişlerin birleştiği düğüm noktalarında 6 serbestlik derecesinin tümü gözönüne alınmıştır. Döşemeler yarı rijit diyafram olarak modellenmiştir.
- Enkesit şekli dikdörtgen, I, T, L, U veya C olan betonarme perdeler hem düzlem içi hem de düzlem dışı yerdeğiştirmelere ilişkin serbestlik derecelerini içeren kabuk sonlu elemanlarla modellenmiştir Kabuk sonlu elemanların birleştiği düğüm noktalarında 6 serbestlik derecesinin tümü gözönüne alınmıştır.
- Enkesit şekli dikdörtgen, I, T, L, U veya C olan perdeler için diğer bir modellemede, plandaki en büyük perde kolu uzunluğunun toplam perde yüksekliğine oranının 1/4'ü aşmadığı durumlarda, ekseni enkesit ağırlık merkezinden geçen eşdeğer çubuk sonlu eleman olarak yapılabilirler. Bu durumda, kat seviyesinde kiriş ve döşeme sonlu elemanları ile birleştiği bağlantıların fiziksel olarak rijit çubuklarla yapılması sakıncalıdır.
- Betonarme bağ kirişlerinin yüksek kesme dayanımına sahip olmalarını sağlamak üzere çapraz donatılarla düzenlenebilmesi için net açıklık/yükseklik oranın 2'yi geçmeyecek şekilde boyutlandırılmıştır. Bu şart sağlandığı için çubuk olarak modellenmişlerdir.
- A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunmadığı ve düzlem içi önemli şekil değiştirmelerin meydana gelmeyeceğinin beklendiği planda düzenli binalarda, betonarme döşemeler rijit diyafram olarak modellenebilir. Çalışmada kullanılan analiz modellerinde yarı rijit diyafram modeli dikkate alınmış, ek dışmerkezlik etkisinin gözönüne alınması için kat kütle merkezine (ana düğüm noktası) etkiyen yatay deprem yükleri, gözönüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve –%5'i kadar kaydırılarak deprem hesabı yapılmıştır.
- Ayrıca düzensizlikler sağlanamıyor ise düzlem içi yerdeğiştirmelere ilişkin serbestlik derecelerini içermek üzere iki boyutlu levha (membran) sonlu elemanlar ile modellenecektir. Ayrıca bodrum katlarında ve geçiş katlarında düzensizliklere bakılmaksızın bu modellemenin kullanılması gereklidir.

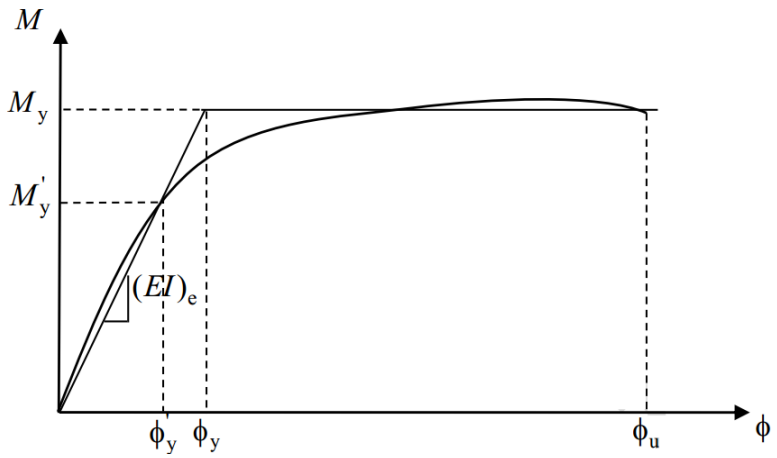
4.4.2 Doğrusal Olmayan Hesap için Modelleme

- Bina taşıyıcı sistemleri üç boyutlu olarak modellenmiştir.
- Birbirine dik X-X ve Y-Y yatay doğrultularındaki, zaman tanım alanındaki deprem etkileri taşıyıcı sisteme eşzamanlı olarak etkitilmiştir.
- Doğrusal sönüm oranı, %2.5 alınmıştır.
- Düşey yüklerin şekil değiştirmiş taşıyıcı sistemde meydana getirdiği ikinci mertebe gözönüne alınmıştır.
- Yeni yapılacak binaların şekil değiştirmeye göre değerlendirilme ve tasarımında beton ve donatı çeliği ile yapı çeliğinin Çizelge 4.5'de tanımlanan beklenen ortalama dayanımları esas alınacaktır. Çizelgede f_{ce} ve f_{ck} betonun ortalama ve karakteristik basınç dayanımlarını, f_{ye} ve f_{yk} ise çeliğin ortalama ve karakteristik akma dayanımlarını göstermektedir.

Çizelge 4.5 Ortalama malzeme dayanımları

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

- Kolon-birleşim bölgeleri rijit modellenmiştir.
- Kiriş ve kolonlar, çerçeve (çubuk) sonlu elemanları olarak modellenmiş ve doğrusal olmayan davranış, elemanların uçlarında tanımlanan sonlu plastik şekil değiştirme bölgelerinde **2.5.6**'ya göre yayılı plastik davranış modeli ile yapılmıştır.
- Uçlardaki plastik mafsalların arasında kalan uzunluk boyunca betonarme kolon ve kirişler doğrusal elemanlar olarak modellenmiştir. Bu elemanların etkin kesit rijitlikleri için Çizelge 3.10 esas alınmıştır.
- Doğrusal çubuk eleman olarak modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi ve perdelerin etkin kesit rijitlikleri Denk. (4.1) esas alınarak da yapılabilir.



Şekil 4.18 Etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi

$$(EI)_e = \frac{M_y^{'}}{\phi_y^{'}} = \frac{M_y}{\phi_y} \qquad (4.1)$$

- Kolon ve kirişlerde plastik mafsallar, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulmuştur. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği noktalar varsa bunlar da dikkate alınmalıdır.

- Perdelerde doğrusal olmayan davranış modeli olarak plastik mafsal modeli kullanılabilir. Plastik mafsallar, her katta perde kesiminin alt ucuna konulabilir. Plastik mafsalların arasında kalan uzunluk boyunca perdeler doğrusal elemanlar olarak modellenebilir. Ancak Bölüm 13 kapsamındaki yüksek binalar için **2.5.6**'da tanımlanan kesit hücresi lif modelinin kullanılması zorunlu olduğundan, çalışmada bu modelleme kullanılmıştır.

- Bağ kirişli (boşluklu) perdelerin bağ kirişlerinin doğrusal olmayan modelleri kolon ve kirişler için verilen modelleme kurallarına uyularak çubuk eleman olarak modellenmiştir.

- Çapraz donatılı bağ kirişleri, orta kesitlerinde tanımlanacak kesme mafsalları ile modellenebilir. Bağ kirişlerinde çapraz donatıya ihtiyaç duyulmadığından kesme mafsalları eklenmemiştir.

4.5 Yüklemeler ve Yük Kombinasyonları

Tasarımda dikkate alınacak yüklemeler aşağıda tanımlanmış, yük kombinasyonları Çizelge 4.6'da verilmiştir [40].

Çizelge 4.6 Yük kombinasyonları ve yükleme tanımları

Sıra	***Kombinasyonlar***	***Tanımlamalar***	
1	G + Q	*SW*	Taş. sist. kendi ağırlık yükü
2	1.4 G + 1.6 Q	*AA*	Kaplama yükü
3	0.9G ± 1.3Wxy	*WW*	Duvar yükü
4	G +Q ± 1.3Wxy	*FW*	Cephe yükü
5	1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 Ex ± 0.3Ey	*G*	Zati yüklerin toplamı
6	1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 Ey ± 0.3Ex	*Q*	Hareketli yük
7	0.9 G ± 1.0 Ex ± 0.30Ey	*S*	Kar yükü
8	0.9 G ± 1.0 Ey ±0.30Ex	*Wxy*	Rüzgar yükü
Maks.	ENVBET: Maks (1,2,3,4,5,6,7,8) ENVEQ: Maks (5,6,7,8)	*Ex*	X-X doğrultusu depremi
		Ey	Y-Y doğrultusu depremi

Binanın boyutları aşırı büyük olarak seçilmediği ve düzensizlik içeren bir durum olmadığı için sıcaklık yükleri kullanılmamıştır. Binalar TBDY2016 taslak yönetmeliğine göre herhangi bir düzensizlik içermeyecek şekilde tasarlanmıştır. Deprem yükleri binaya %5 dışmerkezlik gözönünde bulundurularak etkitilmiştir.

Tüm modellerde işlem kolaylığı için her katta kaplama yükü (AA) 2.2 kN/m^2 ve hareketli yük (Q) 3.5 kN/m^2 kabul edilmiştir. Binaların çevre eksen kısımlarında kullanılabilecek cam vs. cephe sistemleri için bu kısımda kullanılan kirişler üzerine yaklaşık hesap yapılarak 8.125 kN/m^2 yüklenmiştir. Binaların iç kısımlarında kullanılabilecek ara bölme duvarları için yükleme (WW) olarak iç bağlantı kirişleri üzerine 7 kN/m^2 yükleme yapılmıştır. Ayrıca döşeme üzerine gelebilecek duvar yükleri yayılı yük şeklinde idealleştirilip 1.5 kN/m^2 olarak yükleme yapılmıştır. Çatı kısmına döşeme elemanların üzerine gelebilecek kar yüklemesi olarak 0.75 kN/m^2 yükleme yapılmıştır. Taşıyıcı sistem üzerine gelen tüm zati yüklemler tek bir yük altında toplanarak (G = SW+WW+FW+AA) kombinasyonlara dahil edilmiştir. Tasarım sürecinde kombinasyon etkilerinin maksimum

değerlerinin kolay hesaplanması için ENVBET ve ENVEQ kombinasyonları tanımlanmıştır. Bu kombinasyonlar ile tabloda numaralandırılmış kombinasyon gruplarına ait sonuçların maksimum değerleri hesaplanmaktadır.

Binaların doğrusal veya doğrusal olmayan dinamik analizlerinde, kat kütlelerinin hesabı için bilinmesi gereken hareketli yük katılım katsayısı, n, İYBDY-2008'de verilen tanıma göre 0.3 değerinden daha büyük alınmamalıdır. TBDY2016 taslak yönetmeliğinde tanımlanan ve Çizelge 3.8'de verilen tanımlama dikkate alınarak bu katsayı 0.25 olarak belirlenmiştir. Böylelikle alınan kütle, G+0.25Q+0.25S yüklemelerinin birleşimi olur.

4.6 Doğrusal Analiz Tasarım Aşaması (Tasarım Aşaması 1)

Bu tasarım aşamasında Can Güvenliği hedef performansını sağlamak için ön boyutlandırma yapılmıştır. Dayanıma Göre Tasarım esasları ve DD-2 deprem düzeyinde azaltılmış deprem yükleri dikkate alınarak doğrusal elastik analiz yapılmış ve bina elemanlarının detayları belirlenmiştir. ETABS [44] programında, mod birleştime yöntemiyle lineer üç boyutlu analizler yapılmıştır. Analizlerde dikkate alınan gerekli mod sayısı, toplam taban kesme kuvvetine katılan kütle miktarının depremde harekete geçen toplam kütle miktarının en az %95'i olacak şekilde seçilmiştir.

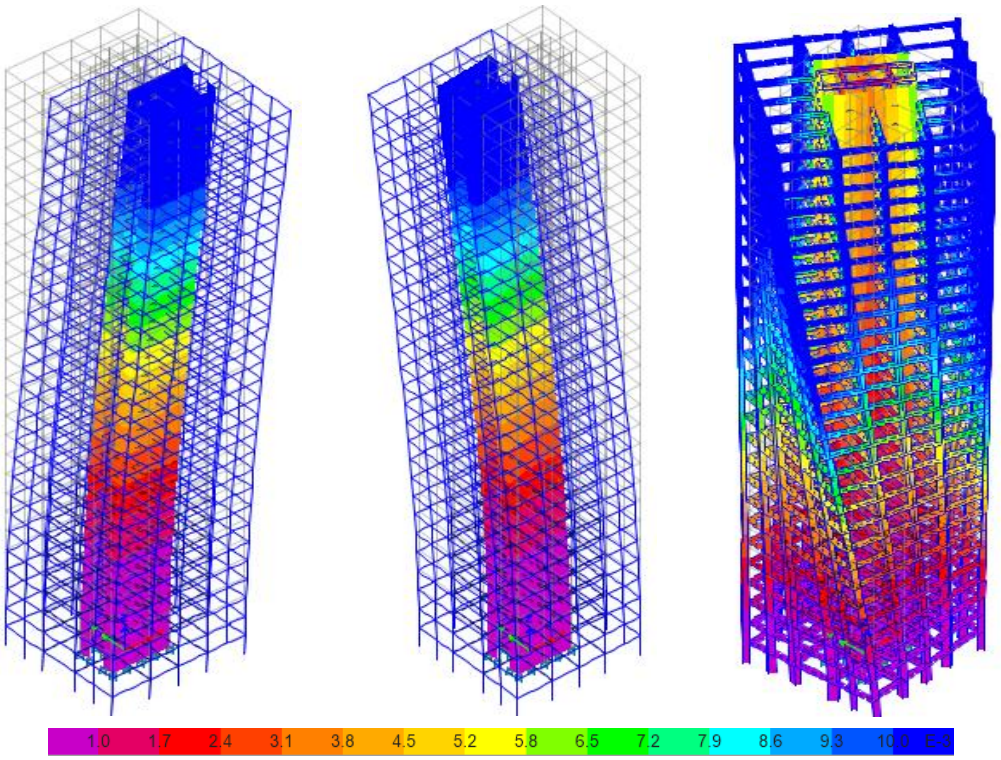
Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yerdeğiştirme ve göreli kat ötelenmesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere her titreşim modu için hesaplanan ve eş zamanlı olmayan maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme (CQC) kuralı uygulanmıştır.

4.6.1 Modal Analiz Sonuçları ve Göreli Kat Ötelenmeleri

Belirtilen modelleme kuralları ve hesap yaklaşımlarının uygulanması ile hesaplanan periyod, açısal frekans ve etkin kütle katılım oranları Model 1 için Çizelge 4.7' de, Model 2 için Çizelge 4.8'de ve Model 3 için Çizelge 4.9'da verilmiştir. Ayrıca modellerin ilk üç mod şekli, Model 1,2,3 için sırasıyla Şekil 4.19-21'de verilmiştir. Tüm modellerde ilk mod şekillerinin ötelenme modu olmasına dikkat edilerek taşıyıcı sistemler belirlenmiştir. Üçüncü mod şekli tüm modellerde burulma modu olarak ortaya çıkmıştır. Model 2 burulma modu açısından en kritik taşıyıcı sisteme sahip olup özellikle çevre eksenlere yerleştirilmiş olan çapraz elemanlar burulma modunun etkisini azaltmıştır.

Çizelge 4.7 Model 1 modal analiz sonuçları

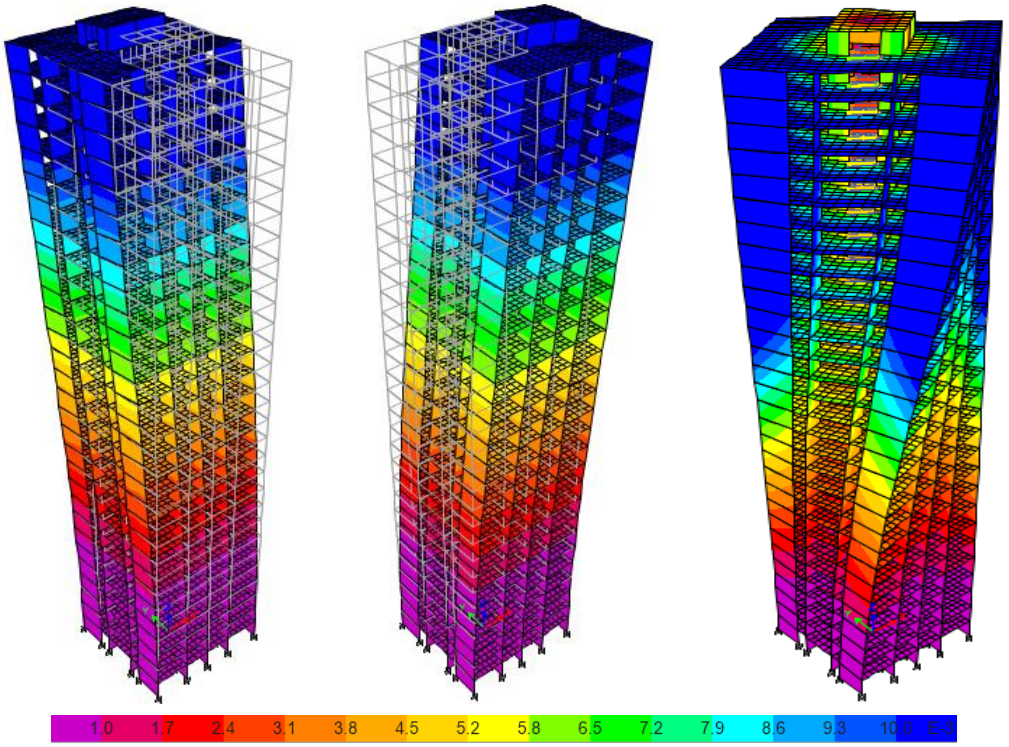
Mode	Periyot (s)	Açısal Fre. (rad/s)	Etkin Kütle Katılım Oranları					
			X (%)	Y (%)	RZ (%)	ΣX (%)	ΣY (%)	ΣRZ (%)
1	2.41	2.61	0.0	60.0	0.0	0.0	60.0	0.0
2	2.20	2.86	59.3	0.0	0.0	59.3	60.0	0.0
3	1.53	4.11	0.0	0.0	71.5	59.3	60.0	71.5
4	0.63	9.96	0.0	19.3	0.0	59.3	79.3	71.5
5	0.56	11.13	0.0	0.0	12.4	59.3	79.3	83.9
6	0.55	11.38	19.0	0.0	0.0	78.3	79.3	83.9
7	0.33	19.03	0.0	0.0	5.6	78.3	79.3	89.4
8	0.29	21.65	0.0	7.7	0.0	78.3	86.9	89.4
9	0.24	26.27	7.9	0.0	0.0	86.2	86.9	89.4
10	0.22	28.39	0.0	0.0	3.1	86.2	86.9	92.5
11	0.18	35.58	0.0	4.0	0.0	86.2	91.0	92.5
12	0.17	37.55	0.0	0.0	1.6	86.2	91.0	94.1
13	0.14	45.45	4.4	0.0	0.0	90.5	91.0	94.1
14	0.13	46.82	0.0	0.0	1.2	90.5	91.0	95.3
15	0.13	49.89	0.0	2.1	0.0	90.5	93.1	95.3
16	0.11	55.74	0.0	0.0	0.9	90.5	93.1	96.2
17	0.10	64.37	0.0	0.0	0.6	90.5	93.1	96.8
18	0.10	64.40	0.0	1.4	0.0	90.5	94.5	96.8
19	0.09	66.56	2.6	0.0	0.0	93.1	94.5	96.8
20	0.09	72.18	0.0	0.0	0.5	93.1	94.5	97.2
21	0.08	78.72	0.0	1.1	0.0	93.1	95.6	97.2
22	0.08	80.15	0.0	0.0	0.4	93.1	95.6	97.6
23	0.07	87.92	1.7	0.0	0.0	94.8	95.6	97.6
24	0.07	88.33	0.0	0.0	0.3	94.8	95.6	97.9
25	0.07	92.83	0.0	0.7	0.0	94.8	96.2	97.9



Şekil 4.19 Model 1 için ilk 3 mod şekli

Çizelge 4.8 Model 2 modal analiz sonuçları

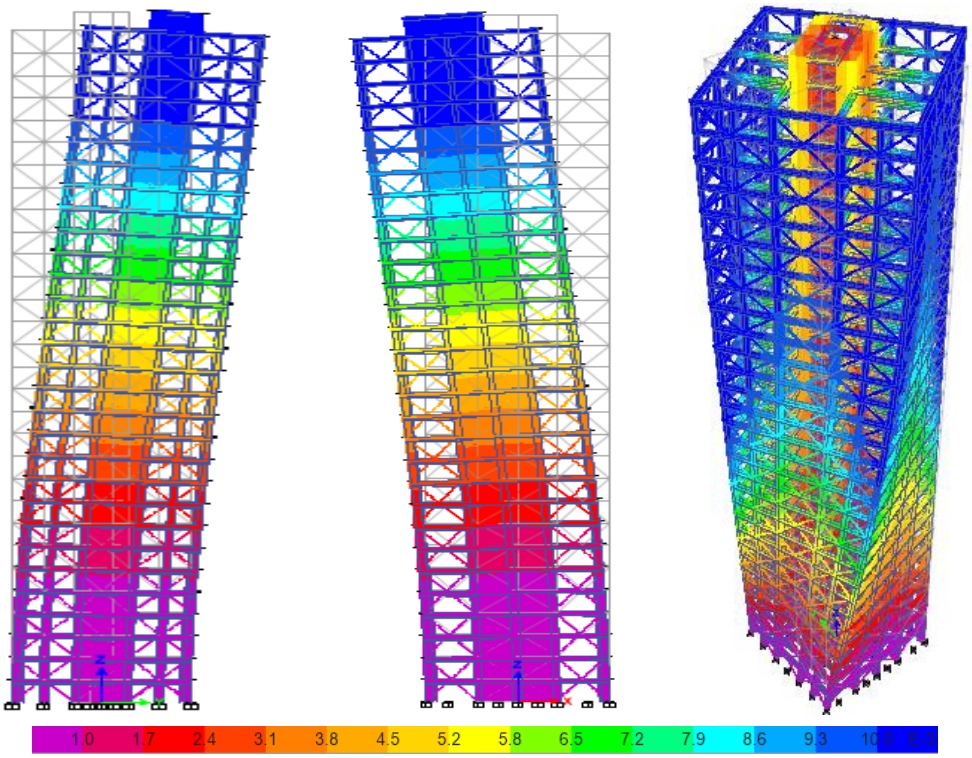
Mode	Periyot (s)	Açısal Fre. (rad/s)	Etkin Kütle Katılım Oranları					
			X (%)	Y (%)	RZ (%)	ΣX (%)	ΣY (%)	ΣRZ (%)
1	2.40	2.62	0.0	61.1	0.0	0.0	61.1	0.0
2	2.23	2.82	60.9	0.0	0.0	60.9	61.1	0.0
3	1.87	3.36	0.0	0.0	65.2	60.9	61.1	65.2
4	0.61	10.37	0.0	0.0	15.6	60.9	61.1	80.8
5	0.59	10.60	0.0	17.9	0.0	60.9	79.0	80.8
6	0.54	11.55	17.5	0.0	0.0	78.4	79.0	80.8
7	0.31	20.48	0.0	0.0	6.2	78.4	79.0	87.0
8	0.27	23.71	0.0	7.3	0.0	78.4	86.3	87.0
9	0.24	26.70	7.6	0.0	0.0	86.0	86.3	87.0
10	0.19	33.71	0.0	0.0	3.6	86.0	86.3	90.6
11	0.16	40.05	0.0	4.0	0.0	86.0	90.2	90.6
12	0.14	46.08	4.3	0.0	0.0	90.3	90.2	90.6
13	0.13	49.69	0.0	0.0	2.2	90.3	90.2	92.8
14	0.11	58.72	0.0	2.3	0.0	90.3	92.5	92.8
15	0.09	67.85	2.6	0.0	0.0	92.8	92.5	92.8
16	0.09	68.14	0.0	0.0	1.6	92.8	92.5	94.3
17	0.08	79.80	0.0	1.6	0.0	92.8	94.1	94.3
18	0.07	87.85	0.0	0.0	1.1	92.8	94.1	95.4
19	0.07	89.92	1.7	0.0	0.0	94.6	94.1	95.4
20	0.06	102.15	0.0	1.1	0.0	94.6	95.2	95.4
21	0.06	108.60	0.0	0.0	0.8	94.6	95.2	96.3
22	0.06	110.68	1.2	0.0	0.0	95.8	95.2	96.3
23	0.05	126.46	0.0	0.8	0.0	95.8	96.0	96.3
24	0.05	128.94	0.0	0.0	0.6	95.8	96.0	96.9
25	0.05	129.65	0.8	0.0	0.0	96.6	96.0	96.9



Şekil 4.20 Model 2 için ilk 3 mod şekli

Çizelge 4.9 Model 3 modal analiz sonuçları

Mode	Periyot (s)	Açısal Fre. (rad/s)	Etkin Kütle Katılım Oranları					
			X (%)	Y (%)	RZ (%)	ΣX (%)	ΣY (%)	ΣRZ (%)
1	1.88	3.35	0.0	61.2	0.0	0.0	61.2	0.0
2	1.71	3.67	60.8	0.0	0.0	60.8	61.2	0.0
3	0.74	8.49	0.0	0.0	78.6	60.8	61.2	78.6
4	0.48	13.16	0.0	20.5	0.0	60.8	81.6	78.6
5	0.43	14.58	19.7	0.0	0.0	80.5	81.6	78.6
6	0.26	24.43	0.0	0.0	10.3	80.5	81.6	89.0
7	0.23	27.83	0.0	6.9	0.0	80.5	88.5	89.0
8	0.20	31.87	7.0	0.0	0.0	87.5	88.5	89.0
9	0.16	40.58	0.0	0.0	3.9	87.5	88.5	92.9
10	0.14	44.07	0.0	3.5	0.0	87.5	92.1	92.9
11	0.12	52.49	3.9	0.0	0.0	91.4	92.1	92.9
12	0.11	57.09	0.0	0.0	2.1	91.4	92.1	95.0
13	0.10	61.15	0.0	1.9	0.0	91.4	93.9	95.0
14	0.09	74.23	0.0	0.0	1.2	91.4	93.9	96.2
15	0.08	75.31	2.3	0.0	0.0	93.8	93.9	96.2
16	0.08	78.25	0.0	1.3	0.0	93.8	95.2	96.2
17	0.07	90.44	0.0	0.0	0.9	93.8	95.2	97.1
18	0.07	95.32	0.0	0.9	0.0	93.8	96.2	97.1
19	0.06	98.74	1.6	0.0	0.0	95.3	96.2	97.1
20	0.06	106.24	0.0	0.0	0.6	95.3	96.2	97.6
21	0.06	112.98	0.0	0.6	0.0	95.3	96.8	97.6
22	0.05	121.35	1.1	0.0	0.0	96.5	96.8	97.6
23	0.05	122.10	0.0	0.0	0.4	96.5	96.8	98.1
24	0.05	129.76	0.0	0.5	0.0	96.5	97.3	98.1
25	0.05	137.24	0.0	0.0	0.3	96.5	97.3	98.4



Şekil 4.21 Model 3 için ilk 3 mod şekli

Çizelge 4.10 Kat kütleleri ve katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü

Katlar	Model 1		Model 2		Model 3	
	$m_{x,y}$ (kNs²/m)	V_{EX-EY} (kN)	$m_{x,y}$ (kNs²/m)	V_{EX-EY} (kN)	$m_{x,y}$ (kNs²/m)	V_{EX-EY} (kN)
31	125	102	115	92	125	102
30	630	500	634	498	642	510
29	768	591	799	608	792	609
28	768	571	799	586	792	588
27	768	551	799	565	792	567
26	768	530	799	546	792	546
25	768	510	799	524	792	525
24	768	489	799	503	792	504
23	768	469	799	482	792	483
22	824	482	818	472	848	495
21	851	475	835	460	875	487
20	851	452	835	438	875	464
19	851	429	835	416	875	441
18	851	407	835	395	875	418
17	851	384	835	373	875	394
16	851	362	835	351	875	371
15	851	339	835	329	875	348
14	893	332	857	315	917	340
13	923	319	875	298	947	326
12	923	294	875	275	947	301
11	923	270	875	252	947	276
10	923	245	875	229	947	251
9	923	221	875	207	947	226
8	987	210	936	196	1,011	214
7	1,022	190	993	182	1,046	194
6	1,031	164	993	156	1,055	168
5	1,043	138	993	130	1,067	141
4	1,060	113	1,033	108	1,084	115
3	1,077	86	1,073	83	1,101	88
2	1,077	57	1,073	55	1,101	58
1	1,077	29	1,077	26	1,101	29
Toplam	26,796	10,305	26,410	10,156	27,503	10,576

Çalışmada ele aldığımız taşıyıcı sistemlerden Model 1 ve Model 3'ün ''A15'' taşıyıcı sistem sınıfında (R=7) ve Model 2'nin de ''A13'' taşıyıcı sistem sınıfında (R=6) olduğu dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Model 1 için hesaplamalar aşağıda yapılmıştır.

$$T_x = 2.20\ sn \quad \rightarrow \quad S_{ae}(T_x) = S_{d1} / T = 0.33 / 2.20 = 0.15$$

$$T_y = 2.41\ sn \quad \rightarrow \quad S_{ae}(T_y) = S_{d1} / T = 0.33 / 2.41 = 0.137$$

$$V_{tE}^{(x)} = 26796 * 9.81 * 0.150 / 7 = 5633\ kN < 0.04 * 26796 * 1 * 0.98 * 9.81 = 10305\ kN$$

$$V_{tE}^{(y)} = 26796 * 9.81 * 0.137 / 7 = 5145\ kN < 0.04 * 26796 * 1 * 0.98 * 9.806 = 10305\ kN$$

Model 2 için hesaplamalar aşağıda yapılmıştır.

$T_x = 2.23\ sn \quad \rightarrow \quad S_{ae}(T_x) = S_{d1} / T = 0.33 / 2.23 = 0.148$

$T_y = 2.40\ sn \quad \rightarrow \quad S_{ae}(T_y) = S_{d1} / T = 0.33 / 2.40 = 0.1375$

$V_{tE}^{(x)} = 26410 * 9.81 * 0.148 / 6 = 6391\ kN < 0.04 * 26410 * 1 * 0.98 * 9.81 = 10156\ kN$

$V_{tE}^{(y)} = 26410 * 9.81 * 0.1375 / 6 = 5938\ kN < 0.04 * 26410 * 1 * 0.98 * 9.81 = 10156\ kN$

Model 3 için hesaplamalar aşağıda yapılmıştır.

$T_x = 1.71\ sn \quad \rightarrow \quad S_{ae}(T_x) = S_{d1} / T = 0.33 / 1.71 = 0.193$

$T_y = 1.88\ sn \quad \rightarrow \quad S_{ae}(T_y) = S_{d1} / T = 0.33 / 1.88 = 0.176$

$V_{tE}^{(x)} = 27503 * 9.81 * 0.193 / 7 = 7439\ kN < 0.04 * 27503 * 1 * 0.98 * 9.81 = 10576\ kN$

$V_{tE}^{(y)} = 27503 * 9.81 * 0.176 / 7 = 6784\ kN < 0.04 * 27503 * 1 * 0.98 * 9.81 = 10576\ kN$

Tüm modellerde periyoda bağlı hesaplanan kuvvetler yönetmelikte tanımlanan minumum taban kesme kuvvetinden küçük olmaktadır. Bundan dolayı mod birleştirme yöntemi ile karşılaştırmada minumum taban kesme kuvveti değerleri kullanılacaktır.

$Model\ 1\ için\ \ \beta_{tE}^{x} = \frac{V_{tE}}{V_{tx}} = \frac{10305}{7381} = 1.39 \quad \beta_{tE}^{y} = \frac{V_{tE}}{V_{ty}} = \frac{10305}{7427} = 1.388 \rightarrow \beta_{tE} = 1.4\ alındı.$

$Model\ 2\ için\ \ \beta_{tE}^{x} = \frac{V_{tE}}{V_{tx}} = \frac{10156}{7855} = 1.29 \quad \beta_{tE}^{y} = \frac{V_{tE}}{V_{ty}} = \frac{10156}{7880} = 1.29 \rightarrow \beta_{tE} = 1.3\ alındı.$

$Model\ 3\ için\ \ \beta_{tE}^{x} = \frac{V_{tE}}{V_{tx}} = \frac{10576}{10036} = 1.05 \quad \beta_{tE}^{y} = \frac{V_{tE}}{V_{ty}} = \frac{10576}{10489} = 1.01 \rightarrow \beta_{tE} = 1.1\ alındı.$

Minimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen, eşdeğer deprem yükü yöntemine göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı R_x ve R_y değerleri aşağıdaki gibidir. Taban kesme kuvveti için katsayı C_{min} = 0.04*0.98*1≈0.04 olarak dikkate alınacaktır. Çizelge 4.10'da verilen eşdeğer deprem yükleri, bu değer dikkate alınarak hesaplanmıştır.

$Model\ 1\ için\ \ R_x = \frac{S_{ae}(T_x)}{C_{\min}} = \frac{0.15}{0.04} = 3.75 \quad R_y = \frac{S_{ae}(T_y)}{C_{\min}} = \frac{0.137}{0.04} = 3.425$

$Model\ 2\ için\ \ R_x = \frac{S_{ae}(T_x)}{C_{\min}} = \frac{0.148}{0.04} = 3.7 \quad R_y = \frac{S_{ae}(T_y)}{C_{\min}} = \frac{0.1375}{0.04} = 3.438$

$Model\ 3\ için\ \ R_x = \frac{S_{ae}(T_x)}{C_{\min}} = \frac{0.193}{0.04} = 4.825 \quad R_y = \frac{S_{ae}(T_y)}{C_{\min}} = \frac{0.176}{0.04} = 4.4$

TBDY2016 taslak yönetmeliğine göre tasarımda yerdeğiştirme ve kat ötelenmesi sınır şartlarının aşılmaması sağlanmıştır. X-X doğrultusunda tüm modellerde **4.5**'de tanımlanan kombinasyon etkileriyle meydana gelen maksimum deplasman ve göreli kat ötelenme değerleri Çizelge 4.11'de verilmiştir. Göreli kat ötelenmesi için sınır değerinin hesaplanması Denk. (2.3) kullanılarak yapılmıştır. Denklemdeki λ katsayısı, DD3 depremi elastik spektral ivmesinin, DD2 depreminin elastik spektral ivmesine oranıdır.

$$\lambda * \frac{\delta_{i,\max}}{h_i} = \left(\approx \frac{(S_{D1})_{DD3} = 0.135}{(S_{D1})_{DD2} = 0.330} \right) * \frac{\delta_{i,\max}}{h_i} \le 0.008 \longrightarrow \frac{\delta_{i,\max}}{h_i} \le 0.0196$$

Çizelge 4.11 X-X doğrultusu maksimum deplasman ve göreli kat ötelenmeleri

Kat	h_i (m)	Model 1		Model 2		Model 3	
		$d_{i\text{-}max}$ (m)	$R\Delta_i / h_i$	$d_{i\text{-}max}$ (m)	$R\Delta_i / h_i$	$d_{i\text{-}max}$ (m)	$R\Delta_i / h_i$
31	*108*	0.134	0.0115	0.187	0.0138	0.067	0.0055
30	*105*	0.134	0.0114	0.185	0.0142	0.065	0.0054
29	*101.5*	0.129	0.0120	0.177	0.0144	0.062	0.0060
28	*98*	0.123	0.0121	0.169	0.0144	0.060	0.0054
27	*94.5*	0.118	0.0123	0.161	0.0145	0.057	0.0061
26	*91*	0.112	0.0124	0.153	0.0145	0.055	0.0057
25	*87.5*	0.106	0.0124	0.145	0.0146	0.052	0.0062
24	*84*	0.100	0.0124	0.137	0.0146	0.050	0.0059
23	*80.5*	0.095	0.0123	0.129	0.0146	0.047	0.0062
22	*77*	0.089	0.0118	0.121	0.0144	0.044	0.0060
21	*73.5*	0.083	0.0118	0.113	0.0143	0.042	0.0061
20	*70*	0.078	0.0117	0.105	0.0142	0.039	0.0059
19	*66.5*	0.072	0.0115	0.097	0.0140	0.036	0.0060
18	*63*	0.067	0.0114	0.089	0.0137	0.034	0.0059
17	*59.5*	0.061	0.0112	0.081	0.0134	0.031	0.0058
16	*56*	0.056	0.0109	0.073	0.0130	0.029	0.0057
15	*52.5*	0.051	0.0107	0.066	0.0126	0.026	0.0055
14	*49*	0.045	0.0102	0.059	0.0121	0.024	0.0056
13	*45.5*	0.040	0.0099	0.052	0.0115	0.021	0.0052
12	*42*	0.036	0.0095	0.045	0.0110	0.019	0.0052
11	*38.5*	0.031	0.0091	0.039	0.0104	0.017	0.0048
10	*35*	0.027	0.0086	0.033	0.0097	0.015	0.0048
9	*31.5*	0.022	0.0080	0.028	0.0089	0.012	0.0044
8	*28*	0.019	0.0073	0.022	0.0080	0.011	0.0044
7	*24.5*	0.015	0.0067	0.018	0.0073	0.009	0.0038
6	*21*	0.012	0.0060	0.014	0.0065	0.007	0.0038
5	*17.5*	0.009	0.0053	0.010	0.0055	0.005	0.0032
4	*14*	0.006	0.0045	0.007	0.0046	0.004	0.0031
3	*10.5*	0.004	0.0036	0.004	0.0035	0.003	0.0024
2	*7*	0.002	0.0027	0.002	0.0024	0.002	0.0025
1	*3.5*	0.001	0.0015	0.001	0.0014	0.001	0.0012
Taban	*0*	0.000	0	0.000	0	0.000	0

Y-Y doğrultusunda tüm modellerde **4.5**'de tanımlanan kombinasyon etkileriyle meydana gelen maksimum deplasman ve göreli kat ötelenme değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir. X-X doğrultusu için hesaplanmış olan göreli kat ötelenmesi sınır değeri (0.0196) Y-Y doğrultusu için de değişmemektedir. Tabloda hesaplanmış olan değerlerinin bu sınır değerden daha küçük olduğu görülebilir. Ancak bu doğrultuda hesaplanmış değerlerin X-X doğrultusuna göre daha büyük olduğu görülmektedir. Özellikle Model 3'de üst katlarda daha küçük değerlerde göreli kat ötelenmeleri görülmüştür.

Çizelge 4.12 Y-Y doğrultusu maksimum deplasman ve göreli kat ötelenmeleri

Kat	***h_i (m)***	***Model 1***		***Model 2***		***Model 3***	
		$d_{i\text{-}max}$ (m)	***$R\Delta_i/h_i$***	***$d_{i\text{-}max}$ (m)***	***$R\Delta_i/h_i$***	***$d_{i\text{-}max}$ (m)***	***$R\Delta_i/h_i$***
31	*108*	0.148	0.0120	0.202	0.0147	0.074	0.0061
30	*105*	0.148	0.0120	0.199	0.0150	0.072	0.0060
29	*101.5*	0.142	0.0126	0.191	0.0152	0.069	0.0066
28	*98*	0.136	0.0130	0.182	0.0153	0.066	0.0060
27	*94.5*	0.130	0.0133	0.174	0.0154	0.063	0.0069
26	*91*	0.124	0.0135	0.165	0.0156	0.060	0.0064
25	*87.5*	0.118	0.0137	0.157	0.0156	0.057	0.0071
24	*84*	0.111	0.0137	0.148	0.0157	0.055	0.0066
23	*80.5*	0.105	0.0135	0.139	0.0157	0.052	0.0070
22	*77*	0.099	0.0128	0.130	0.0156	0.049	0.0066
21	*73.5*	0.093	0.0128	0.122	0.0155	0.046	0.0069
20	*70*	0.087	0.0127	0.113	0.0153	0.043	0.0065
19	*66.5*	0.081	0.0126	0.105	0.0151	0.040	0.0068
18	*63*	0.075	0.0125	0.096	0.0148	0.037	0.0064
17	*59.5*	0.069	0.0123	0.088	0.0145	0.034	0.0066
16	*56*	0.063	0.0121	0.080	0.0141	0.032	0.0062
15	*52.5*	0.057	0.0119	0.072	0.0136	0.029	0.0062
14	*49*	0.052	0.0111	0.064	0.0131	0.026	0.0059
13	*45.5*	0.046	0.0109	0.057	0.0125	0.023	0.0058
12	*42*	0.041	0.0106	0.049	0.0119	0.021	0.0056
11	*38.5*	0.036	0.0101	0.043	0.0112	0.019	0.0054
10	*35*	0.031	0.0096	0.036	0.0104	0.016	0.0052
9	*31.5*	0.026	0.0090	0.030	0.0096	0.014	0.0049
8	*28*	0.022	0.0083	0.025	0.0088	0.012	0.0047
7	*24.5*	0.018	0.0077	0.020	0.0080	0.010	0.0043
6	*21*	0.014	0.0071	0.015	0.0071	0.008	0.0044
5	*17.5*	0.010	0.0063	0.011	0.0061	0.006	0.0036
4	*14*	0.007	0.0054	0.007	0.0051	0.005	0.0034
3	*10.5*	0.005	0.0045	0.005	0.0040	0.003	0.0027
2	*7*	0.002	0.0034	0.002	0.0027	0.002	0.0028
1	*3.5*	0.001	0.0016	0.001	0.0013	0.001	0.0013
Taban	*0*	0	0	0	0	0	0

Göreli kat ötelenmelerinin her iki doğrultuda da sınır değerlerden düşük olmasına karşın Y-Y doğrultusunda hesaplanan değerlerin X-X doğrultusuna göre daha büyük olduğu çizelgelerden görülebilir. Bu durumun ana sebebi X-X doğrultusunda yerleştirilmiş olan çekidek perdelerinin diğer doğrultuya göre biraz daha büyük olması ve etkin çalışmasıdır. Binanın simetrik olması ve iki doğrultudaki rijitlik dağılımının benzer olması sonucu, göreli kat ötelenme değerleri arasında fark olmasına karşın bu fark büyük değildir.

Analiz sonuçlarında sadece perde elemanlar kullanılarak oluşturulmuş sistemde en büyük deplasman ve göreli kat ötelenme değerlerine ulaşılmıştır. Ancak bu değerler sınır değerleri karşıladığı için bu aşamada boyutları büyütmeye gerek yoktur.

Model 1 için analiz sonuçları Model 2 için verilen sonuçlara yaklaşık benzer olup göreli kat ötelenmeleri yükseklikle sürekli artmıştır. Modeller arasındaki karşılaştırmada en büyük farkı Model 3 sonuçlarında görebiliriz. Çevreye yerleştirilmiş çapraz elemanların etkinliği ile göreli kat ötelenme değerleri Model 1 için hesaplanan değerlerin yaklaşık %50'si mertebelerinde görülmüştür.

Göreli kat ötelenme değerlerinin boyutların azaltıldığı katlarda ani yükselme eğiliminde olduğu verilen değerlerden görülebilir. Bu ani değişime en duyarlı sistemin Model 1 olduğu belirlenmiştir. Bu durum özellikle çekirdek perdelerinin boyutlarının azaltıldığı katlarda daha net görülmektedir. Model 2 ve Model 3 taşıyıcı sistemi, göreli kat ötelenmelerindeki ani değişimlere karşı daha kararlı davranış sergilemektedirler.

4.6.2 Betonarme Elemanların Tasarımı

Binanın kiriş, kolon ve perdelerinin detaylandırması **3.4.3**'de verilen esaslar dikkate alınarak yapılmıştır. Belirlenmiş olan detaylara ait çizimler EK-B'de verilmiştir.

Süneklilik düzeyi yüksek sistem için kapasite tasarım ilkeleri uygulanmış, sarılma bölgelerinde enine donatı bakımından özel deprem etriyeleri ve çirozlar düzenlenmiştir.

Düşey taşıyıcı elemanlarda normal kuvvet sonucu basınç etkilerinin artması kesitte tarafsız eksen derinliğinin artmasına ve sünekliliğin düşmesine sebep olmaktadır. Bundan dolayı yönetmeliklerde bu oran için sınırlamalar mevcuttur. Tüm modeller için kolon ve perdelerde alınan sonuçların yönetmelik kurallarına uygunluğu çalışma içerisinde kontrol edilmiştir.

Çizelge 4.13 Model 1 kolon ve perde maksimum eksenel basınç oranları

Kolon ve Perde Tipi	*Alan (m^2)*	*f_{ck} (kN/m^2)*	*1.4G+1.6Q (kN)*	*N_{dm}/A_c*f_{ck}*	*ENVEQ (kN)*	*N_{dm}/A_c*f_{ck}*
S50x50	0.25	50000	2535	0.203	2081	0.166
S60x60	0.36	50000	5205	0.289	4672	0.260
S80x60	0.48	50000	8302	0.346	7601	0.317
S80x80	0.64	50000	8299	0.259	8089	0.253
S100x60	0.60	50000	11120	0.371	9957	0.332
S100x80	0.80	50000	12573	0.314	11423	0.286
S120x80	0.96	50000	16211	0.338	14417	0.300
P1-P4/40 cm	1.80	50000	5718	0.064	6627	0.074
P1-P4/50 cm	2.25	50000	11128	0.099	11452	0.102
P1-P4/60 cm	2.70	50000	16875	0.125	17710	0.131
P1-P4/80 cm	3.60	50000	20743	0.115	23293	0.129
P1-P4/90 cm	4.05	50000	24952	0.123	32458	0.160
P5-P12/40 cm	0.70	50000	2227	0.064	2856	0.082
P5-P12/50 cm	0.88	50000	4301	0.098	4910	0.112
P5-P12/60 cm	1.05	50000	6533	0.124	7588	0.145
P5-P12/80 cm	1.40	50000	8032	0.115	10176	0.145
P5-P12/90 cm	1.58	50000	9777	0.124	14145	0.180
P13/40 cm	2.40	50000	7618	0.063	5315	0.044
P13/50 cm	3.00	50000	14807	0.099	10347	0.069
P13/60 cm	3.60	50000	22458	0.125	15711	0.087
P13/80 cm	4.80	50000	27608	0.115	19332	0.081
P13/90 cm	5.40	50000	32094	0.119	22495	0.083

Çizelge 4.14 Model 2 perdelerde maksimum eksenel basınç oranları

Perde Tipi	*Alan (m^2)*	*f_{ck} (kN/m^2)*	*1.4G+1.6Q (kN)*	*N_{dm}/A_c*f_{ck}*	*ENVEQ (kN)*	*N_{dm}/A_c*f_{ck}*
P1-P4/40 cm	1.8	50000	4775	0.053	6033	0.067
P1-P4/50 cm	2.25	50000	9602	0.085	11935	0.106
P1-P4/60 cm	2.7	50000	13466	0.100	17875	0.132
P1-P4/80 cm	3.6	50000	16419	0.091	23503	0.131
P1-P4/90 cm	4.05	50000	19643	0.097	30953	0.153
P5-P12/40 cm	0.7	50000	1854	0.053	2755	0.079
P5-P12/50 cm	0.875	50000	3719	0.085	5358	0.122
P5-P12/60 cm	1.05	50000	5223	0.099	8041	0.153
P5-P12/80 cm	1.4	50000	6367	0.091	10765	0.154
P5-P12/90 cm	1.575	50000	7698	0.098	14315	0.182
P13/40 cm	2.4	50000	6332	0.053	4431	0.037
P13/50 cm	3	50000	12769	0.085	8948	0.060
P13/60 cm	3.6	50000	17925	0.100	12575	0.070
P13/80 cm	4.8	50000	21882	0.091	15365	0.064
P13/90 cm	5.4	50000	25511	0.094	17937	0.066

Çizelge 4.14 Model 2 perdelerde maksimum eksenel basınç oranları (devamı)

P14-18-23-27/40 cm	2	50000	13437	0.134	11226	0.112
P14-18-23-27/50 cm	2.5	50000	16723	0.134	13797	0.110
P14-18-23-27/60 cm	3	50000	19555	0.130	15879	0.106
Diğer-40 cm	1.2	50000	12995	0.217	10531	0.176
Diğer-50 cm	1.5	50000	15691	0.209	9135	0.122
Diğer-60 cm	1.8	50000	18616	0.207	14662	0.163

Çizelge 4.15 Model 3 kolon ve perde maksimum eksenel basınç oranları

Kolon ve Perde Tipi	***Alan (m^2)***	***f_{ck} (kN/m^2)***	***1.4G+1.6Q***	***N_{dm}/A_c*f_{ck}***	***ENVEQ (kN)***	***N_{dm}/A_c*f_{ck}***
S50x50	0.25	50000	1921	0.154	1900	0.152
S60x60	0.36	50000	4256	0.236	4425	0.246
S80x60	0.48	50000	6880	0.287	7489	0.312
S80x80	0.64	50000	9009	0.282	10338	0.323
S100x60	0.60	50000	9357	0.312	9076	0.303
S100x80	0.80	50000	11222	0.281	11341	0.284
S120x80	0.96	50000	14517	0.302	14228	0.296
P1-P4/40 cm	1.80	50000	5641	0.063	4777	0.053
P1-P4/50 cm	2.25	50000	10928	0.097	9391	0.083
P1-P4/60 cm	2.70	50000	16592	0.123	14415	0.107
P1-P4/80 cm	3.60	50000	20423	0.113	18765	0.104
P1-P4/90 cm	4.05	50000	24629	0.122	26332	0.130
P5-P12/40 cm	0.70	50000	2191	0.063	1963	0.056
P5-P12/50 cm	0.88	50000	4226	0.097	3865	0.088
P5-P12/60 cm	1.05	50000	6423	0.122	5924	0.113
P5-P12/80 cm	1.40	50000	7908	0.113	7899	0.113
P5-P12/90 cm	1.58	50000	9646	0.122	11219	0.142
P13/40 cm	2.40	50000	7531	0.063	5256	0.044
P13/50 cm	3.00	50000	14564	0.097	10180	0.068
P13/60 cm	3.60	50000	22108	0.123	15470	0.086
P13/80 cm	4.80	50000	27204	0.113	19054	0.079
P13/90 cm	5.40	50000	31642	0.117	22184	0.082

Dikkate alınan yönetmeliklerde kolon ve perde gibi düşey taşıyıcı elemanların boyutsuz normal kuvvet oranlarına sınırlama getirilmiştir. Bu değerler TS500'de sadece düşey yüklerin maksimum değeri için 0.60 olarak, TBDY2016 taslak yönetmeliğinde ise deprem ve düşey yüklerin ortak etkisi için, kolonlarda 0.40 ve perdelerde 0.25 olarak verilmiştir. Analiz sonuçlarından alınan değerler özetlenerek Model 1 için Çizelge 4.13'de, Model 2 için Çizelge 4.14'de ve Model 3 için Çizelge 4.15'de verilmiştir. Verilen tüm sonuçların yönetmeliklerde tanımlanan sınırlardan daha küçük olduğu görülebilir.

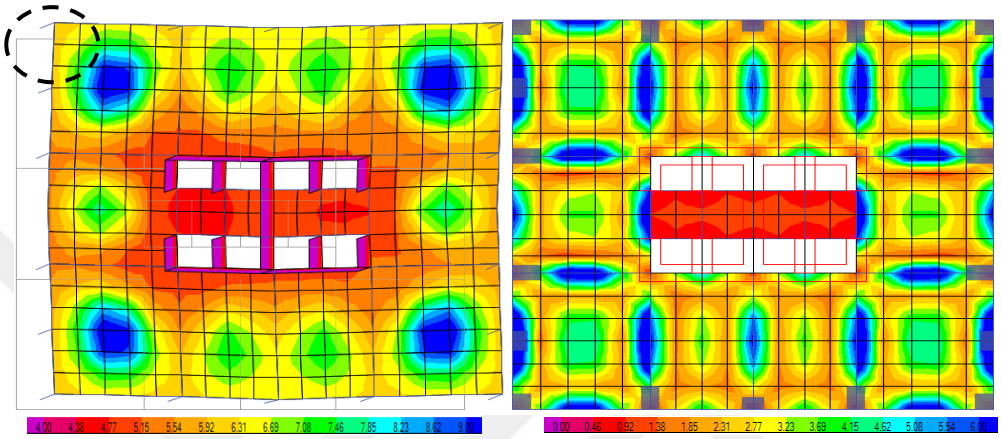
a) <u>Döşeme Düzensizlik Kontrolü</u>

A2, A3 ve maks. etkiler için *A1* düzensizliği yoktur. Rijit diyafram modelleme uygundur.

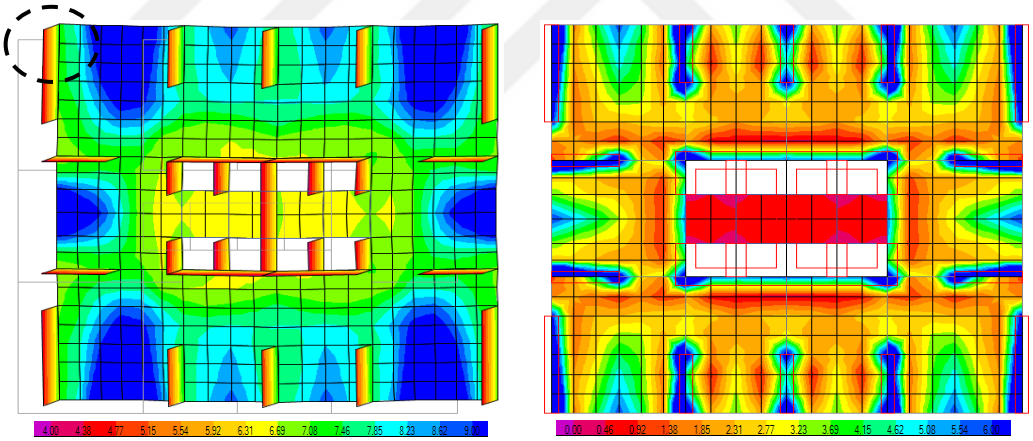
$$Model\ 1\ için\ \rightarrow\ \eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{ort} = 0.294 / 0.249 = 1.179 < 1.2$$

$$Model\ 2\ için\ \rightarrow\ \eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{ort} = 0.295 / 0.264 = 1.118 < 1.2$$

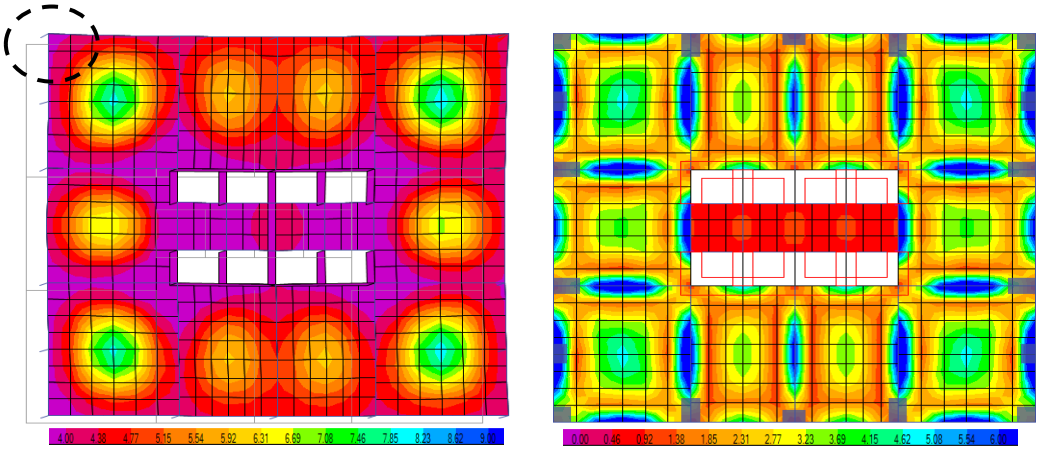
$$Model\ 3\ için\ \rightarrow\ \eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{ort} = 0.203 / 0.161 = 1.258 < 2.0\ (Dışmerkezlik\ artımı)$$



Şekil 4.22 Model 1 döşeme düzensizlik kontrolü ve düşey yük gerilme dağılımı



Şekil 4.23 Model 2 döşeme düzensizlik kontrolü ve düşey yük gerilme dağılımı



Şekil 4.24 Model 3 döşeme düzensizlik kontrolü ve düşey yük gerilme dağılımı

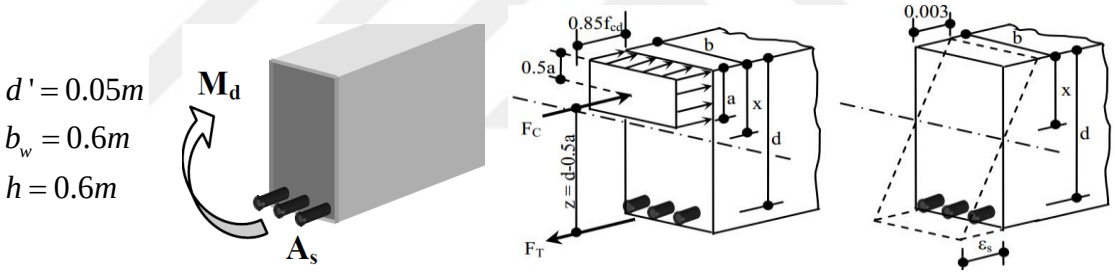
b) Kirişlerin Eğilme Tasarımı

Kirişlerin eğilme donatısı, yapılan analiz sonucunda ETABS [44] programından alınmıştır. Bütün kirişlerin betonarme hesabı gösterilmeyip, bir elemanın betonarme hesabı yapılarak, ETABS sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Eleman uzunluklarının kısa olmasından dolayı tüm kirişlerde mesnet kesitlerinde hesaplanan donatı detayları tüm kiriş boyunca kullanılacaktır. Sadece iç bağlantı kirişleri olarak sınıflandırılan grup kirişlerinde mesnette ek donatılar kullanılacaktır.

Kiriş tasarımı K60x60 kirişi üzerinde aşağıdaki işlemlerle gösterilmiştir. Kirişin sağ ve sol mesnetleri için hesaplamalar yapılmış olup en büyük kesit tesirleri dikkate alınmıştır. Analiz sonucunda, ele alınan kiriş için maksimum moment değerleri $M_{d,üst}$ *= -295 kNm*, $M_{d,alt}$ *= 207 kNm* olarak bulunmuştur.

Mesnet Alt Donatı Hesabı

Alt donatı hesabında basınç donatısının etkisi küçük olduğundan dikkate alınmamıştır.



Şekil 4.25 Kiriş alt donatı hesabı

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

$$295 = 0.85 * (50/1.5) * 10^3 * 0.6 * a * (0.55 - 0.5a)$$

$$8500a^2 + 9350a + 295 = 0 \quad \rightarrow \quad a = 0.0325\ m$$

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

$$A_s * (420/1.15) * 10^3 = 0.85 * (50/1.5) * 10^3 * 0.6 * 0.0325$$

$$A_s = 15.14\ cm^2 \quad \rightarrow \quad Seçilen\ \ 5\phi 20\ = 15.7\ cm^2$$

$$\rho_{\min} = 0.6\frac{f_{ctk}}{f_{yk}} = 0.6 * \frac{0.35 * \sqrt{50}}{420} = 0.0035 \quad \rightarrow A_{s\min} = 11.55\ cm^2 < 15.7\ cm^2$$

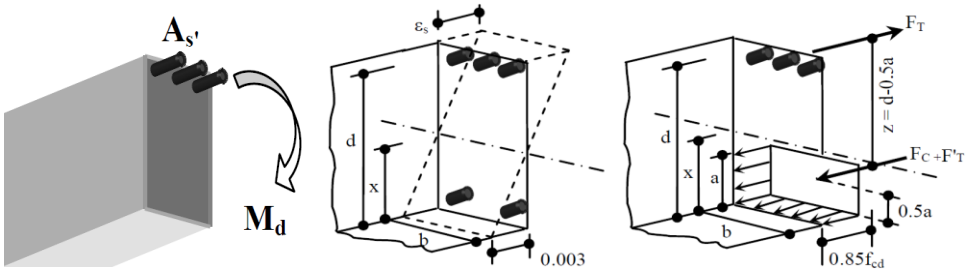
$$A_{s\max} = 0.02 * 60 * 55 = 66\ cm^2 \ > \ 15.7\ cm^2$$

Mesnet Üst Donatı Hesabı

$d' = 0.05m$

$b_w = 0.6m$

$h = 0.6m$



Şekil 4.26 Kiriş üst donatı hesabı

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

$$a = k_1 * x \quad (\text{C50 beton için } k_1 = 0.7) \quad \rightarrow \quad \varepsilon'_s = 0.003 * \left(1 - k_1 \frac{d'}{a}\right) < \varepsilon_y$$

$$F'_s = A'_s * E_s * \varepsilon'_s = 0.003 * \left(1 - k_1 \frac{d'}{a}\right) * E_s * A'_s < f_{yd} * A'_s$$

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

$$17000a^2 + 254.33a - 32.97 = 0 \quad \rightarrow \quad a = 0.0372\ m$$

$$\varepsilon'_s = 0.003 * \left(1 - 0.7 * \frac{0.05}{0.0372}\right) = 0.000178 < 0.0021$$

Basınç donatısındaki birim kısalmalar akma birim şekil değiştirmesinden çok küçük olduğundan donatılar akmamıştır.

$$M_d = 0.85 * f_{cd} * b_w * a * \left(d - \frac{a}{2}\right) + E_s * 0.003 * A'_s * \left(1 - k_1 \frac{d'}{a}\right) * (d - d') = \underline{\underline{363.92 kNm}}$$

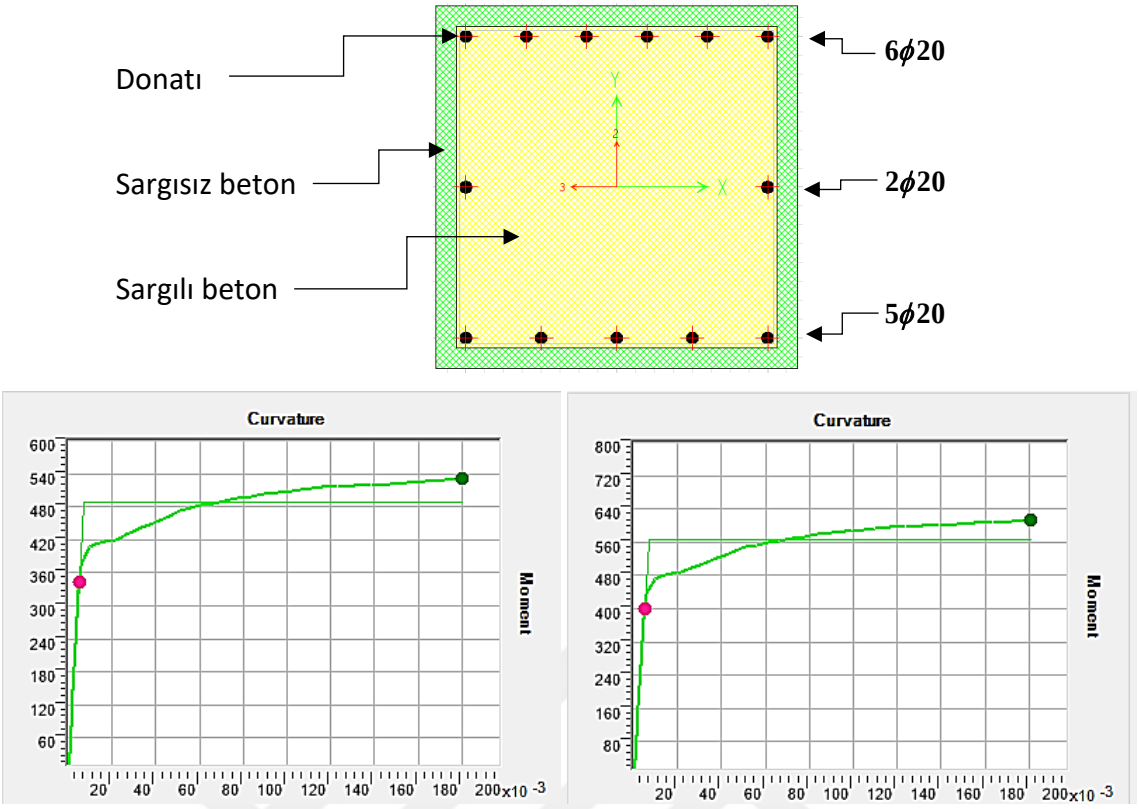
Seçilen üst donatı $: 6\phi 20 = 18.84\ cm^2$ *moment taşıma gücü açısından yeterlidir.*

Gövde donatısı $= 0.001 * b_w * d = 0.001 * 60 * 55 = 3.3\ cm^2$

Seçilen gövde donatısı $: 2\phi 20 = 6.28\ cm^2 > 3.3\ cm^2$

c) Kirişlerin Kesme Güvenliği

Plastik moment değerleri SAP2000 [45] programı ile hesaplanmıştır. Şekil 4.27'de kesitteki donatı yerleşimi ve kesitin moment-eğrilik değişimi görülebilir. Moment-eğrilik diyagramı bilineer hale getirilerek akma momenti, akma eğriliği, plastik moment, idealize edilmiş akma eğriliği ve kesitin çatlama rijitliği belirlenmiştir.



Şekil 4.27 Moment-eğrilik grafiği ve idealleştirilmesi

$M_y = 342.17\ \ kNm$

$M_p = 489.04\ \ kNm$

$\phi_y = 0.00484\ 1/\text{m}$

$\phi_{y(idealized)} = 0.00692\ 1/\text{m}$

$I_{çatlamış} = 0.02\ m^4$

$M_y = 399.35\ \ kNm$

$M_p = 567.05\ \ kNm$

$\phi_y = 0.00495\ 1/\text{m}$

$\phi_{y(idealized)} = 0.00702\ 1/\text{m}$

$I_{çatlamış} = 0.02\ m^4$

$V_{dyi} = 68.3\ kNm \quad , \quad V_{dyj} = -47.2\ kNm \qquad l_n = 2.1\ m$

$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / l_n \ \leq \ V_r \ \ ve\ 0.85 * b_w * d * \sqrt{f_{ck}}$

$V_e = 68.3 \pm (489.04 + 567.05) / 2.1 \ = 571.4\ kN$

Düşey yükler ile birlikte depremden hesaplanan ‘‘D’’ ile artırılmış kesme kuvvetinin toplamının, V_e’den küçük olması durumunda, V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılacaktır.

$V_{e(art)} = V_{dy} + D * V_E = 453.9\ kN \ \rightarrow V_e = \min(V_e, V_{e(art)}) = 453.9\ kN$

$V_e = 453.9\ kN \leq \ V_{maks} = 0.85 * 600 * 550 * 10^{-3} * \sqrt{50} = 1984\ kN \rightarrow \ Boyutlar\ uygundur.$

Kiriş sarılma bölgesinde enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından büyük olduğu için betonun kesme dayanımına katkısı, V_c hesaba katılmayacaktır.

$$V_r = V_c + V_w \quad \rightarrow \ (V_c = 0) \quad \rightarrow \quad V_w = A_{sw} / s * f_{ywd} * d$$

$$A_{sw} / s \geq V_w / (f_{ywd} * d) = (453.9\ kN) / (36.5\ kN / cm^2 * 55\ cm) = 0.226\ cm^2 / cm$$

$$A_{sw} / s \geq 0.3 * (f_{ctd} / f_{ywd}) * b_w \rightarrow A_{sw} / s \geq 0.3 * (1.65 / 365) * 60 = 0.082\ cm^2 / cm$$

$$Seçilen\ etriye:\ 2\ kollu\ \phi 12/10\ (0.226\ cm^2 / cm)\ olarak\ belirlenmiştir.$$

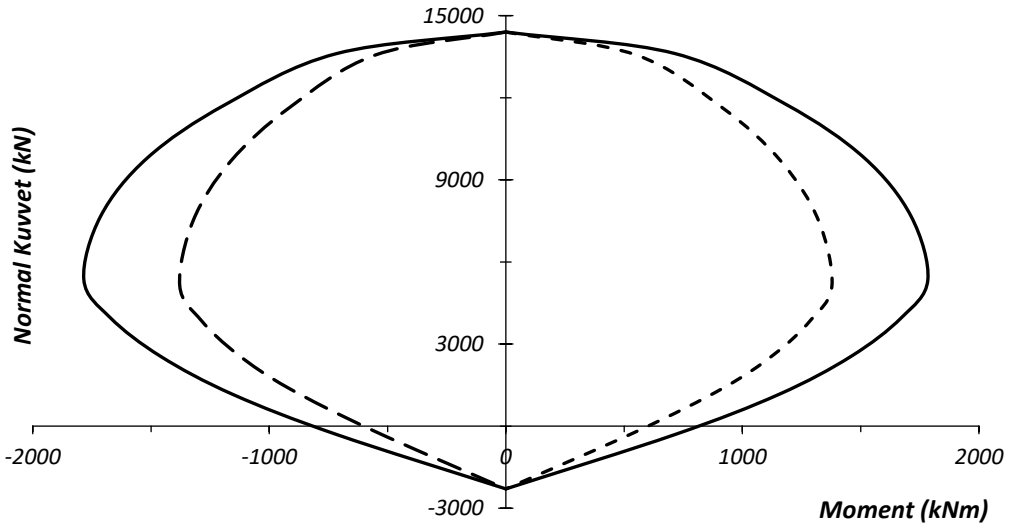
$$V_r = A_{sw} / s * f_{ywd} * d = (2.26/10) * 365 * 55 = 454\ kN > V_e = 453.9\ kN$$

Çizelge 4.16 Kirişlerin kesme kuvveti kontrolü ve donatı seçimleri

Kiriş	V_e (kN)	V_{maks} (kN)	Gereken alan (cm^2/cm))	Seçilen etriye	Kol sayısı	Mevcut alan
K40x60	262.3	1322	0.131	$\phi 10/10$	2	0.158
K50x60	340.4	1652.9	0.170	$\phi 12/10$	2	0.226
K60x60	453.9	1984	0.226	$\phi 12/10$	2	0.226
K50x80	599.3	2254	0.219	$\phi 12/10$	2	0.226
K60x80	755.1	2704.7	0.276	$\phi 10/10$	4	0.316
K60x80	1066.2	3606.2	0.389	$\phi 12/10$	4	0.452

d) <u>Kolonların Tasarımı</u>

Kolon tasarımı S80x60 kolonu üzerinde işlemler yapılarak gösterilmiştir. Tüm kolonlara ait detaylar Şekil EK-B.2'de verilmiştir. Kolon yükseklikleri 3.5 metredir.



Şekil 4.28 S80x60 etkileşim diyagramı (iki doğrultusu için)

Analiz sonucuna göre hesaplanan gerekli donatı aşağıda verilmiştir.

$$\rho_{gerekli} = 0.0141 > \rho_{\min} \rightarrow A_{s\min} = 0.0141*80*60 = 67.7\ cm^2$$

$$Seçilen\ boyuna\ donatı:\ 20\phi 22 \rightarrow \rho = (20*3.8)/(80*60) = 0.0158$$

Programda otomatik olarak hesaplanan donatı oranı dikkate alınarak kesitte donatı yerleşimi yapılmıştır. Bu detaylandırma esas alınarak S80x60 kolonu için belirlenen akma yüzeyi Şekil 4.28'de görülmektedir. Kombinasyon sonuçlarından elde edilen kuvvet değerlerinin akma yüzeyinin içinde kaldığı ve kolonun eğilme kapasitesinin yeterli olduğu görülmüştür. Böylelikle yapılan detaylandırmanın uygun olduğu belirlenmiştir.

Belirtilen kolonun enine donatısının belirlenmesinde maksimum basınç oranı 0.2'den büyük olduğu için, gerekli enine donatı miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

Uzun (X-X) doğrultuda:

$$A_{sh}/s \geq 0.3*73*(((80*60)/(74*54)-1)*(50/420) = 0.525\ cm^2/cm$$

$$A_{sh}/s \geq 0.075*73*(50/420) = 0.652\ cm^2/cm$$

Kısa (Y-Y) doğrultuda:

$$A_{sh}/s \geq 0.3*53*(((80*60)/(74*54)-1)*(50/420) = 0.381\ cm^2/cm$$

$$A_{sh}/s \geq 0.075*53*(50/420) = 0.473\ cm^2/cm$$

$$Seçilen\ etriye: \phi 14/9/15$$

$$A_{shx} = (1.54/9)*4 = 0.684\ cm^2/\text{cm}\ ,\ A_{shy} = (1.54/9)*3 = 0.513\ cm^2/\text{cm}$$

e) <u>Kolonların Kesme Güvenliği</u>

Kesme kuvvetinin hesabında kullanılan plastik momentler, birleşim çeşitliliğinin fazla olmasından dolayı kirişler yerine kolon elemanların kapasiteleri dikkate alınarak aşağıda hesaplanmıştır. Deprem yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en büyük yapan N_d eksenel kuvvetleri için $M_{p(uzun)} = 1784\ kNm$ ve $M_{p(kısa)} = 1379\ kNm$ olarak hesaplanmıştır.

Uzun doğrultuda: $V_e = (M_a + M_{ü})/l_n = (1784+1784)/3 = 1189.3\ kN$

Kısa doğrultuda: $V_e = (M_a + M_{ü})/l_n = (1379+1379)/3 = 919.3\ kN$

Düşey yükler ile birlikte depremden alınan arttırılmış kesme kuvveti toplamının, V_e'den küçük olması durumunda, V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılacaktır.

$$V_{ex(art)} = 377\ kN \ \rightarrow\ V_{ex} = \min(V_e, V_{ex(art)}) = 377\ kN$$

$$V_{ey(art)} = 337\ kN \ \rightarrow\ V_{ey} = \min(V_e, V_{ey(art)}) = 337\ kN$$

$$V_{e,maks} = 377\ kN \le V_{maks} = 0.85*800*600*10^{-3}*\sqrt{50} = 2885\ kN \rightarrow\ Boyutlar\ uygundur.$$

Kolon sarılma bölgesinde enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından büyük olduğu için betonun kesme dayanımı katkısı, V_{cr} hesaba katılmayacaktır. Aşağıda yapılan hesapta görülebilir ki seçilen etriye için kesme kapasitesi yeterlidir.

$$V_r = V_c + V_w \ \rightarrow\ (V_c = 0) \ \rightarrow\ V_w = A_{sw} / s * f_{ywd} * d$$

$$V_{ex} = 377\ kN \le V_{rx} = A_{sw} / s * f_{ywd} * d = 0.513*36.5*75 = 1404\ kN$$

$$V_{ey} = 336\ kN \le V_{ry} = A_{sw} / s * f_{ywd} * d = 0.684*36.5*55 = 1373\ kN$$

Çizelge 4.17 Kolonların kesme kuvveti kontrolü ve donatı seçimleri

Kolon	*V_e (kN)*	*V_{maks} (kN)*	*Gereken alan (cm^2/cm))*	*Seçilen etriye*	*Kol sayısı*	*Mevcut alan*
S50x50	182/206	1503	0.110/0.125	$\phi 14/10/15$	3/3	0.462
S60x60	255/294	2164	0.127/0.147	$\phi 14/9/15$	3/3	0.513
S80x60	337/377	2885	0.168/0.138	$\phi 14/9/15$	3/4	0.513/0.684
S80x80	166/177	3847	0.06/0.065	$\phi 14/9/15$	4/4	0.684
S100x60	356/542	3606	0.177/0.156	$\phi 14/9/15$	3/5	0.513/0.856
S100x80	379/530	4808	0.138/0.153	$\phi 14/9/15$	4/5	0.684/0.856
S120x80	344/479	5770	0.126/0.115	$\phi 14/9/15$	4/6	0.684/1.03

f) <u>Perdelerin Tasarımı</u>

Perde tasarımı Model 2'de bulunan, çalışmada P14-18-23-27 (500cm x 60cm) olarak tanımlanan eleman üzerinde hesaplamalar ile gösterilecektir. Tüm perdelere ait detaylar Şekil B.3/10'da verilmiştir. Hesaplanan perde için H_w/l_w=108/5=21.6 > 2 olduğundan perdenin planda her iki ucunda perde uç bölgeleri oluşturulmuştur. Oluşturulan başlık bölgelerinin boyutları ve yerleşimleri Şekil B.3'de detaylı şekilde görülebilir.

$$H_{cr} \ge maks(l_w, H_w/6) \ \rightarrow\ H_{cr} \ge maks(5, 108/6) \ \rightarrow\ H_{cr} = 28\ m\ (8\ kat)\ alınmıştır.$$

Perde boyuna donatı hesaplamaları ve seçimleri aşağıda yapılmıştır. Program analiz sonucuna göre belirlenen gerekli donatı alanı da aşağıda verilmiştir.

$$\rho_{gerekli} = 0.0072 \;\rightarrow\; A_{s,gerekli} = 0.0072*500*60 = 216\ cm^2$$

$$Başlık\ donatısı = (0.002/0.001)*500*60 = 60cm^2/30\ cm^2 \;\rightarrow\; 24\phi 24 = 108.5\ cm^2$$

$$l_w = 5\ m\ için \;\rightarrow\; A_{s,gövde} = 0.0025*(500-120*2)*60 = 39\ cm^2 \rightarrow\; 34\phi 12 = 39\ cm^2$$

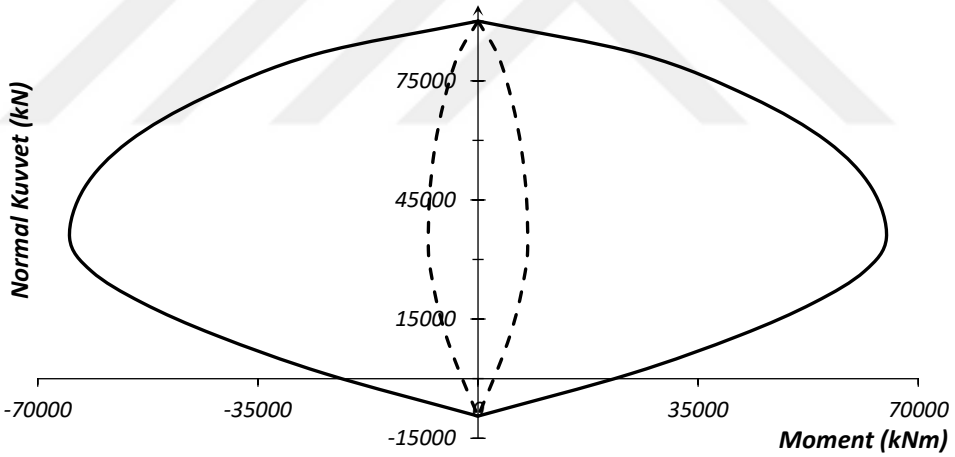
Kombinasyonlardan elde edilen kuvvet değerlerinin Şekil 4.29'da akma yüzeyinin içinde kaldığı ve perde kapasitesinin yeterli olduğu görülmüştür. Yani detaylandırma uygundur.

Perde uç bölgesinin sarılma donatısı aşağıda hesaplanmıştır.

Uzun (Y-Y) doğrultuda: $A_{sh}/s \geq 2/3*0.075*113*(50/420) = 0.672\ cm^2/cm$

Kısa (X-X) doğrultuda: $A_{sh}/s \geq 2/3*0.075*53*(50/420) = 0.316\ cm^2/cm$

$$Seçilen: \phi 14/10 \;\rightarrow\; A_{shy} = 0.154*5 = 0.77\ cm^2/\text{cm}\ ,\ A_{shx} = 0.154*3 = 0.462\ cm^2/\text{cm}$$



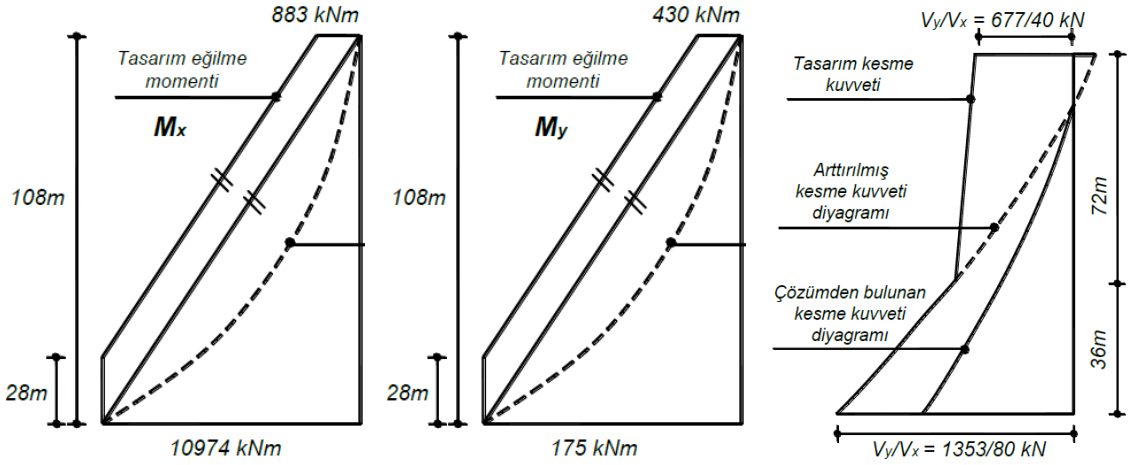
Şekil 4.29 P14-18-23-27/60 cm etkileşim diyagramı (iki doğrultusu için)

g) <u>Perdelerin Kesme Güvenliği</u>

TBDY2016 taslak yönetmeliğine göre deprem yükünün tamamının betonarme perdelerle taşındığı binalarda kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı β_v =1.0 alınabilir.

$$V_e = \beta_v * \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} * V_d \;\rightarrow\; \begin{pmatrix} (M_p)_{tx} = 64940\ kNm\ ,\ (M_p)_{ty} = 7890\ kNm \\ (M_d)_{tx} = 10974\ kNm\ ,\ (M_d)_{ty} = 175\ kNm \end{pmatrix}$$

$$V_{ex} = \left(\frac{7890}{175}\right)*(V_{dx} = 94) = 4283\ kN\ ,\ V_{ey} = \left(\frac{64940}{10974}\right)*(V_{dy} = 627) = 3711\ kN$$



Şekil 4.30 P14-18-23-27/60 cm tasarım kuvvetleri diyagramı

Düşey yükler ile *1.2D* ile arttırılmış deprem yüklerinden hesaplanan kesme kuvvetinin, hesaplanan V_e'den küçük olması durumunda bu kesme kuvveti kullanılacaktır.

$$V_{ex(art)} = 80\ kN \quad \rightarrow\ V_{ex} = \min(V_{ex}, V_{ex(art)}) = 80\ kN$$

$$V_{ey(art)} = 1353\ kN \ \rightarrow\ V_{ey} = \min(V_{ey}, V_{ey(art)}) = 1353\ kN$$

$$V_{e,maks} = 1353\ kN \le\ V_{maks} = 0.85 * 5000 * 600 * 10^{-3} * \sqrt{50} = 18031\ kN \rightarrow\ Uygundur.$$

$$V_{ex} = 80\ kN \le V_{rx} = A_{sw} / s * f_{ywd} * d = 0.770 * 36.5 * 55 = 1546\ kN$$

$$V_{ey} = 1353\ kN \le V_{ry} = A_{sw} / s * f_{ywd} * d = 0.462 * 36.5 * 115 = 1939\ kN$$

Çizelge 4.18 Perdelerin kesme kuvveti kontrolü

Çekirdek Perdeleri	***$V_{e,\ maks}$ (kN)***	***V_{maks} (kN)***	***Çevre Perdeler***	***$V_{e,\ maks}$ (kN)***	***V_{maks} (kN)***
P1-P4/40 cm	2858/18	10819	*P14-18-23-27/40*	557/197	12020
P1-P4/50 cm	3909/38	13523	*P14-18-23-27/50*	730/92	15026
P1-P4/60 cm	4996/77	16228	*P14-18-23-27/60*	1353/80	18031
P1-P4/80 cm	6388/189	21637	*Diğer-40 cm*	412/234	7212
P1-P4/90 cm	7342/187	24342	*Diğer-50 cm*	257/109	9016
P5-P12/40 cm	503/19	4207	*Diğer-60 cm*	753/73	10818
P5-P12/50 cm	735/28	5259	--	--	-
P5-P12/60 cm	824/39	6311	--	--	--
P5-P12/80 cm	954/82	8415	--	--	--
P5-P12/90 cm	1528/158	9466	--	--	--
P13/40 cm	5368/24	14425	--	--	--
P13/50 cm	6923/44	18031	--	--	--
P13/60 cm	8928/105	21637	--	--	--
P13/80 cm	12542/275	28850	--	--	--
P13/90 cm	14244/453	32546	--	--	--

4.7 Doğrusal Olmayan Tasarım Aşaması (Tasarım Aşaması 3)

Bu bölümde SAP2000 [45] programında zaman tanım alanındaki analiz sonuçlarının ortalaması alınarak, TBDY2016 (taslak) ilkeleri çerçevesinde elemanlarda meydana gelen hasar durumları belirlenmiş ve performans değerlendirmesi yapılmıştır.

4.7.1 Plastikleşen Eleman Sonuçları

Model 1 taşıyıcı sistemindeki elemanlarda meydana gelen hasar sayılarının katlara göre değişimi Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19 Model 1 elemanlarının plastikleşme sonuçları

Kat	***Kolonlar***				***Perdeler***				***Kirişler***			
	KK	***HK***	***CG***	***GÖ***	***KK***	***HK***	***CG***	***GÖ***	***KK***	***HK***	***CG***	***GÖ***
	1	***2***	***3***	***4***	***1***	***2***	***3***	***4***	***1***	***2***	***3***	***4***
1	1	2	15	0	0	0	2	11	27	10	1	0
2	2	4	12	0	0	0	11	2	13	12	13	0
3	4	6	8	0	2	2	9	0	11	10	17	0
4	7	6	5	0	5	5	3	0	10	9	19	0
5	7	7	4	0	2	1	10	0	10	7	21	0
6	10	6	2	0	3	4	6	0	11	6	20	1
7	8	8	2	0	5	2	6	0	12	5	20	1
8	9	7	2	0	8	4	1	0	14	2	21	1
9	6	9	3	0	1	4	8	0	15	1	21	1
10	5	9	4	0	1	4	8	0	15	1	21	1
11	5	9	4	0	3	2	8	0	16	1	20	1
12	5	9	4	0	3	2	8	0	16	2	19	1
13	6	10	2	0	2	3	8	0	16	2	19	1
14	7	9	2	0	0	5	8	0	16	4	17	1
15	0	13	5	0	0	3	10	0	16	4	18	0
16	0	8	10	0	0	5	8	0	16	3	18	1
17	0	9	9	0	0	5	8	0	16	3	18	1
18	0	10	8	0	0	4	9	0	16	4	17	1
19	0	10	8	0	0	4	9	0	16	4	17	1
20	3	9	6	0	0	2	11	0	16	4	15	3
21	5	7	6	0	0	2	11	0	16	3	15	4
22	5	8	5	0	0	2	11	0	17	4	13	4
23	0	10	8	0	0	0	5	8	16	5	16	1
24	3	7	8	0	0	0	11	2	16	4	17	1
25	3	5	10	0	0	0	13	0	16	4	17	1
26	3	5	10	0	0	2	11	0	16	4	16	2
27	3	5	10	0	2	3	8	0	16	4	16	2
28	4	6	8	0	8	4	1	0	18	3	16	1
29	4	8	6	0	12	1	0	0	18	3	16	1
30	0	6	12	0	13	0	0	0	22	3	11	2
31	0	0	0	0	13	0	0	0	10	0	0	0
Toplam	***115***	***227***	***198***	***0***	***83***	***75***	***222***	***23***	***479***	***131***	***505***	***35***
				540				***403***				***1150***

Çizelge 4.20 Model 2 elemanlarının plastikleşme sonuçları

Kat	Perdeler					Kirişler		
	KK	HK	CG	GÖ	GÖ+	KK	HK	CG
	1	2	3	4	5	1	2	3
1	0	0	12	7	8	10	0	0
2	7	8	10	2	0	10	0	0
3	17	3	7	0	0	9	1	0
4	21	6	0	0	0	9	1	0
5	13	2	10	2	0	9	1	0
6	15	3	8	1	0	8	2	0
7	16	5	6	0	0	8	2	0
8	19	6	2	0	0	9	1	0
9	10	2	12	3	0	9	1	0
10	10	5	11	1	0	10	0	0
11	12	3	12	0	0	10	0	0
12	12	5	10	0	0	10	0	0
13	13	6	8	0	0	10	0	0
14	15	7	5	0	0	10	0	0
15	10	3	9	4	1	9	1	0
16	7	6	10	4	0	9	1	0
17	8	4	12	3	0	9	1	0
18	10	2	13	2	0	10	0	0
19	9	3	13	2	0	10	0	0
20	9	6	12	0	0	10	0	0
21	8	7	12	0	0	10	0	0
22	8	7	12	0	0	10	0	0
23	6	4	8	6	3	10	0	0
24	6	3	13	5	0	10	0	0
25	6	6	11	4	0	10	0	0
26	10	4	13	0	0	10	0	0
27	14	5	8	0	0	10	0	0
28	19	4	4	0	0	10	0	0
29	22	5	0	0	0	10	0	0
30	18	7	2	0	0	10	0	0
31	13	0	0	0	0	10	0	0
Toplam	**363**	**137**	**265**	**46**	**12**	**298**	**12**	**0**
				403				**1150**

Çizelge 4.19'da verilen sonuçlardan görülebilir ki Model 1'deki elemanlarından göçme bölgesine geçmiş olan yoktur. Sistem Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlamaktadır. Ancak Model 2 için verilen Çizelge 4.20'deki sonuçlarda göçme durumuna geçen perde elemanlar mevcuttur. Bu sistem Göçme Durumu'na geçmiştir. Perdelerdeki hasarların özellikle taban kesitinde ve kesit azaltmalarının yapıldığı katlarda yoğunlaştığı söylenebilir. Elemanlarda meydana gelen şekil değiştirme değerleri ve detaylı hasar değerlendirmeleri Model 1, 2, 3 için EK-C, EK-D ve EK-E'de verilmiştir.

Model 3 taşıyıcı sistemindeki elemanlarda meydana gelen hasar sayılarının katlara göre değişimi Çizelge 4.21'de verilmiştir. Taşıyıcı sistemde göçme durumuna geçen eleman yoktur. Ancak çapraz elemanların kullanılmasıyla birlikte rijitleşen sistemde özellikle kolon elemanların daha büyük etkilere maruz kaldığı ve hasar durumlarının ilerlediği görülmüştür. Bu sistemde merkezde bulunan çekirdek perdelerinde hasar düzeylerinin düştüğü özellikle kirişlerde nerdeyse hiç hasar oluşmadığı sonuçlardan görülebilir.

Çizelge 4.21 Model 3 elemanlarının plastikleşme sonuçları

Kat	***Kolonlar***				***Perdeler***				***Kirişler***			
	KK	***HK***	***CG***	***GÖ***	***KK***	***HK***	***CG***	***GÖ***	***KK***	***HK***	***CG***	***GÖ***
	1	***2***	***3***	***4***	***1***	***2***	***3***	***4***	***1***	***2***	***3***	***4***
1	0	0	14	4	0	0	6	7	36	2	0	0
2	0	0	14	4	0	3	10	0	28	9	1	0
3	0	0	17	1	6	4	3	0	26	11	1	0
4	0	2	16	0	9	4	0	0	28	5	5	0
5	1	4	13	0	5	4	4	0	28	7	3	0
6	1	3	14	0	6	4	3	0	27	7	4	0
7	0	1	17	0	10	3	0	0	30	8	0	0
8	0	4	14	0	11	2	0	0	32	5	1	0
9	0	2	16	0	4	7	2	0	33	5	0	0
10	0	3	15	0	4	7	2	0	34	4	0	0
11	0	1	17	0	5	6	2	0	38	0	0	0
12	0	1	17	0	4	6	3	0	38	0	0	0
13	0	1	17	0	6	5	2	0	38	0	0	0
14	2	2	13	1	4	5	4	0	38	0	0	0
15	0	0	14	4	5	6	2	0	38	0	0	0
16	0	1	17	0	5	4	4	0	38	0	0	0
17	0	0	18	0	7	6	0	0	38	0	0	0
18	0	1	17	0	5	6	2	0	38	0	0	0
19	0	3	15	0	8	5	0	0	38	0	0	0
20	0	8	10	0	5	8	0	0	38	0	0	0
21	2	7	9	0	10	3	0	0	38	0	0	0
22	4	7	7	0	10	3	0	0	38	0	0	0
23	3	6	9	0	10	3	0	0	38	0	0	0
24	10	6	2	0	12	1	0	0	38	0	0	0
25	15	3	0	0	13	0	0	0	38	0	0	0
26	18	0	0	0	13	0	0	0	38	0	0	0
27	18	0	0	0	13	0	0	0	38	0	0	0
28	18	0	0	0	13	0	0	0	38	0	0	0
29	18	0	0	0	13	0	0	0	38	0	0	0
30	18	0	0	0	13	0	0	0	38	0	0	0
31	0	0	0	0	13	0	0	0	10	0	0	0
Toplam	***128***	***66***	***332***	***14***	***242***	***105***	***49***	***7***	***1072***	***63***	***15***	***0***
				540				***403***				***1150***

Çizelge 4.22 Perde elemanların kesme kuvveti kontrolleri

Perdeler	*Model 1*		*Model 2*		*Model 3*		V_{maks}
	$V_{e,maks}$ *(kN)*	$V_{e,min}$ *(kN)*	$V_{e,maks}$ *(kN)*	$V_{e,min}$ *(kN)*	$V_{e,maks}$ *(kN)*	$V_{e,min}$ *(kN)*	*(kN)*
P1-P4/40 cm	6430	-5243	3750	-3140	3140	-3307	10819
P1-P4/50 cm	6465	-5875	4164	-4057	3561	-3732	13523
P1-P4/60 cm	8055	-7365	4786	-4611	5417	-4747	16228
P1-P4/80 cm	10104	-8745	5860	-5146	7220	-7110	21637
P1-P4/90 cm	17102	-14106	9039	-8035	15540	-15074	24342
P5-P12/40 cm	1629	-1702	978	-924	796	-761	4207
P5-P12/50 cm	2191	-2078	1283	-1239	1168	-1143	5259
P5-P12/60 cm	2388	-2490	1543	-1561	1659	-1570	6311
P5-P12/80 cm	2813	-2962	1802	-1840	2207	-2055	8415
P5-P12/90 cm	3519	-3612	1764	-1674	2943	-2713	9466
P13/40 cm	6577	-6901	2841	-2900	3617	-3427	14425
P13/50 cm	8320	-7048	4043	-3752	4305	-4221	18031
P13/60 cm	8222	-7969	4535	-4175	5399	-5408	21637
P13/80 cm	9582	-9306	6110	-5112	7560	-7141	28850
P13/90 cm	13166	-12707	6610	-6314	17521	-11613	32546
P14-18-23-27/40	-	-	1740	-1824	-	-	12020
P14-18-23-27/50	-	-	1759	-1783	-	-	15026
P14-18-23-27/60	-	-	4020	-3960	-	-	18031
Diğer-40 cm	-	-	930	855	-	-	7212
Diğer-50 cm	-	-	943	-820	-	-	9016
Diğer-60 cm	-	-	2195	-2142	-	-	10818

Çizelge 4.23 Kolon elemanların kesme kuvveti kontrolleri

Kolonlar	*Model 1*		*Model 3*		V_{maks}
	$V_{e,maks}$*(kN)*	$V_{e,min}$*(kN)*	$V_{e,maks}$*(kN)*	$V_{e,min}$*(kN)*	*(kN)*
S50x50	465	-476	238	-220	1503
S60x60	770	-745	400	-395	2164
S80x60	1231	-1384	810	-825	2885
S80x80	738	-757	610	-591	3847
S100x60	1804	-1969	1441	-1351	3606
S100x80	973	-1121	653	-610	4808
S120x80	1396	-1478	1196	-1195	5770

Zaman tanım alanında yapılan hesaplamaların maksimum sonuçlarının ortalaması alınanarak elde edilen kesme kuvveti değerleri düşey taşıyıcı eleman tipleri için kapasiteleri ile birlikte Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23'de verilmiştir. Kapasite hesaplamaları için malzeme karekteristik dayanımları dikkate alınmasına rağmen tüm elemanlarda hesaplanan kesme kuvvetleri için boyutlandırma yeterlidir. Bu sonuçlara göre elemanlar şekil değiştirme kapasitesine sahiptir ve sünek davranış oluşacaktır.

4.7.2 Yerdeğiştirmeler, Göreli Kat Ötelenmeleri ve Kuvvet Etkileri

Tüm modellerde üst katlarda taşınması gereken düşey yüklerin azalmasıyla birlikte daha eknomik taşıyıcı sistem tasarımı için eleman boyutlarında küçülmeler yapılmış ve bunların detayları önceki kısımlarda verilmişti. Bu kısımda yüksek binaların davranışında düşey yüklerin yanında yatay yüklerin ne derece önemli olduğu daha net görülebilir.

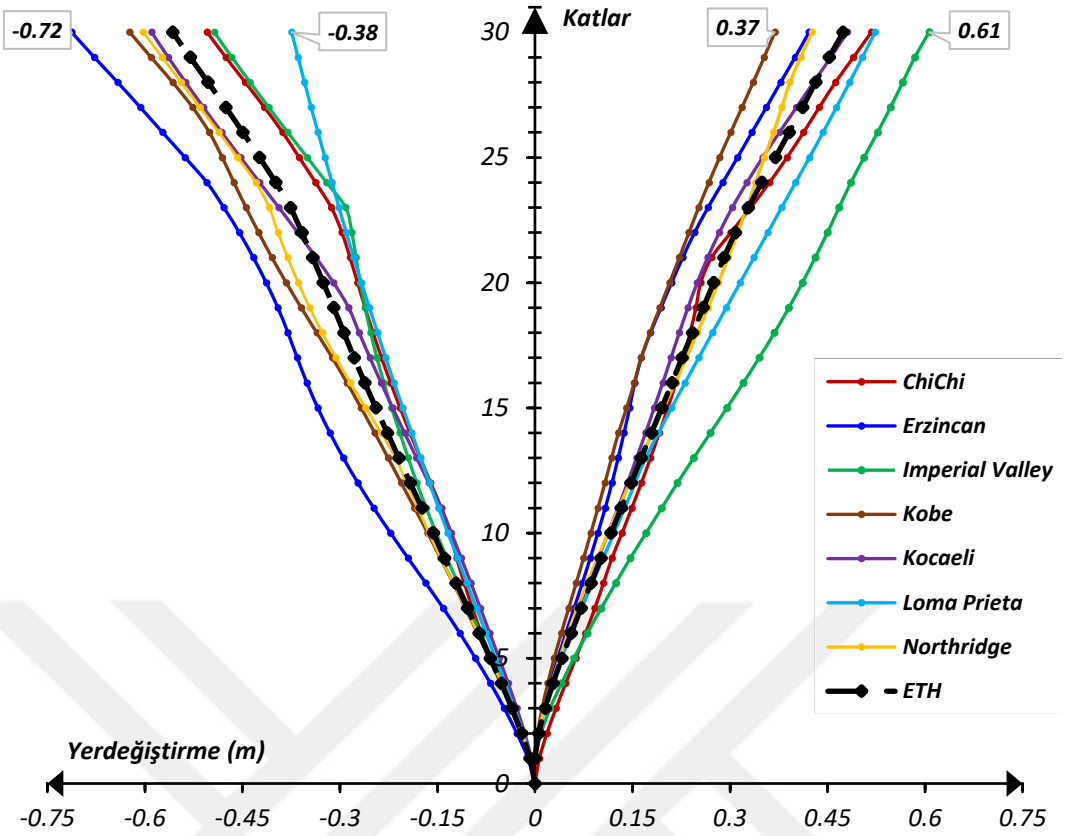
Tüm modeller için her iki yönde zaman tanım alanında tanımlanan deprem etkilerinin analiz sonuçları ve bunların ortalama değerleri alınarak bu kısımda verilmiş, sonuçlardan taşıyıcı sistemlerin etkinliği üzerine yorumlamalar yapılmıştır.

Model 1 için yükseklikle birlikte yerdeğiştirmelerin değişimi X-X doğrutusu için Şekil 4.31'de ve Y-Y doğrultusu için Şekil 4.32'de verilmiştir. Tepe noktası için ortalama yerdeğiştirme değerinin 50 cm civarında, maksimum değerin de 72 cm olduğu görülebilir. Depremlerden alınan sonuçların, binanın daha rijit davranış sergilediği X-X doğrultusunda daha dağınık olduğu görülmektedir.

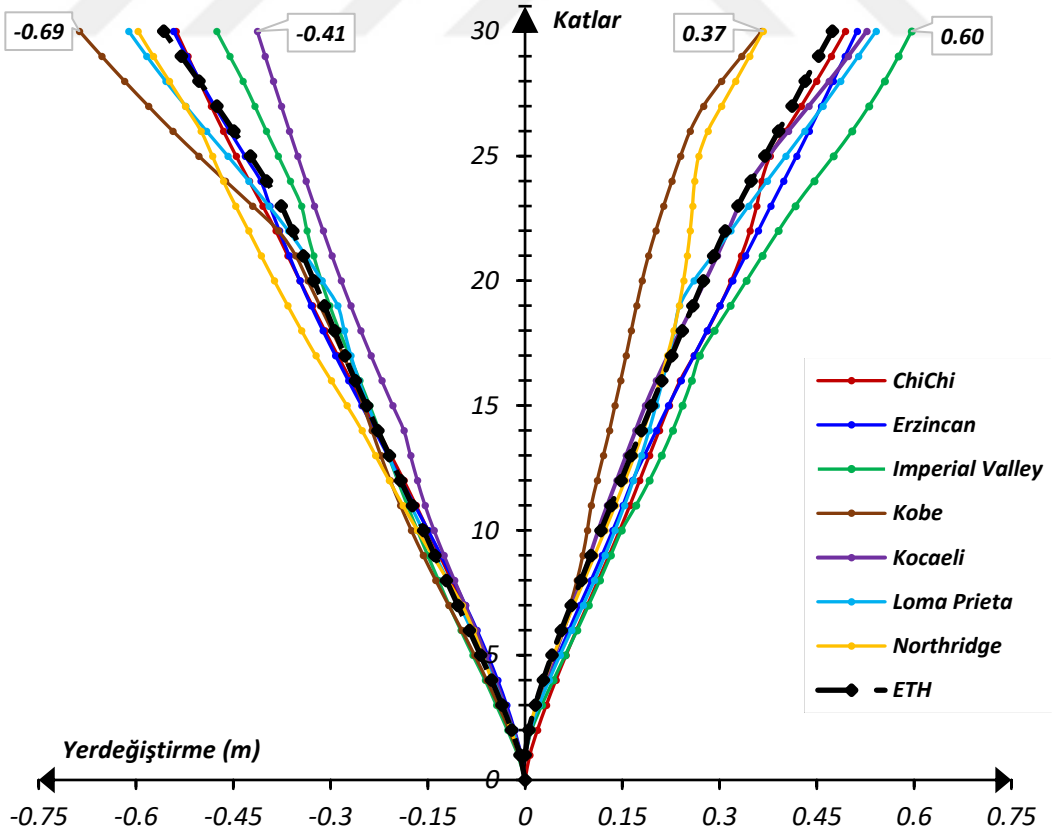
Model 2 için yükseklikle birlikte yerdeğiştirmelerin değişimi X-X doğrutusu için Şekil 4.33'de ve Y-Y doğrultusu için Şekil 4.34'de verilmiştir. Tepe noktası için ortalama yerdeğiştirme değerinin 60 cm civarında, maksimum değerin de 82 ve 95 cm olduğu görülebilir. Bu model sonuçlarda en fazla dağınıklık gösteren modeldir

Model 3 için yükseklikle birlikte yerdeğiştirmelerin değişimi X-X doğrutusu için Şekil 4.35'de ve Y-Y doğrultusu için Şekil 4.36'da verilmiştir. Tepe noktası için ortalama yerdeğiştirme değerinin 40 cm, maksimum değerin de 53 cm olduğu görülebilir. Bu modele ait yerdeğiştirme sonuçlarında daha doğrusal bir değişim görülmektedir.

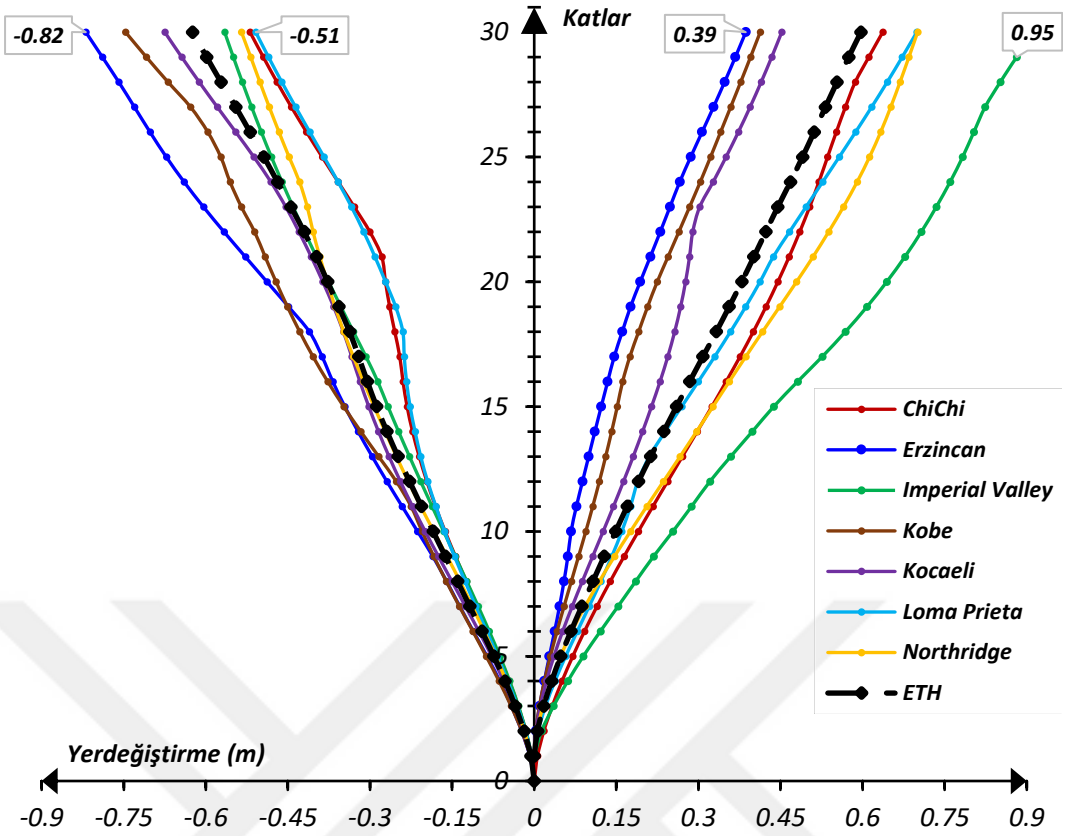
Sonuçları ele alınan modeller için genel olarak değerlendirirsek Model 1'de üst katlarda çerçeve elemanlarının kesitlerinin azaltılmasıyla birlikte yerdeğiştirmelerin daha hızlı arttığı görülebilir. Model 2 için daha önceki sonuçlara bakılarak binanın konsol davranışı sergilemesi beklenmektedir. Nitekim bu aşamada da üst katlara doğru yerdeğiştirme eğrisinin eğimi artmıştır. Model 2'ye ait sonuçlardan görülebilir ki düşey taşıyıcı oranının yükseklikle birlikte daha az oranlarda düşürülmesine rağmen özellikle binanın orta katlarından itibaren yerdeğiştirme değerleri daha hızlı artmıştır. Bu durum sadece perde elemanlardan oluşturulan yüksek binalarda, belli yüksekliklerden sonra yerdeğiştirmelerin kontrol edilememesi sonucunu doğrulamaktadır.



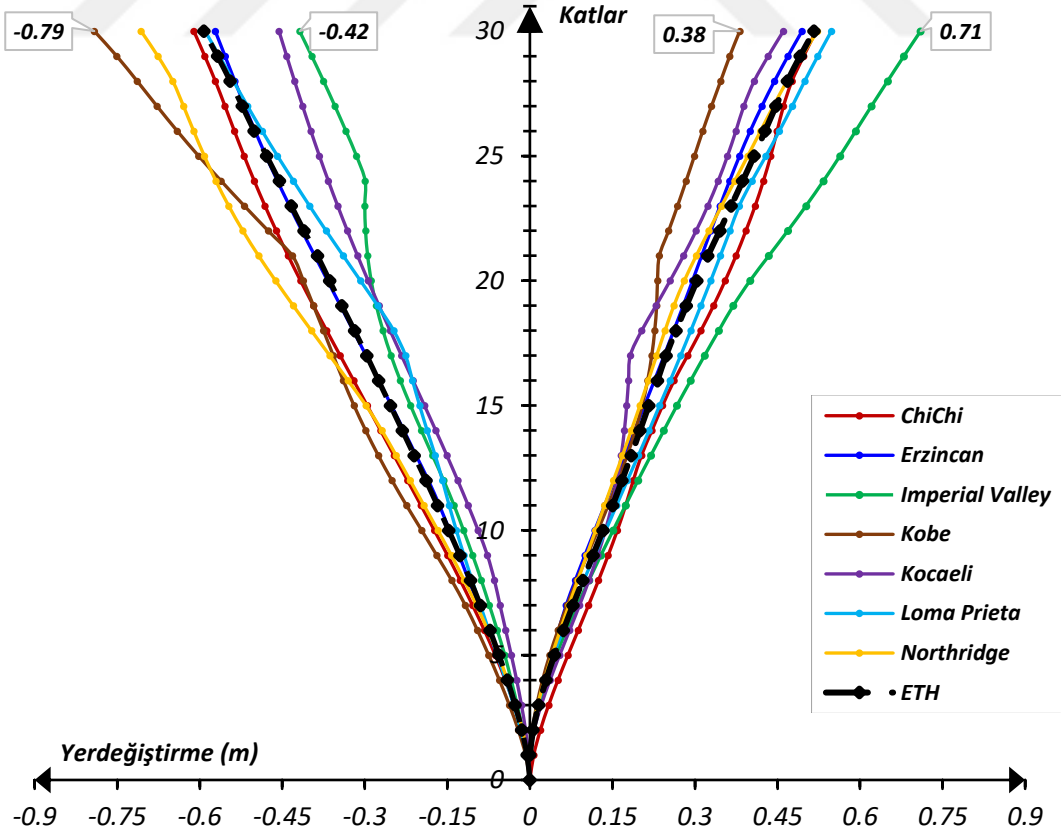
Şekil 4.31 Model 1 X-X doğrultusu için yerdeğiştirmelerin yükseklik ile değişimi



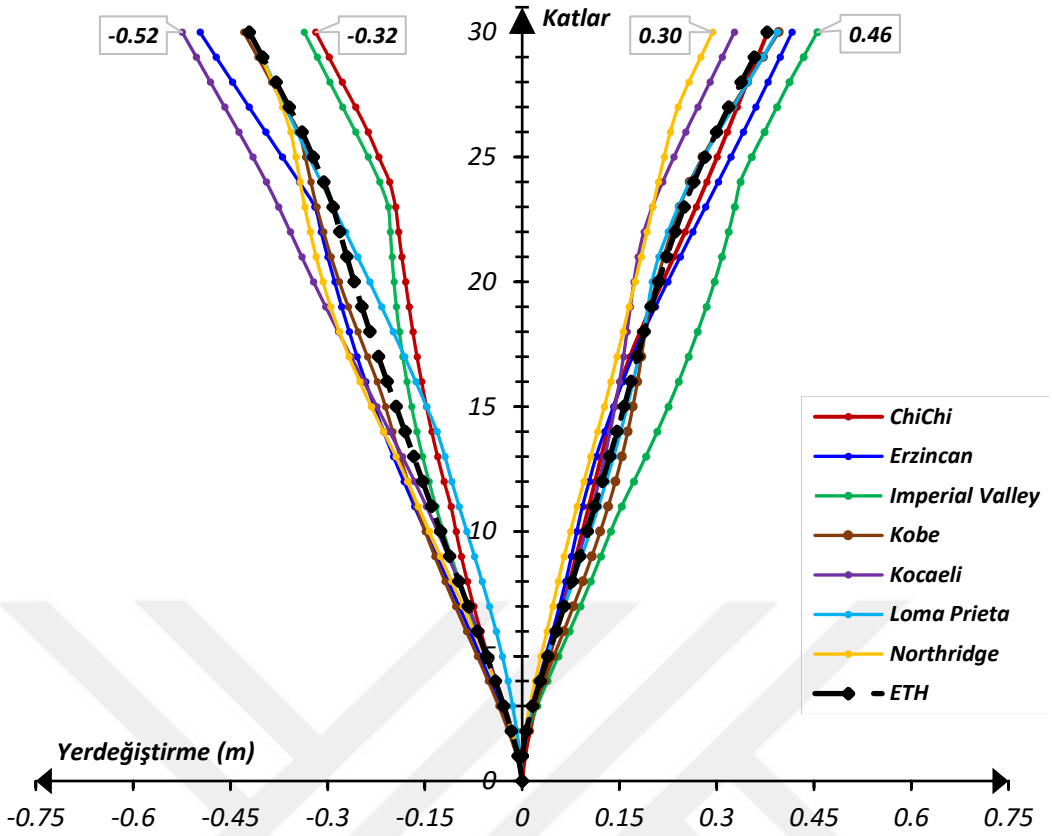
Şekil 4.32 Model 1 Y-Y doğrultusu için yerdeğiştirmelerin yükseklik ile değişimi



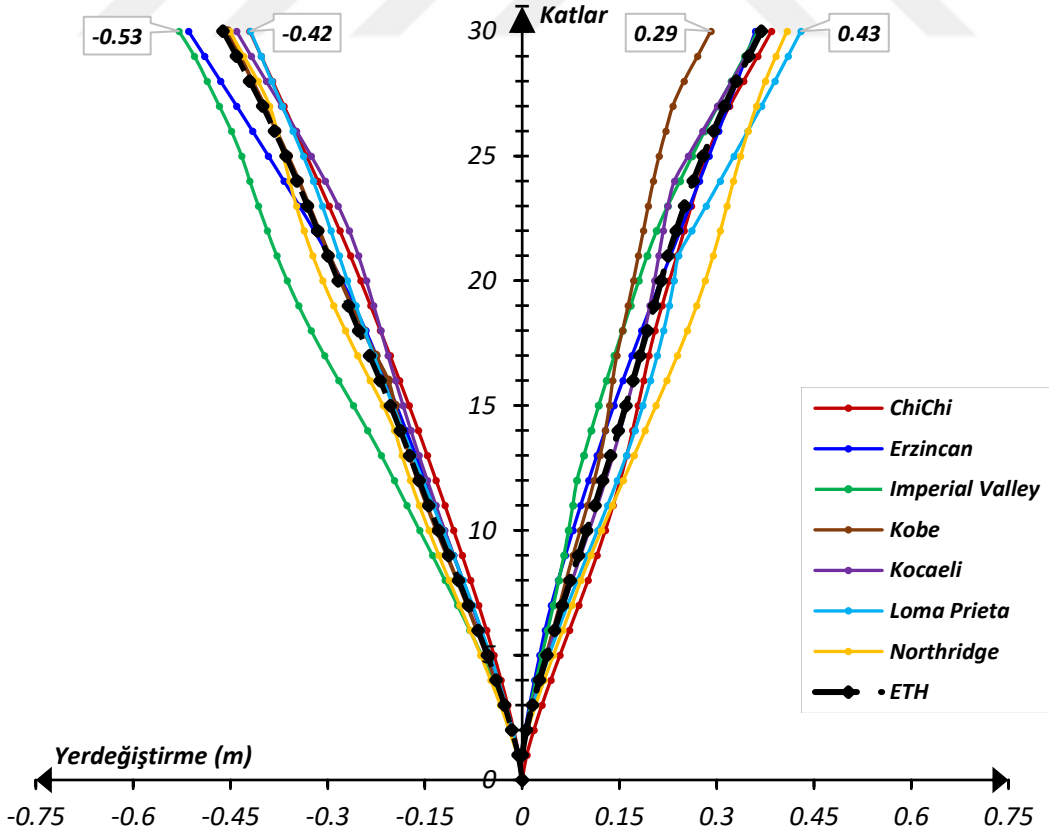
Şekil 4.33 Model 2 X-X doğrultusu için yerdeğiştirmelerin yükseklik ile değişimi



Şekil 4.34 Model 2 Y-Y doğrultusu için yerdeğiştirmelerin yükseklik ile değişimi



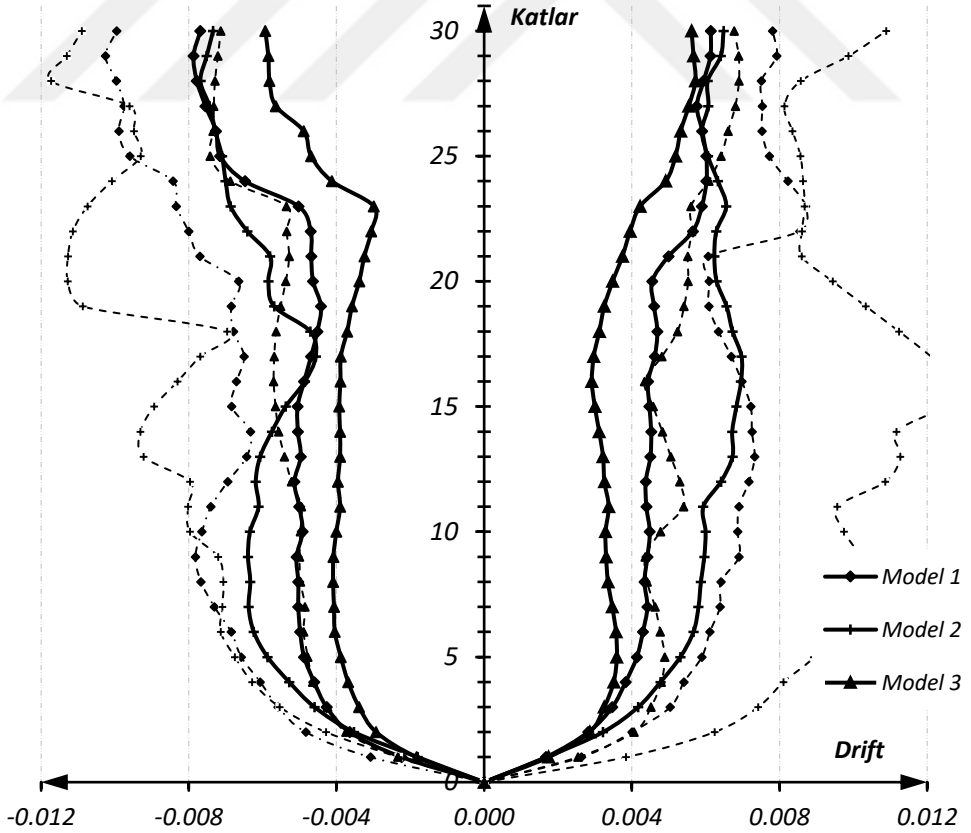
Şekil 4.35 Model 3 X-X doğrultusu için yerdeğiştirmelerin yükseklik ile değişimi



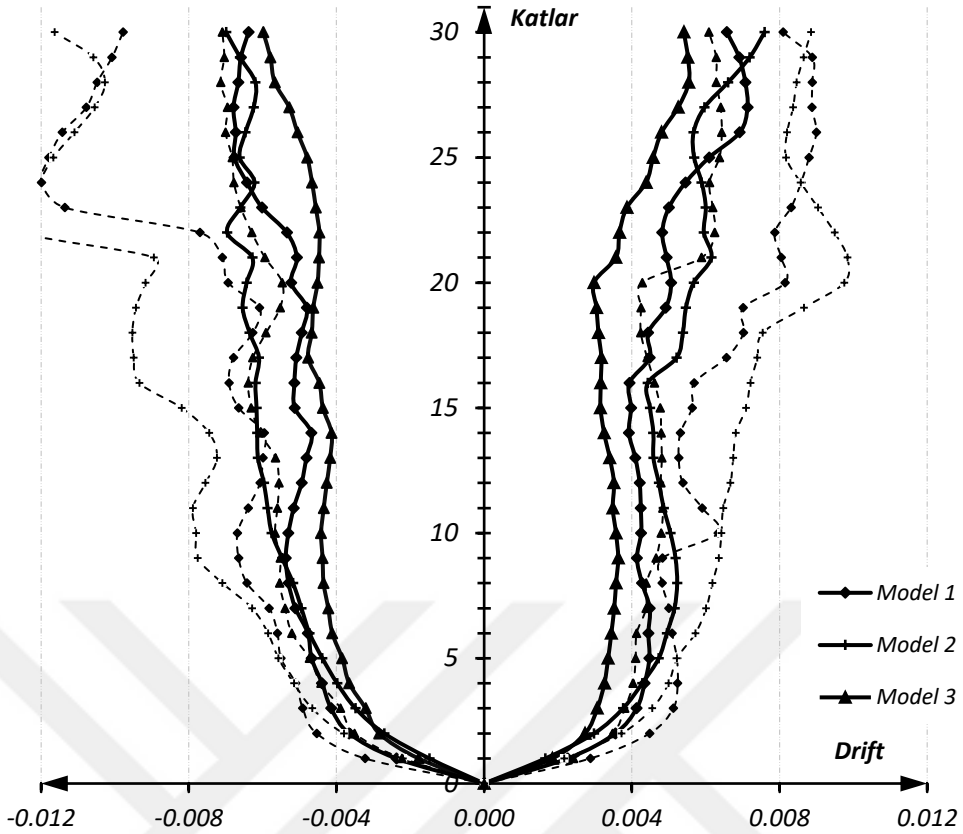
Şekil 4.36 Model 3 Y-Y doğrultusu için yerdeğiştirmelerin yükseklik ile değişimi

Tüm modeller için zaman tanım alanında tanımlanmış deprem analiz sonuçlarının ortalaması alınarak hesaplanmış göreli kat ötelenmelerinin değişimi X-X doğrultusu için Şekil 4.37'de ve Y-Y doğrultusu için Şekil 4.38'de verilmiştir. Model 2'ye ait sonuçlarda genelde daha büyük değerler görülmekte olup Model 3'e ait sonuçlar daha güvenli tarafta kalmaktadır. Tüm katlarda ortalama alınarak hesaplanmış değerler **3.5.3.3**'de tanımlanan sınır değerden (0.03) daha küçük tarafta kalmaktadır. Ayrıca her kat için maksimum göreli kat ötelenmeleri de şekilllerde kesikli çizgilerle çizilmiş olup, bu değerler **3.5.3.3**'de için verilen sınır değerden (0.045) daha küçük tarafta kalmıştır.

Model 1 için verilen sonuçlarda eleman kesitlerinin azaltıldığı ve dolasıyısıyla bina rijitliğinin düştüğü katlarda ani dalgalanmalar görülmektedir. Doğrusal analize benzer sonuçlar bu kısımda da görülmüştür. Göreli kat ötelenmelerinde kesit azaltılması açısından en duyarlı sistemin Model 1 olduğu söylenebilir. Model 3 için sonuçlara baktığımızda çapraz elemanların özellikle binanın üst katlarında oluşan dalgalanmaları daha kararlı hale getirdiği ve konfor seviyesini arttırdığı söylenebilir.



Şekil 4.37 X-X doğrultusu için ortalama ve maksimum göreli kat ötelenmeleri

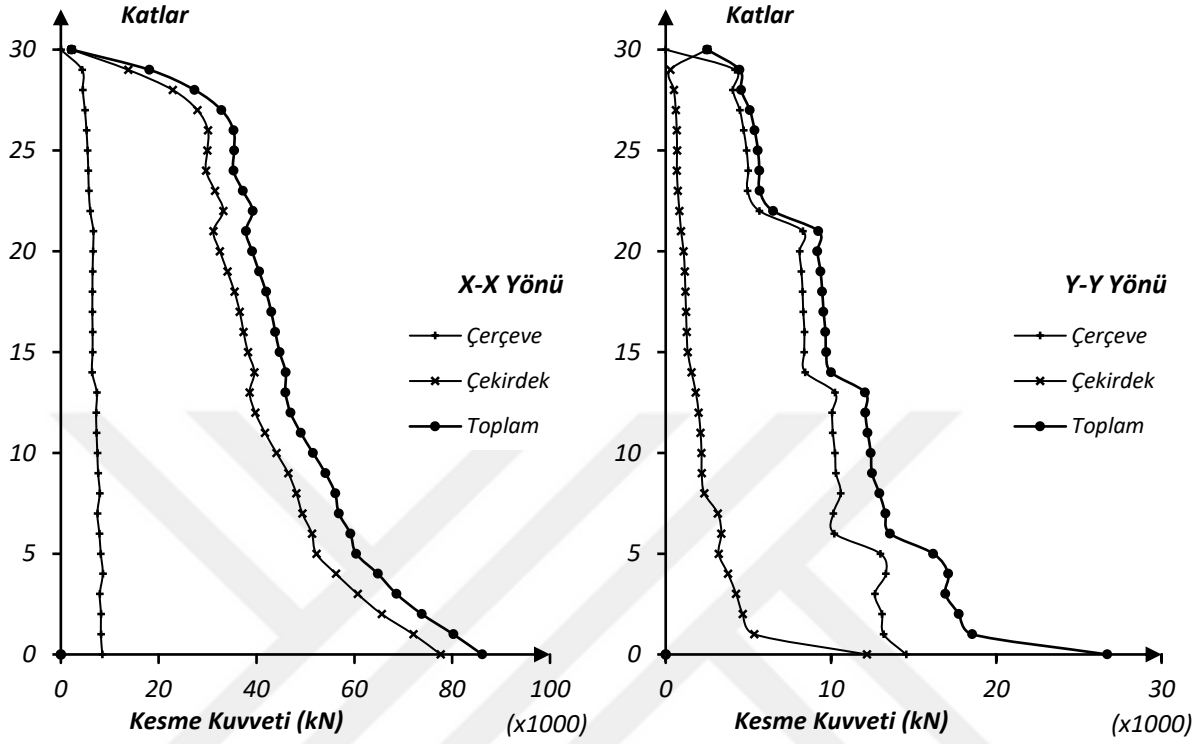


Şekil 4.38 Y-Y doğrultusu ortalama ve maksimum göreli kat ötelenmeleri

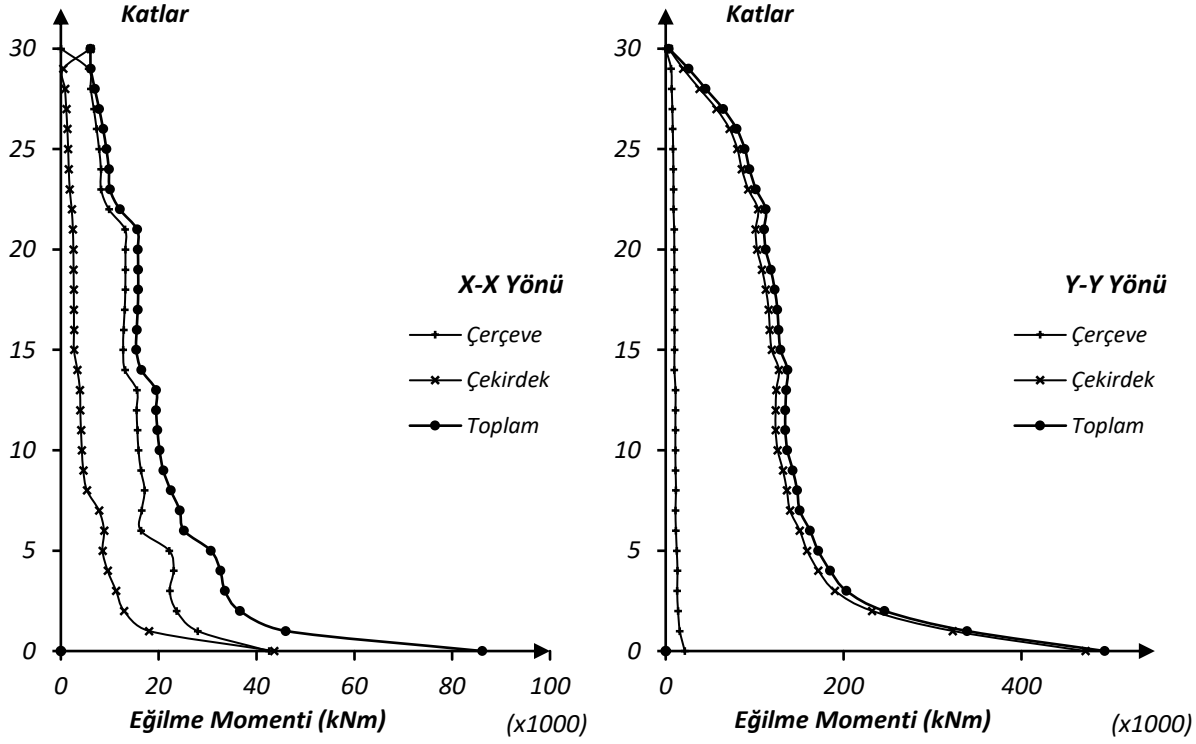
Maksimum göreli kat ötelenme eğrilerinde Model 2 için verilen değerler, özellikle daha fazla dalgalanmalar ve maksimum değerler göstermektedir. Bu durumun sebebi olarak perde davranışının konsola benzer davranış sergilemesi gösterilebilir. Ayrıca bir doğrultuda aşırı rijit olan perde elemaların her iki yöndeki yük dağılımında, döşeme elemanların yeterli rijitlik sağlayamayışı da üst katlardaki değerleri büyütmektedir.

Göreli kat ötelenmelerinde üst katlarda meydana gelen dalgalanmalar, yüksek binaların davranışlarının normal yükseklikteki binalara göre farklılığını göstermektedir. Yüksekliğin artmasıyla birlikte özellikle üst katlarındaki düşey taşıyıcı elemanların rijitlikleri, daha esnek bir sistemin oluşmasından dolayı düşmektedir. Bu durumda üst katlardaki bina rijitliğinin arttırılmasında, yatay doğrultuda rijitliği fazla olan kiriş elemanların ve daha rijit bir sistem oluşmasını sağlayan çapraz elemanların daha etkin olduğu sonucuna ulaşılabilir.

Model 1 için deprem etkilerinin her iki doğrultuda ortalama sonuçlarının alınmasıyla oluşturulan çekirdek, çerçeve elemanları ve bunların toplamı için kat kesme kuvvetleri değişimi Şekil 4.39'da eğilme momenti değişimi de Şekil 4.40'da verilmiştir.



Şekil 4.39 Model 1 X-X ve Y-Y doğrultuları kat kesme kuvvetlerinin değişimi



Şekil 4.40 Model 1 X-X ve Y-Y doğrultuları için eğilme momenti değişimi

Şekil 4.39'dan görülebilir ki X-X doğrultusunda kat kesme kuvvetlerinin çekirdek tarafından taşınan kısmı toplam kesme kuvvetinin %80'i civarındadır. Ancak kat kesme kuvvetleri açısından çekirdek aktivitesinin diğer doğrultuda benzer olduğu söylenemez. Çekirdek perdelerinin yerleştirilmesindeki bu fark, daha büyük boşluksuz olarak, özellikle kuvvet çifti oluşturacak şekilde yerleştirilen perdelerin çok sayıda ama daha küçük boyutlarda yapılan bağ kirişli perdelere göre daha etkin olduğunu göstermektedir.

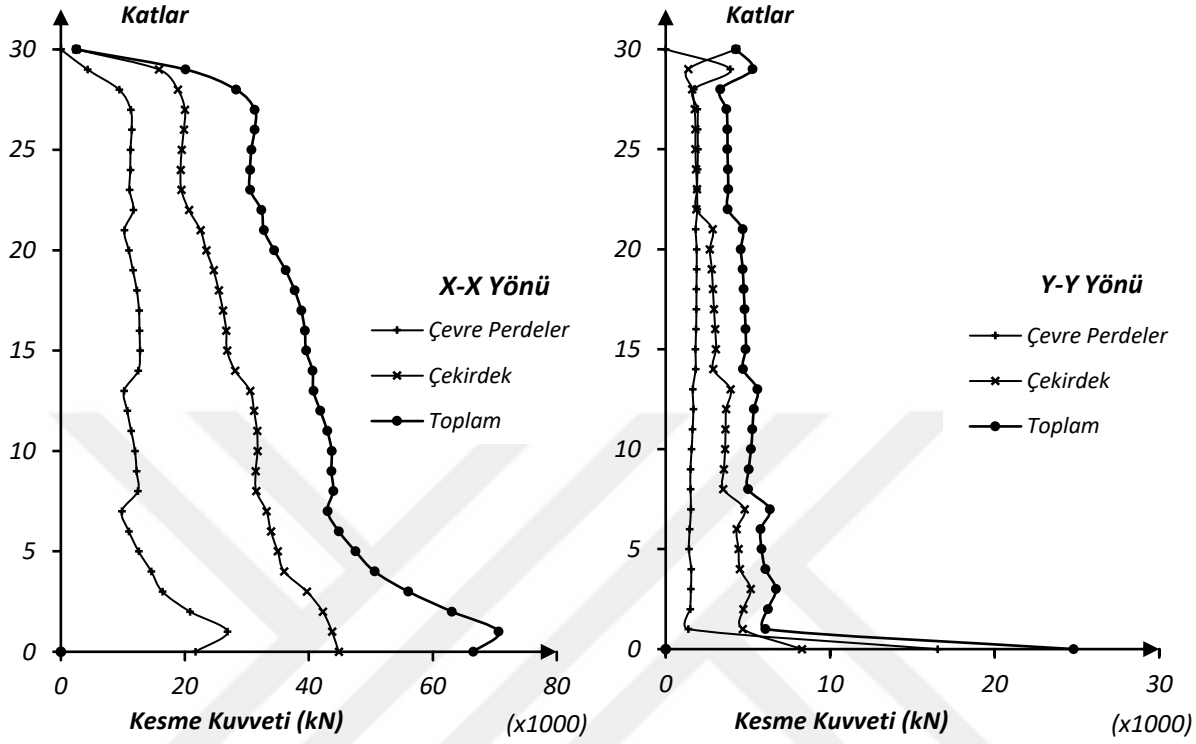
Şekil 4.40'da görülen moment değişiminde de X-X yönündeki kesme kuvvetlerinin büyük değerler almasıyla Y-Y doğrultusu etrafında döndüren momentler büyümüştür. Y-Y doğrultusunda çekirdek perdeleri toplam momentin %90'ını taşımaktadır. Çalışmada aldığımız modellerde bodrum katlar olmadığını varsaydığımız ve zemine yaklaştıkça bina planı genişlemediği için, alt katlar aşırı rijit davranış görülmüştür. Taban kesitine doğru özellikle moment değerlerinde asimptotik bir artış vardır. Perdelerin daha büyük boyutlarda seçilmesi ve planda daha etkin olarak yerleştirilmesi ile çerçeve sisteminin boyut azaltılmasına karşı daha toleranslı olabileceği sonuçlardan görülmektedir.

Şekil 4.41'de çekirdek X-X doğrultusunda daha aktif olarak değerlendirilebilir. X-X doğrultusunda çekirdek ve çevre perdeler, toplam kesme kuvvetini yaklaşık %65-35 oranında paylaşmaktadırlar. Ancak aynı oranlar moment değerlerinin paylaşımında görülmemiştir. Çevre perdelerinin daha büyük kuvvet kolu oluşturacak şekilde yerleştirilmesiyle, her iki perde grubu yükseklikle yaklaşık eşit moment paylaşacak şekilde davranış sergilemişlerdir. Bu davranış Şekil 4.42'de verilen Y-Y etrafında döndüren moment değişiminden de görülebilir.

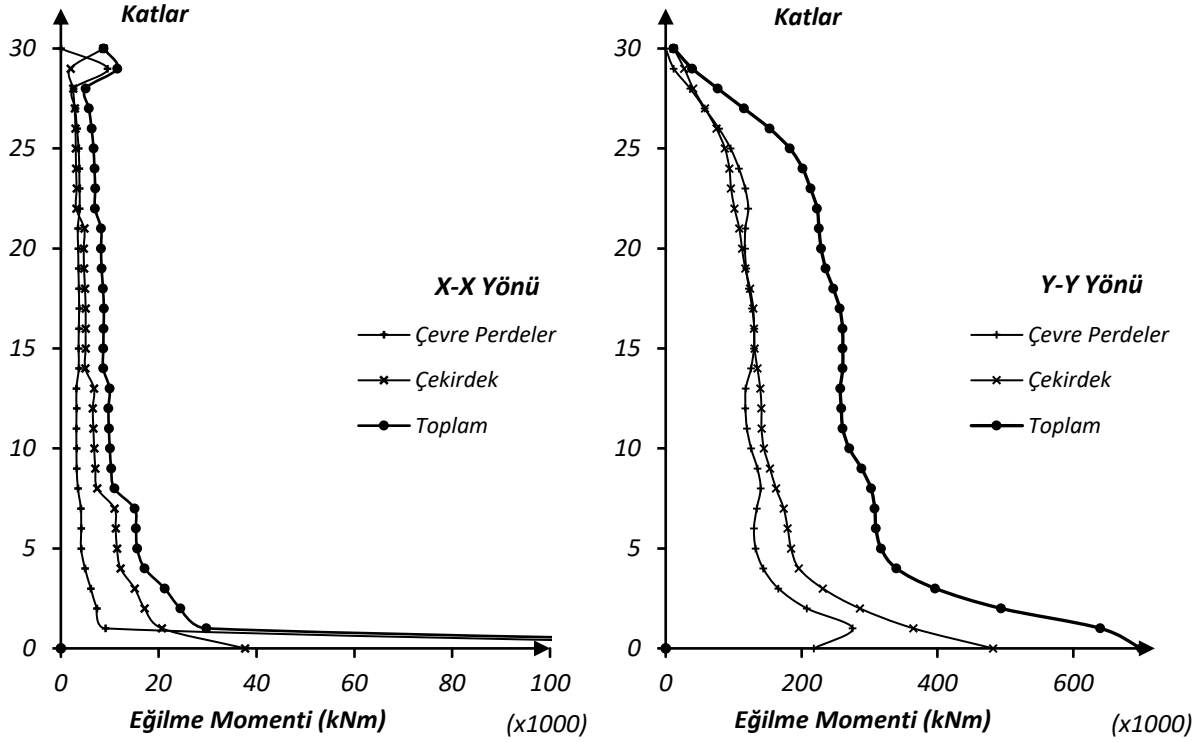
Şekil 4.41'de X-X yönünde kesme kuvvetinin taşınmasında çekirdek perdeleri daha aktif davranış sergilemişlerdir. Kesit azaltılmasının yapıldığı katlarda çekirdek perdeleri tarafından taşınan etkilerin azalması daha belirgin olarak görülmüştür.

Her iki modele ait sonuçlardan çıkarılabilecek genel sonuç çekirdek davranışlarının binalarda taşınan kesme ve döndürme momentlerinde en önemli etken olduğudur. Perdelerin planda daha etkin olacak şekilde yerleştirilmesinin taşınabilecek moment değerlerinde %100 artış sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Model 2 için zaman tanım alanında yapılmış olan analizlerin her iki doğrultu için ortalama sonuçlar ile oluşturulan kat kesme kuvvetlerinin değişimi Şekil 4.41'de, eğilme momenti değerlerinin değişimi de Şekil 4.42'de verilmiştir.

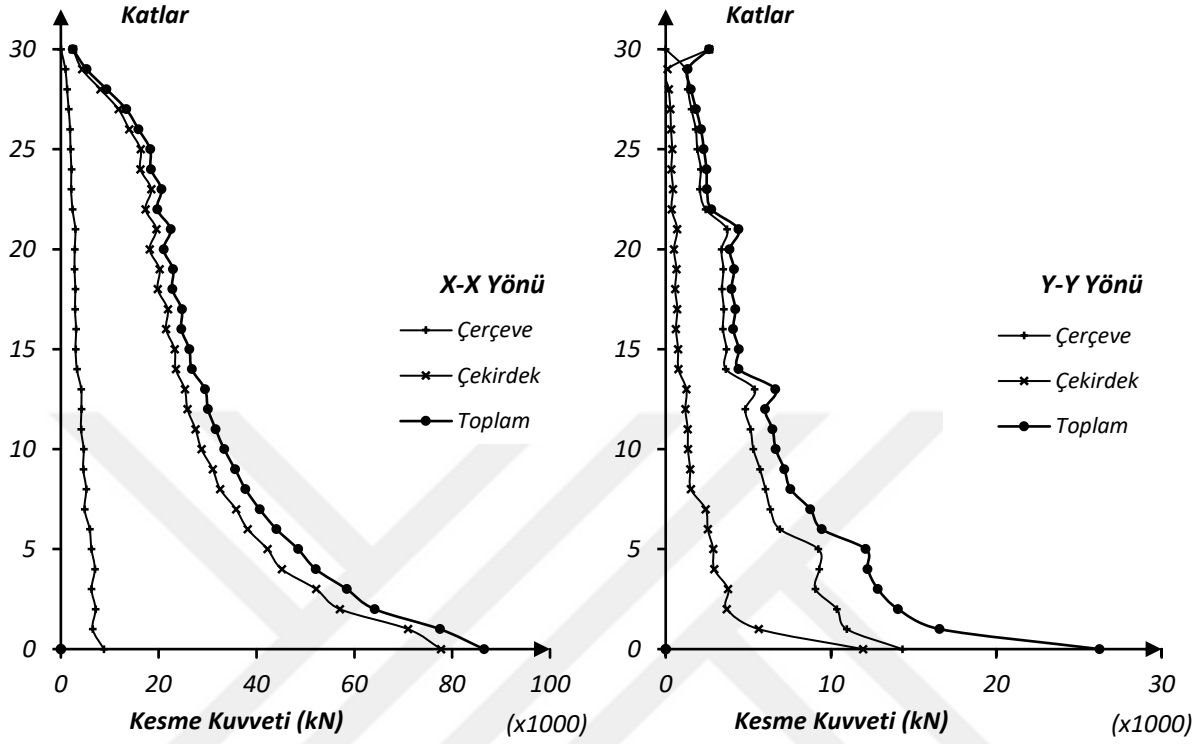


Şekil 4.41 Model 2 X-X ve Y-Y doğrultuları kat kesme kuvvetlerinin değişimi

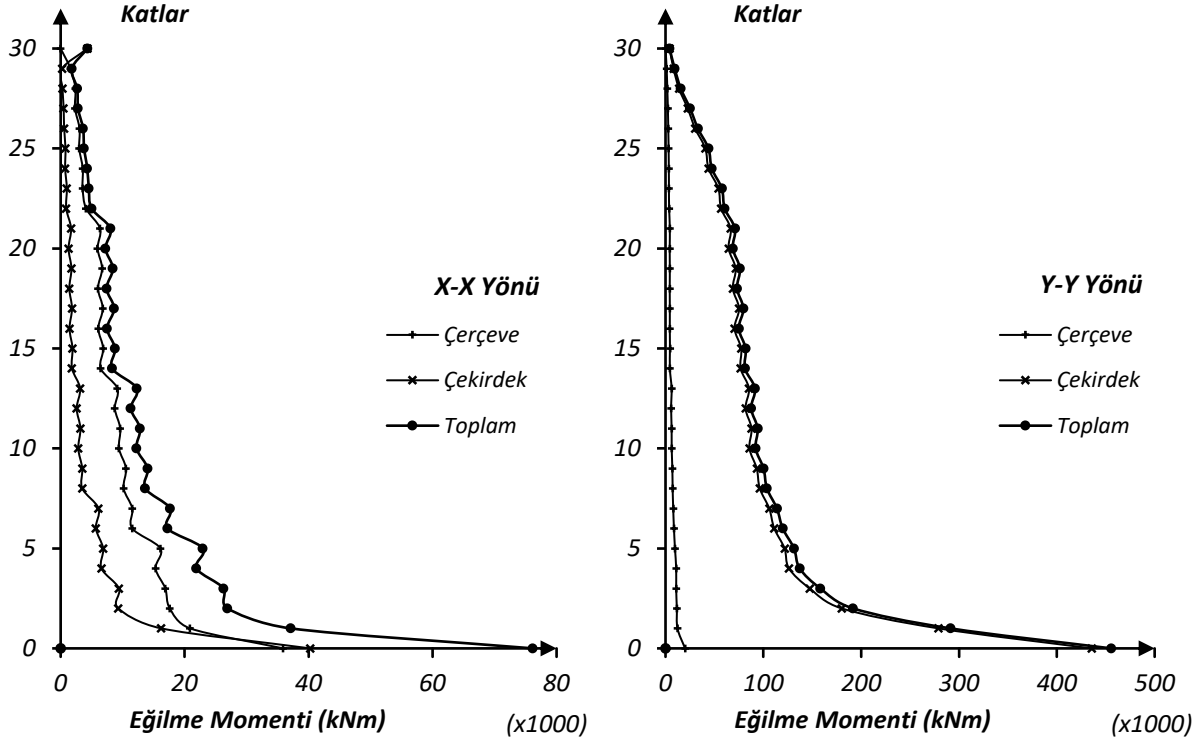


Şekil 4.42 Model 2 X-X ve Y-Y doğrultuları için eğilme momenti değişimi

Model 3 için zaman tanım alanında yapılmış olan analizlerin her iki doğrultudaki ortalama sonuçları ile oluşturulan kat kesme kuvvetlerinin değişimi Şekil 4.43'de, eğilme momenti değerlerinin değişimi de Şekil 4.44'de verilmiştir.

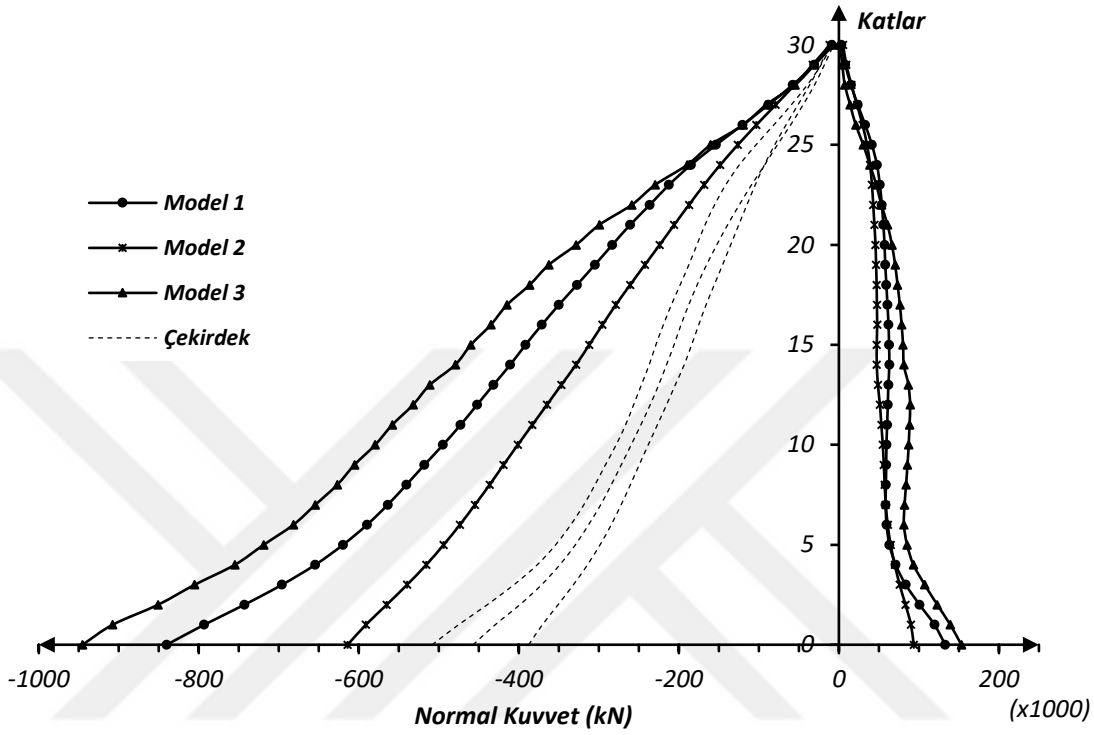


Şekil 4.43 Model 3 X-X ve Y-Y doğrultuları kat kesme kuvvetlerinin değişimi



Şekil 4.44 Model 3 X-X ve Y-Y doğrultuları için eğilme momenti değişimi

Model 3 için de X-X doğrultusunda hem kesme kuvveti hem de döndürme momentlerinde daha aktif davranış sergilemiştir. Binanın üst katlarında kat kesme kuvvetlerinde Model 1'e göre %10-20 arasında azalmalar görülmektedir. Ancak eleman boyutlarının azaltıldığı katlardaki dalgalanmalar bu modelde de vardır.



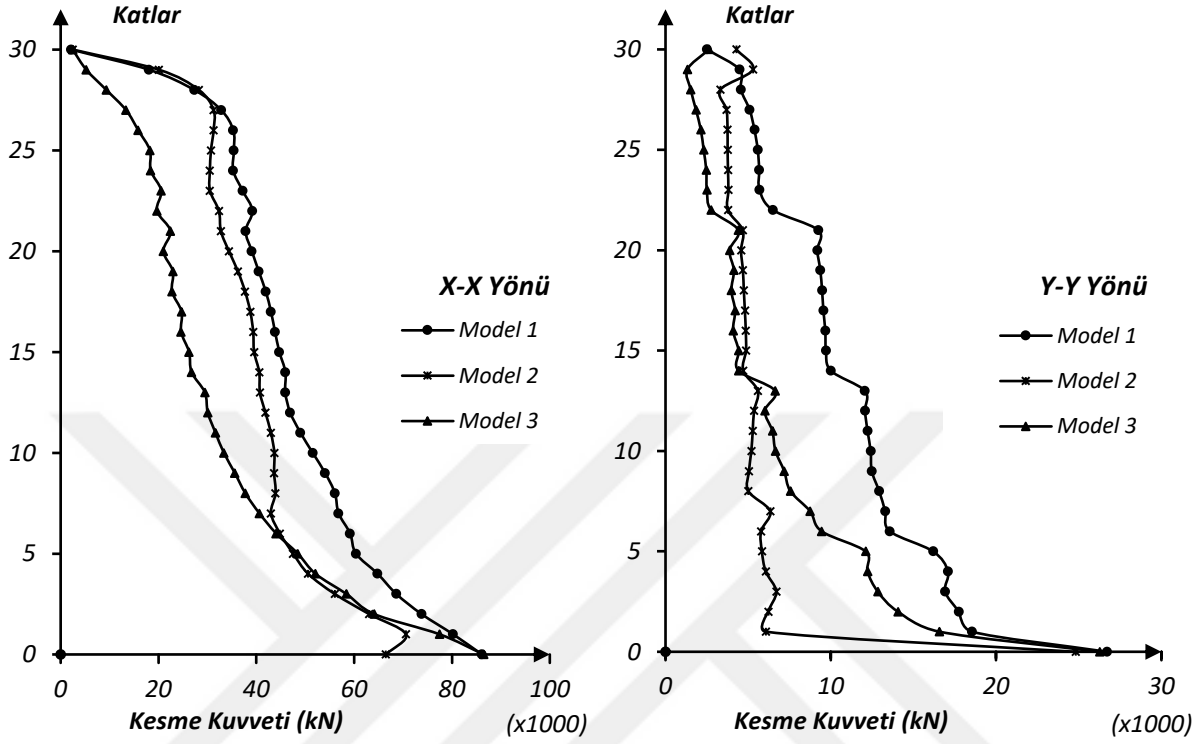
Şekil 4.45 Tüm modellerde çekirdek tarafınan taşınan normal kuvvetlerin ve toplam normal kuvvetlerin yükseklik ile değişimi

Zaman tanım alanındaki analiz sonuçlarının ortalaması ile oluşturulan, bina yüksekliği boyunca taşınan normal kuvvet değerlerinin değişimi Şekil 4.45'de verilmiştir. Şekilde çekirdek perdeleriyle taşınan kuvvetler kesikli çizgiler ile verilmiştir. Her bir çekirdekte taşınan normal kuvvet değerleri toplam kuvvet eğrilerinin sıralaması ile eşleşmektedir. Çekirdek tarafından taşınan normal kuvvetlerin (basınç) oranı %50-60 arasındadır.

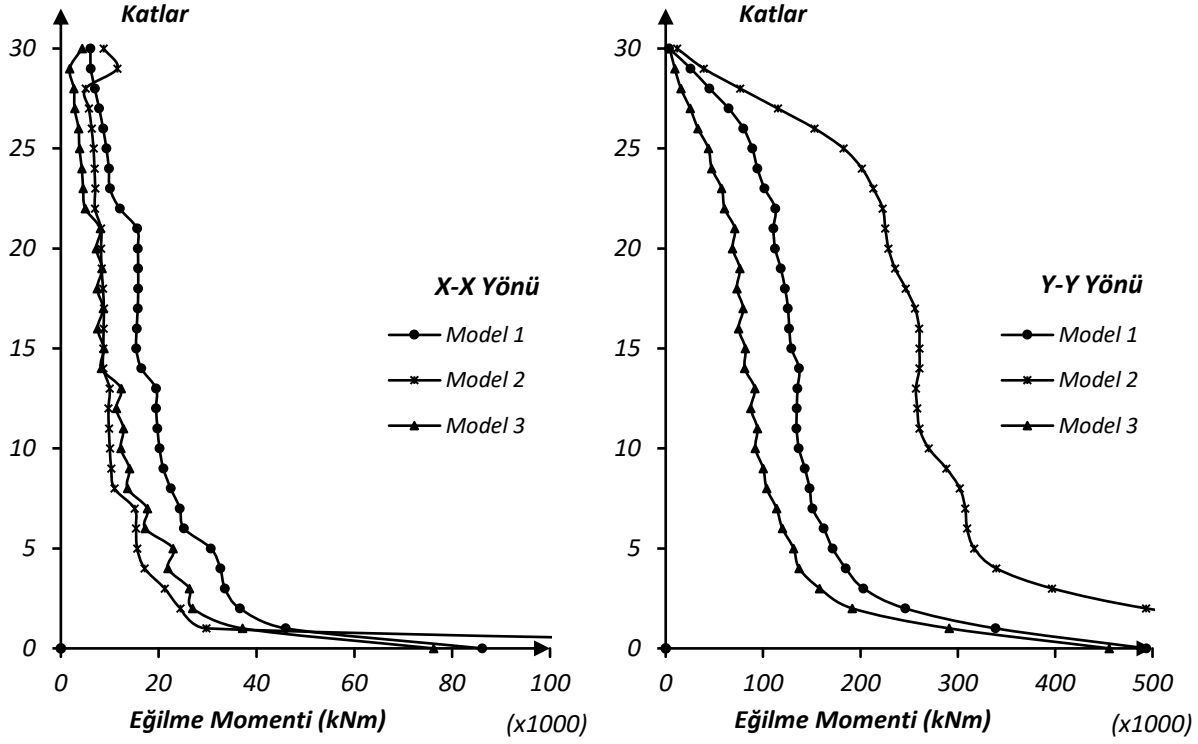
Model 3'de çekirdek perdeleri tarafından taşınan normal kuvvetin (basınç) toplam değere oranının daha düşük olduğu görülebilir. Bu durum çevre eksenlerde eklenmiş olan çapraz elemanların, kirişlerden kolonlara aktarılan kesme kuvveti ve moment gibi etkileri dengeleyerek normal kuvvet olarak iletmesinden dolayı gelişmiştir.

Son olarak tüm modellere ait sonuçlar ile oluşturulan toplam kat kesme kuvvetlerinin değişimi Şekil 4.46'da ve eğilme momenti değerlerinin değişimi de Şekil 4.47'de verilmiştir.

Genel olarak özetlenirse, Model 3 sisteminin özellikle üst katlara doğru kat kesme kuvveti ve moment eğrilerinde azalan bir eğilim göstermiştir. Yüksek binalarda çapraz eleman kullanmanın ekonomik taşıyıcı sistem için iyi bir alternatif olduğunu söylenebilir.



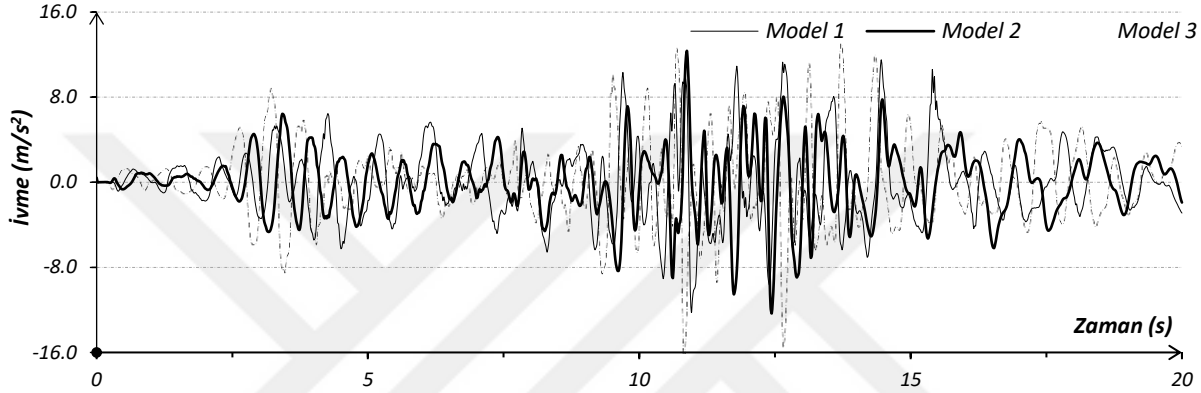
Şekil 4.46 X-X ve Y-Y doğrultuları için kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması



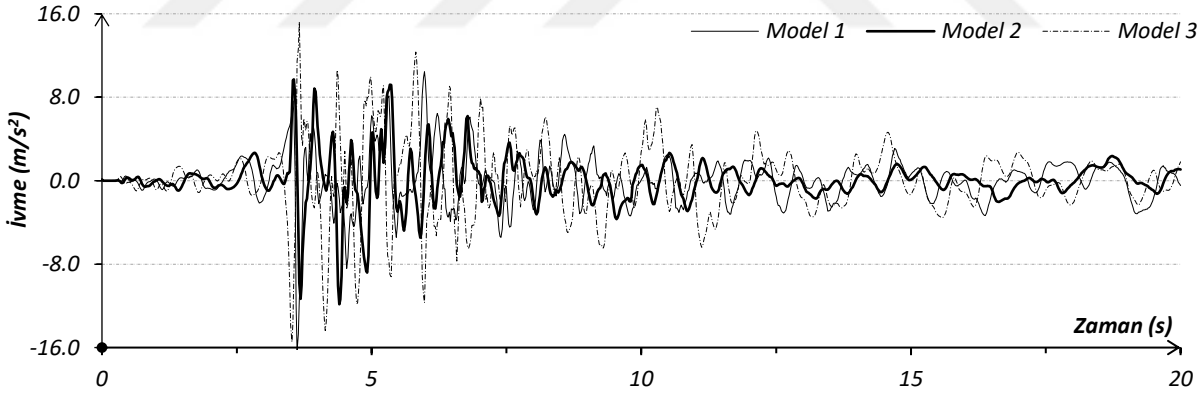
Şekil 4.47 X-X ve Y-Y doğrultuları için eğilme momentinin karşılaştırılması

4.7.3 Tepe Noktası İvme-Zaman Değişimleri

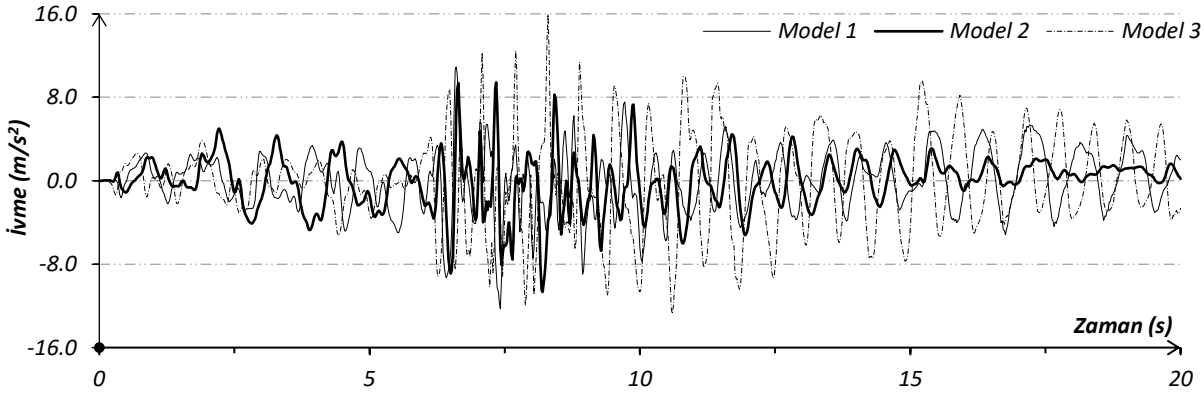
Zaman tanım alanında analiz sonuçları dikkate alınarak 7 deprem etkisi için oluşturulan tepe noktası ivme-zaman eğrileri Şekil 4.48-54 arasında verilmiştir. Model 1,2,3 ortalama sonuçları için maksimum ivmelenme değerleri sırasıyla 12.3 m/s^2, 11.8 m/s^2, 13.7 m/s^2 boyutlarında oluşmuştur. Tüm depremlerde en büyük ivmelenmelerin Model 3'de meydana geldiği görülmüştür. Bu sonuçların Model 1 ile karşılaştırılmasında ivmelerin %30-50 oranlarında daha büyük olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak bina rijitliğinin artmasıyla birlikte maksimum ivme değerlerinin büyüdüğü genel olarak söylenebilir.



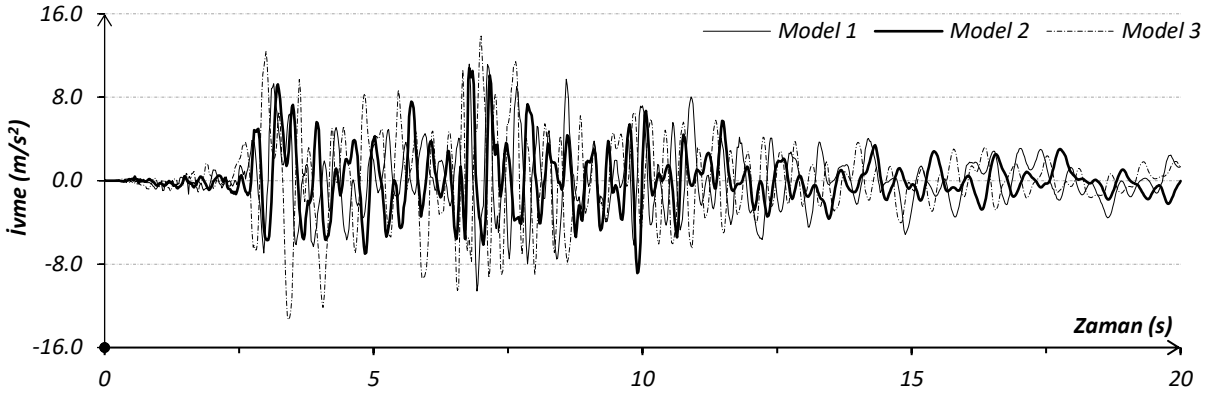
Şekil 4.48 ChiChi depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri



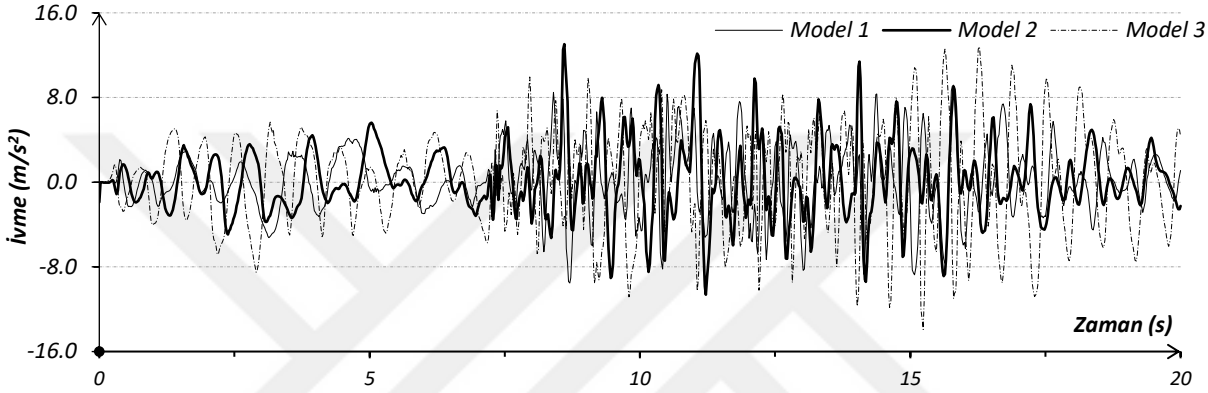
Şekil 4.49 Erzincan depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri



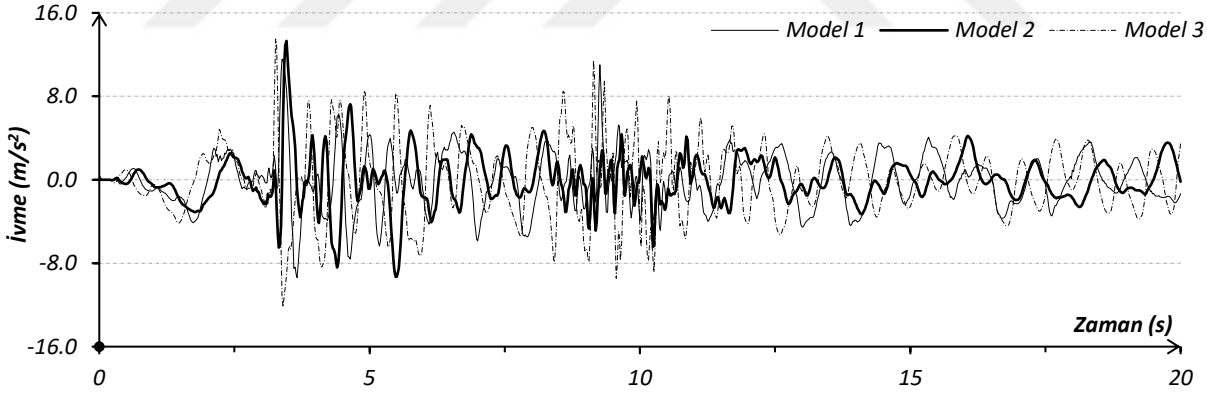
Şekil 4.50 Imperial Valley depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri



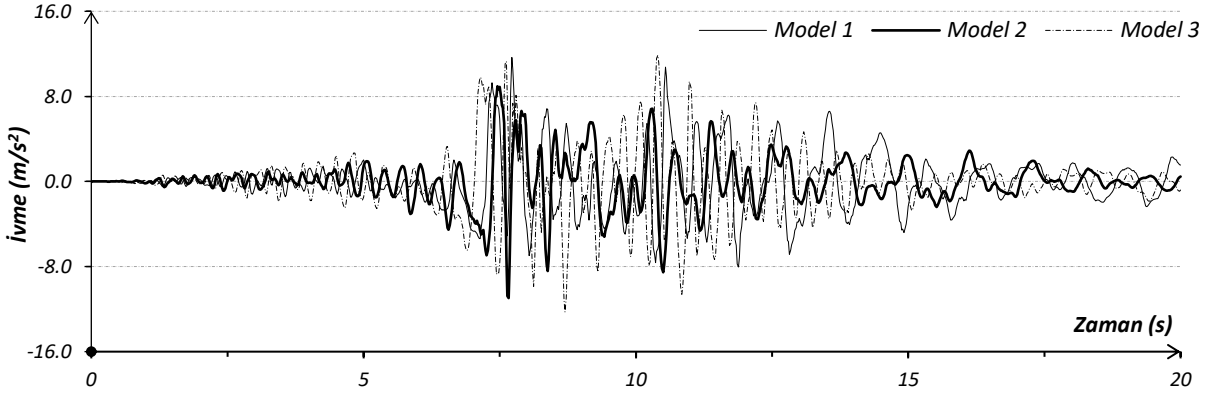
Şekil 4.51 Kobe depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri



Şekil 4.52 Kocaeli depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri



Şekil 4.53 Loma Prieta depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri



Şekil 4.54 Northridge depremi için tepe noktası ivme-zaman değişimleri

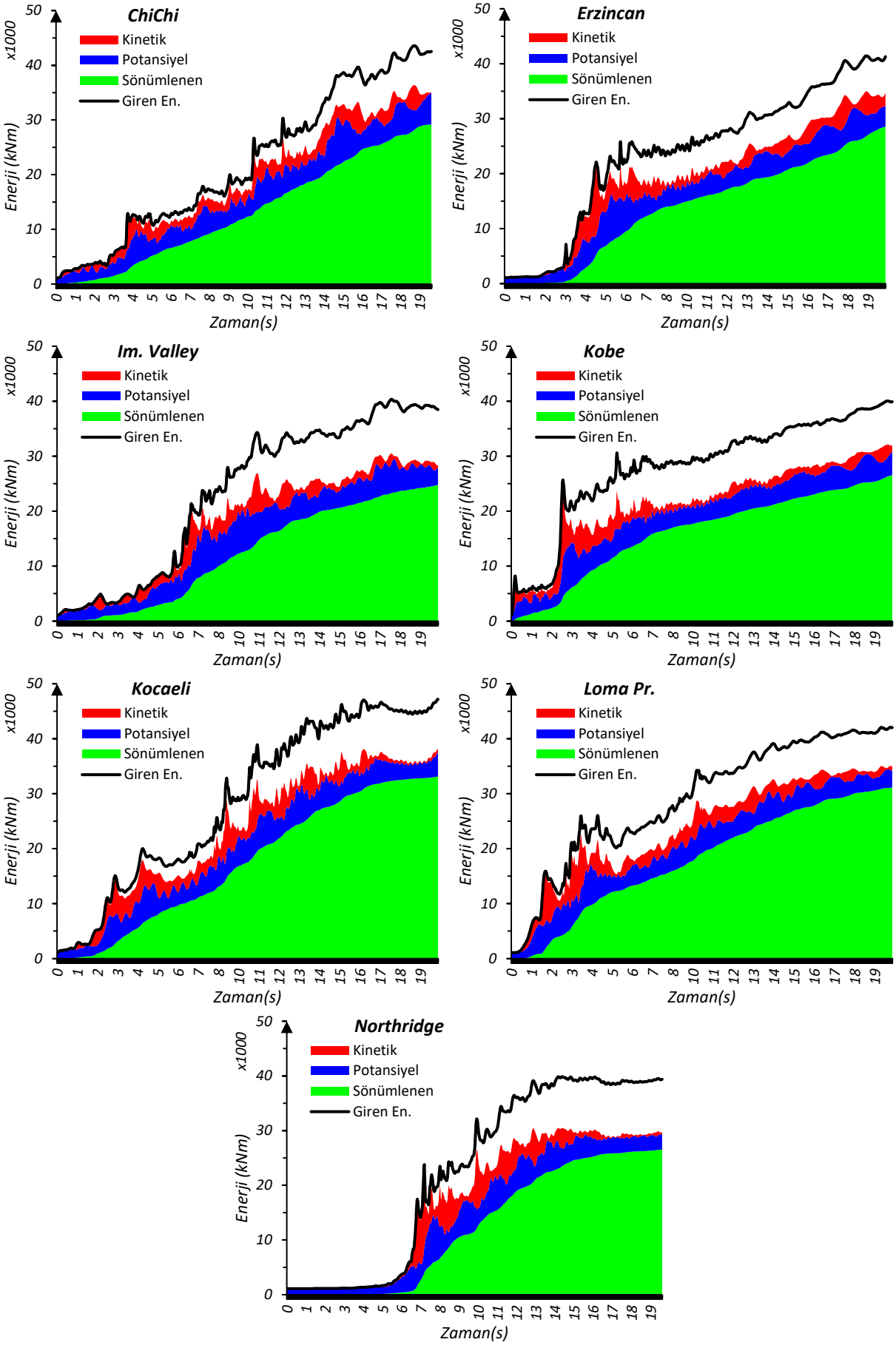
4.7.4 Deprem Etkisinde Tüketilen Enerji Miktarları

Statik yükler altında dengede olan elastik bir sistemi ele aldığımızda, sistemin yerdeğiştirme durumu sınır şartlarını ve denge koşullarını sağlayacaktır. Sınır şartlarını sağlayan yerdeğiştirmeler, potansiyel enerjiyi minumum yapan değerlerdir. Bir sistem dış kuvvetler altında toplam potansiyel enerji minumum olacak şekilde şekil değiştirme ve yerdeğiştirme yapar. Toplam potansiyel enerji, şekil değişitiren sistemde depolanan elastik şekil değiştirme enerjisi ve dış kuvvetlerin potansiyel enerjisi olarak ortaya çıkmaktadır.

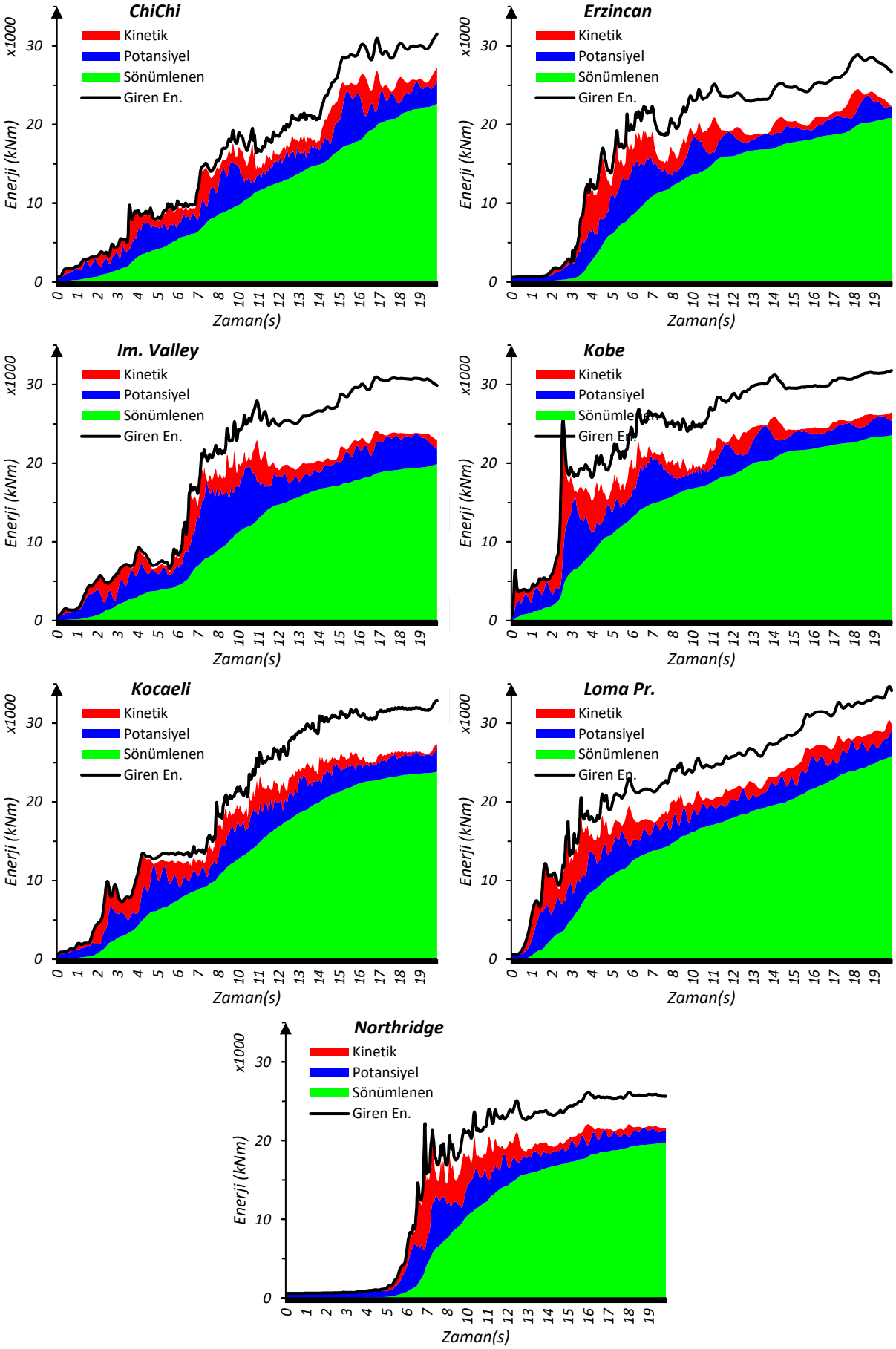
Sistemde sönüme sebep olana çeşitli etkiler vardır. Elemanlarda meydana gelen çatlaklar, elastik ötesi oluşan şekil değiştirmeler iç sönümü meydana getirirler. Şekil değiştirme ve kinetik enerjinin başlangıçtaki toplam değerinin bir kısmı hareket devam ederken sönüm enerjisine dönüşerek tüketildiği için sürekli azalır. Sönüm etkisiyle sistemdeki enerji zamanla tüketilir. Enerjinin azalmasıyla serbest titreşimde genlikler sürekli azalırken, deprem gibi zorlanmış titreşimlerde azalan enerji dış etki tarafından dengelenir.

Zaman tanım alanında tanımlanmış olan deprem etkileri altında, Model 1 taşıyıcı sisteminde tüketilen enerji miktarlarının değişimi Şekil 4.55'de verilmiştir. Deprem kayıtlarında maksimum ivmelenmelerin oluştuğu zaman aralıklarında ortaya çıkan enerji miktarlarında ani artışlar meydana gelmiştir. Ortaya çıkan ani enerji artışları sistemde önce potansiyel enerjiye dönüştürülerek karşılanmıştır. İlerleyen zamanlarda sürekli artarak ortaya çıkan enerji miktarının bir kısmı elemanlarda çevrimsel hareket sonucu oluşan plastikleşmeler ile karşılanmış, bir kısmı da binada oluşan sönüm etkisiyle tüketilmiştir.

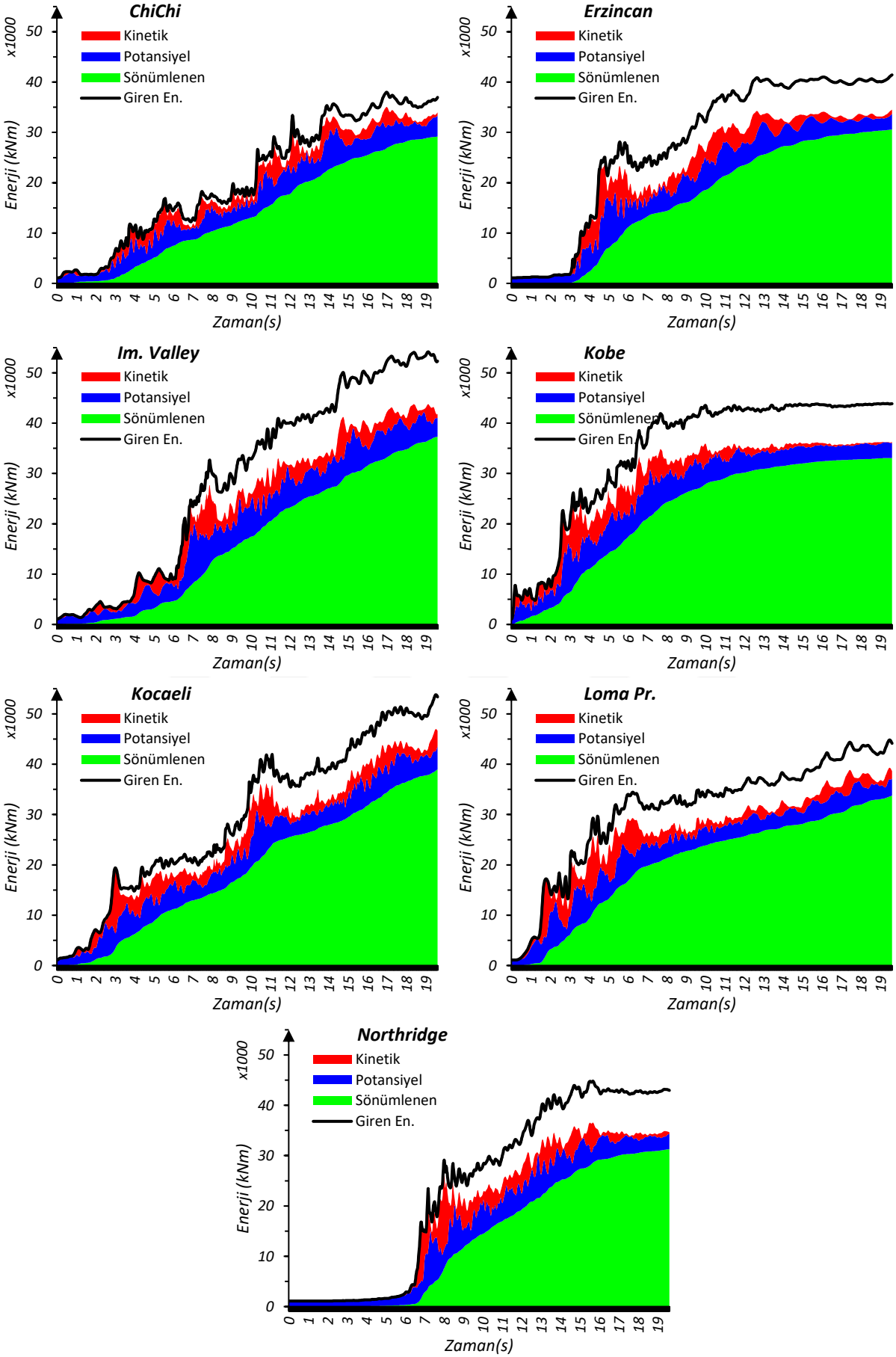
Benzer sonuçlar Model 2 için Şekil 4.56'da ve Model 3 için Şekil 4.57'de görülebilir. Diğer sistemlere göre daha rijit olan Model 3 sisteminde ortaya çıkan enerji miktarları daha büyük olarak değerlerde görülmüştür. Taşıyıcı sistemdeki plastikleşmeler daha az sayıda oluştuğundan çevrimsel hareketle tüketilen enerji oranları da daha küçük olmuştur. Bu sistemde kinetik enerji ile tüketilen enerji miktarlarının oranı da daha düşük olmaktadır. Diğer bir sonuç olarak maksimum ivmelenme bölgelerinde potansiyel enerjideki en büyük artış oranlarının Model 2 sisteminde oluştuğu görülmüştür.



Şekil 4.55 Model 1 için depremlerde tüketilen enerji miktarlarının değişimi



Şekil 4.56 Model 2 için depremlerde tüketilen enerji miktarlarının değişimi



Şekil 4.57 Model 3 için depremlerde tüketilen enerji miktarlarının değişimi

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, İstanbul ili Levent semti sınırları içinde yapılacağı düşünülen betonarme taşıyıcı sisteme sahip yüksek bir binanın, alternatif taşıyıcı sistem çözümlemeleri yapılmıştır. Hesaplamalarda TBDY2016 (taslak) yönetmeliği esas alınmış ve yüksek binalar bölümündeki 1. ve 3. tasarım aşamaları için değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca İYBDY-2008 yönetmeliğinde verilen kuralları da kapsayacak şekilde işlemler yapılmıştır.

Çalışmada dikkate alınan taşıyıcı sistemler, ülkemizde çokca kullanılmakta olan çerçeve ve perde elemanlardan oluşmaktadır. Tüm modellerde merkezde konumlandırılmış ve benzer detaylandırılmış, perdelerden oluşturulan bir çekirdek mevcuttur. Model 1'de çekirdek perdelerine ek olarak bina çevresine çerçeve sistem eklenmiştir. Model 2'de bina çevresine tünel kalıp yapma imkânı sağlayacak şekilde perde elemanlar yerleştirilmiştir. Model 3'de ise Model 1 için verilen taşıyıcı sistem aynen alınarak, taşıyıcı sistem davranışını geliştirmek için çevre eksenlerde çelik çapraz elemanlar eklenmiştir.

İlk adımda betonarme çekirdek, çerçeve, perdeler ve çelik çapraz elemanlardan oluşturulan taşıyıcı sistemlere sahip 30 katlı üç tane yüksek binanın mod birleştirme yöntemi kullanılarak doğrusal analizi ve tasarımı yapılmıştır. Taşıyıcı sistemler yönetmelikte verilen kuralları sağlayacak şekilde boyutlandırılmış ve sünek taşıyıcı sistem esasları dikkate alınarak eleman detaylandırmaları belirlenmiştir.

Sonraki adımda, yapısal taşıyıcı sistem SAP2000 ortamında malzeme ve geometri özellikleri bakımından doğrusal olmayan davranış gözönünde bulundurularak modellenmiştir. Analizlerde TBDY2016-DD1 senaryo deprem spektrumu temelinde ölçeklendirilen 14 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesinde yapılan analizlerin maksimum sonuçlarının ortalaması dikkate alınmıştır.

Çalışmada dikkate alınan modeller için performansa dayalı tasarım ve değerlendirme ilkeleri çerçevesinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yöntemi kullanılarak analizler yapılmış ve eleman hasar bölgeleri belirlenmiştir. Eleman hasarları, beton ve çelik malzemesinde meydana gelen maksimum birim şekil değiştirmelerin yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırılması sonucu belirlenmiştir.

Analiz sonuçlarının değerlendirmesine ilişkin yorumlamalar aşağıda özetlenmiştir.

- Elde edilen sonuçlar eleman plastikleşme hasarları temel alınarak karşılaştırıldığında, Model 1 taşıyıcı sistemi yönetmelikte normal performans hedefi olarak öngörülen *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'ni sağlamaktadır. Bu taşıyıcı sistem elemanlarından göçme bölgesine geçmiş olan yoktur. Ancak Model 2'de göçme durumuna geçen perde elemanlar mevcuttur ve sistem *Göçme Durumu*'na geçmiştir. Perdelerdeki hasarların özellikle taban kesitinde ve kesit azaltmalarının yapıldığı katlarda (5-9-15-23 katları) yoğunlaştığı söylenebilir. Model 3 taşıyıcı sisteminde göçme durumuna geçen eleman yoktur. Ancak çapraz elemanların kullanılmasıyla rijitleşen sistemde kolon elemanlar daha büyük etkilere maruz kalmıştır. Kolon hasar düzeylerinde *Can Güvenliği*'ni sağlayıp *Hemen Kullanım*'ı sağlamayan elemanlar %65 artmıştır. Çapraz elemanların kullanılmasıyla çekirdek perdelerindeki hasar düzeylerinin %40-90 oranında düştüğü özellikle kirişlerde nerdeyse hiç hasar oluşmadığı görülmüştür.
- Zaman tanım alanında deprem etkileri için sonuçlar yerdeğiştirmeler temel alınarak karşılaştırıldığında, Model 1 için tepe noktası değeri 50cm, Model 2 için 60cm ve Model 3 için 40cm mertebelerinde oluşmaktadır. Model 3 özellikle binanın üst katlarında en kararlı davranış sergileyen modeldir. Model 1 taşıyıcı sisteminin, eleman boyutlarındaki değişime karşı daha duyarlı olduğu görülmüştür. Model 2'de düşey taşıyıcı oranının yükseklikle birlikte daha az oranlarda (%10-%25) düşürülmesine rağmen özellikle binanın orta katlarından (20-25 arası katlar) itibaren yerdeğiştirme değerleri daha hızlı (%35-50) artmıştır. Bu durum sadece perde elemanlardan oluşturulan yüksek bina sistemlerinde, belli yüksekliklerden sonra yerdeğiştirmelerin kontrol edilememesi sonucunu doğrulamıştır.
- Analiz sonuçlarının ortalamalarının alınmasıyla oluşturulan göreli kat ötelenmeleri temel alınarak karşılaştırıldığında, yüksek bina davranışlarında normal binalara göre farklılıklar olduğu görülmüştür. Artan yükseklikle beraber bina, daha esnek davranış

sergilemekte ve göreli kat ötelenmelerinde dalgalanmalar görülmektedir. Kat ötelenmesi sınır değerlerinin her üç çözüm için de aşılmadığı belirlenmiş olup Model 1'in kesit azaltılması açısından en duyarlı sistem olduğu görülmüştür. Çapraz elemanlar eklemenin binanın üst katlarında oluşan dalgalanmaları daha kararlı hale getirdiği (Model 1'e göre %20-30 azalma) ve konfor seviyesini arttırdığı söylenebilir.

- Analiz sonuçları kesme kuvveti temel alınarak karşılaştırıldığında, boşluksuz büyük boyutta ve kuvvet çifti oluşturacak şekilde yerleştirilen perdelerin, çok sayıda küçük boyutta bağ kirişli perdelere göre daha etkin olduğu belirlenmiştir. Tüm modellerde çekirdek perdeleri tarafından taşınan kuvvet oranları güçlü doğrultuda %75-85 mertebelerinde görülürken zayıf doğultuda %20-30 mertebelerindedir. Ek olarak Model 3'de Model 1'e göre üst katlarda (8-30 arası katlar) %40-%60 mertebelerinde daha küçük değerlere ulaşılmıştır.
- Analiz sonuçları eğilme momenti değerleri temel alınarak karşılaştırıldığında Model 1 ve Model 3 için çekirdek perdelerinin daha etkin çalıştığı doğrultuda taşıdığı moment oranları %85-90 mertebelerinde görülürken Model 2 için bu oran %50 mertebelerindedir. Model 2'de çevre perdeleri tarafından taşınan kesme kuvveti toplamı çekirdek perdelerinin yaklaşık iki katı iken taşınan moment değerleri neredeyse tüm katlarda benzerdir. Bu sonuçla perdeleri bina çevresine yerleştirmenin eğilme momenti etkinliğini ne derece arttırabileceği belirlenmiştir. Taban kesitine yaklaştıkça (ilk üç kat) moment değerlerinde asimptotik artışlar (%100 mertebelerinde) görülmüştür.
- Analiz sonuçları taşınan normal kuvvet temel alınarak karşılaştırıldığında, tüm modellerde çekirdek tarafından taşınan kuvvetin oranı %50-60 mertebelerindedir. Model 3'de eklenen çapraz elemanların kolonların sistem içindeki etkinliğini arttırdığı ve çekirdek tarafından taşınan kuvvet oranını (≈%10) azalttığı belirlenmiştir.
- Analiz sonuçları tüm depremler için tepe noktası ivmelenme değerleri temel alınarak karşılaştırıldığında, Model 1,2,3 için ortalama değerler 12 m/s^2, 11 m/s^2, 13 m/s^2 boyutlarında oluşmuşmaktadır. En büyük ivmelenmeler Model 3'de meydana gelmiş olup Model 1 ile karşılaştırılırsa ivme değerlerinin %30-%50 oranlarında daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bina rijitliğinin artması, maksimum ivme değerlerini binaların periyot değerlerinin oranına benzer bir oranda büyümesine sebep olmaktadır.

- Analiz sonuçları tüketilen enerji miktarları temel alınarak karşılaştırıldığında, Model 1 sisteminde (35-40)x10^3 kNm, Model 2'de 30x10^3 kNm ve Model 3'de (45-55)x10^3 kNm değerlerinde enerji girişi olmuştur. Model 1'de çevrimsel hareketle tüketilen enerji oranı diğer modellere göre %30-%40 daha fazla olup plastikleşmelerin daha az görüldüğü Model 3'de çevrimsel hareketle tüketilen enerji en düşüktür. Deprem kayıtlarında maksimum ivmelenmelerin oluştuğu zaman aralıklarında ortaya çıkan enerji miktarında ani artışlar (%50-%150 oranlarında) görülmüştür. Özellikle Model 2 için potansiyel enerji artış oranları diğer modellere göre %25-%40 daha büyüktür.

Gerçekleştirilen sayısal çalışmanın bir adım daha ileriye götürülmesi ve okuyucuya fayda sağlaması amacıyla sunulan öneriler şu şekilde sıralanabilinir.

- Hasar sonuçlarının binanın mesnetlendiği taban kesitinde yoğunlaşmasına, ele alınan yüksek binalarda bodrum katların olmadığının dikkate alınmasının sebep olduğu savunulabilir. Yüksek binaların taban kesitine doğru genişliğinin artması ve baza kısmının yapılmasıyla birlikte kule kısmının davranış açısından boyu kısalmakta ve temel seviyesindeki devrilme momentleri önemli derecede azalmaktadır. Bundan dolayı özellikle perde ve çekirdek sistem davranışlarının hâkim olduğu yüksek binalarda bu durum gözönünde bulundurularak tabana doğru genişleyen binalar yapılması etkin taşıyıcı sistem oluşturulması açısından önerilmektedir.
- Artan yükseklikle beraber bina davranışının farklılaşmasıyla, tasarım koşullarını sağlamak sadece perdeli veya sadece çerçeve sistemler ile mümkün olmamaktadır. Yüksek binalarda etkin taşıyıcı sistem oluşturmak için birbiriyle uyumlu çalışan karma sistemlerin kullanılması ve etkileşimlerinin çalışmalarla ele alınması önerilmektedir.
- Taşıyıcı sistemde X şeklinde merkezi çapraz elemanların rijitliği aşırı arttırdığı görülmüştür. Böylelikle yanal kuvvetler, elemanlarda meydana gelen etkiler ve ivmelenmeler büyümekte, çevrimsel enerji ile tüketilen enerji azalmaktadır. Yüksek binalarda çapraz sisteminin mimari açıdan da daha uygun görülen dışmerkez olarak yapılması ve bu durumun ileride yapılacak çalışmalarda ele alınması önerilmektedir.
- Diğer dikkat edilmesi gereken husus ise, lifli elemanların analiz modelinde rijitlik matrisini aşırı büyütmesi ve çözüm süresini uzatmasıdır. Bu durumun çözümü olarak fiber miktarlarının sadece sonuç alınmak istenen noktalarda yoğunlaştırmak önerilir.

KAYNAKLAR

[1] Chopra, K.A. ve Goel, R.K., (2000). "Evaluation of NSP to Estimate Seismic Deformation: SDF Systems", Journal of Structural Engineering, 126:482-490.

[2] Moehle, J.P., (2005). "Nonlinear Analysis for Performance Based Earthquake Engineering", The Structural Design Tall and Special Buildings, 14:385-400

[3] Moehle, J.D., (2006). "Seismic Analysis Design and Review for Tall Buildings", The Structural Design of Tall Special Buildings, 15:495-513.

[4] Harries, K.A. ve Mcneice, D.S., (2006). "Performance Design of High-Rise Coupled Wall Systems", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 15:289-306.

[5] Klemencic, R., Fry, J.A. ve Hooper, J.D., (2006). "Performance Based Design of Tall Reinforced Concrete Ductile Core Wall Systems", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 15:571-579.

[6] Baker, W.F., Korista, D.S., vd., (2007). "Burj Dubai: Engineering The World's Tallest Building", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 16:361-375.

[7] Rojas, F., Naeim, F., Lew, M., Carpenter, L.D., Youssef, N.F., Saragoni, G.R., vd., (2011). "Performance of Tall Buildings in Concepcion During The 27 February 2010 Moment Magnitude 8.8 Offshore Maule, Chile Earthquake", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 20:37-64.

[8] Carpenter, L.D., Naeim, F., Lew, M., Youssef, N.F., vd., (2011). "Performance of Tall Buildings in Vina del Mar in the 27 February 2010 Offshore Maule, Chile Earthquake", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 20:17-36.

[9] Youssef, N.F., Tunick, D., Naeim, F., Lew, M., Carpenter, L.D., Rojas, F., Saragoni, G.R. vd., (2011). "Performance of the Torre Bosquemar and Olas Buildings in San Pedro de la Paz and the Pedro de Valdivia Building in Concepcion in the 27 February 2010 Offshore Maule, Chile Earthquake", The Structual Design of The Tall and Special Buildings, 20:65-82.

[10] Nakai, M., Koshika, N., Hirakawa, K.K. ve Wada, A., (2012). "Performance Based Seismic Design for High-Rise Buildings in Japan", International Journal of High-Rise Buildings, 1:155-167.

[11] Epackachi, S., Mirghaderi, R., Esmaili, O., Behbahani, A.A. ve Vahdani, S., (2012). "Seismic Evaluation of A 56-Storey Residential Reinforced Concrete High-Rise Building Based on Nonlinear Dynamic Time History Analysis", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 21:233-248.

[12] Lagos, R., Kupfer, M., Lindenberg, J., Bonelli, P., Saragoni, R., Guendelman, T. vd., (2012). "Seismic Performance of High-Rise Concrete Buildings in Chile", International Journal of High-Rise Buildings, 1:181-194.

[13] Liu, P., Ho, G., Lee, A., Yin, C., Lee, K., Liu, G., vd., (2012). "The Structural Design of Tianjin Goldin Finance 117 Tower", International Journal of High-Rise Buildings, 1:271-281.

[14] Lu, X., Su, N. ve Zhou, Y., (2013). "Nonlinear Time History Analysis of A Supertall Building With Setback in Elevation", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 22:593-614.

[15] Berahman, F., (2013). "Performance Based Seismic Evaluation of The Icon Hotel in Dubai, United Arab Emirates", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 22:300-326.

[16] Nateghi, A.F. ve Rezaei-Tabrizi, A., (2013). "Nonlinear Dynamic Response of Tall Buildings Considering Structure-Soil–Structure Effects", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 22:1075-1082.

[17] Marzban, S., Banazadeh, M. ve Azarbakht, A., (2014). "Seicmic Performance of Reinforced Concrete Shear Wall Frames Considering Soil-Foundation-Structure Interaction", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 23: 302-318.

[18] Wu, X., Sun, F., Lu, X. ve Qian, J., (2014). "Nonlinar Time History Analysis of China Pavilion for Expo 2010 Shanghai China", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 23:721-739.

[19] Özuygur, A.R., (2015). "Performance Based Seismic Design of An Irregular Tall Building in İstanbul", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 24:703-723.

[20] Değer, Z.T., Yang, T.Y., Wallace, J.W. ve Moehle, J., (2015). "Seismic Performance of Reinforced Concrete Core Wall Buildings with and without Moment Resisting Frame", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 24:477-490.

[21] Kazaz, İ. ve Gülkan, P., (2016). "Dynamic Shear Force Amplification in Regular Frame-Wall Systems", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 25:112-135.

[22] Sun, B., Gu, Q., Zhang, P. ve Ou, J., (2017). "A Practical Numerical Substructure Method for Seismic Nonlinear Analysis of Tall Building Structures", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 26.

[23] Huang, T., Ren, X. ve Li, J., (2017). "Incremental Dynamic Analysis of Seismic Collapse of Super-Tall Building Structures", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 26.

[24] Qiao, S., Han, X. ve Zhou, K., (2017). "Bracing Configuration and Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame With Brace", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 26.

[25] Emami, A. R. ve Halabian, A.M., (2017). "Incremental Dynamic Collapse Analysis of RC Core-Wall Tall Buildings Considering Spatial Seismic Response Distributions", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 26.

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

[27] Beedle, L.S., Rice, D.B., (1995). “Structural Systems for Tall Buildings”, Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 3, NY: McGraw-Hill, Inc., New York.

[28] Özden, K., Kumbasar, N. ve Sarıakçalı S., (1988). Betonarme Yüksek Yapılar, İTÜ İnşaat Fakültesi Yayını, İstanbul.

[29] Günel M.H., ve Ilgın H.E., (2010). Yüksek Binalar, Taşıyıcı Sistem ve Aerodinamik Form, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara.

[30] Özgen A., Sev, A., (2000). Çok Katlı Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Birsen Y., İstanbul.

[31] Çakıroğlu, A., (1978). Yatay Yükleri Taşıyan Yapı Elemanları Ders Notları, İstanbul.

[32] Taranath, B., (1995). Wind and Earthquake Resistant Buildings: Structural Analysis and Design, New York.

[33] Taranath B., (2011). Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction, New York.

[34] Celep Z., Kumbasar N., (2017). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.

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

[36] Celep Z., (2017). Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul

[37] Celep Z., Kumbasar N., (2015). Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.

[38] Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, 01.10.2017, https://testtdth.afad.gov.tr/

[39] PEER-NGA Deprem Kayıtları Veri Bankası, 23.03.2017, http://peer.berkeley.edu/, https://ngawest2.berkeley.edu/

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

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

[42] İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği, (2008). Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul.

[43] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Taslağı, (2016). Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

[44] ETABS, (2016). “Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc.”, Berkeley, California.

[45] SAP2000, (2017). “Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc.”, Berkeley, California.

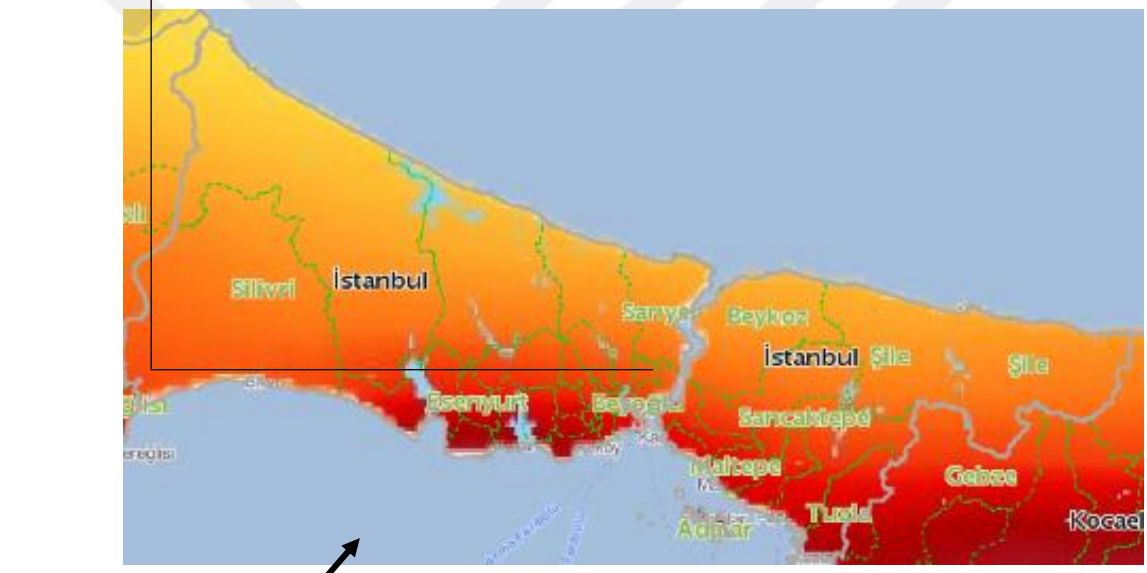
EK-A

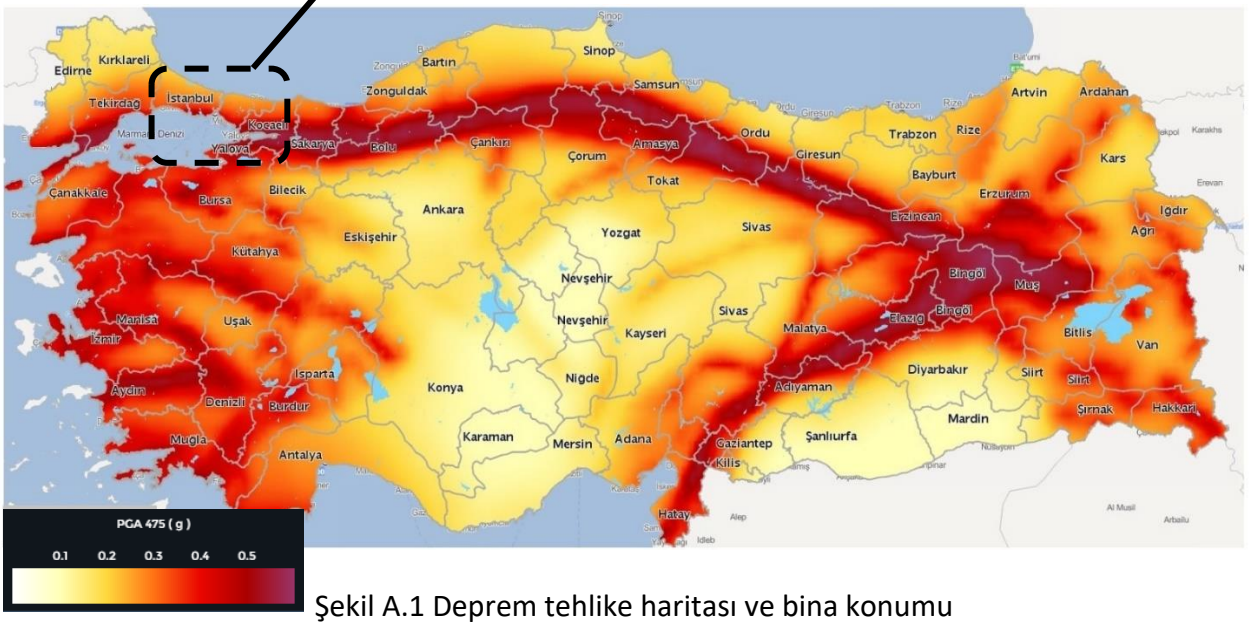
DEPREM TEHLİKE HARİTASI

Konum Bilgileri

Enlem: 41.08363°

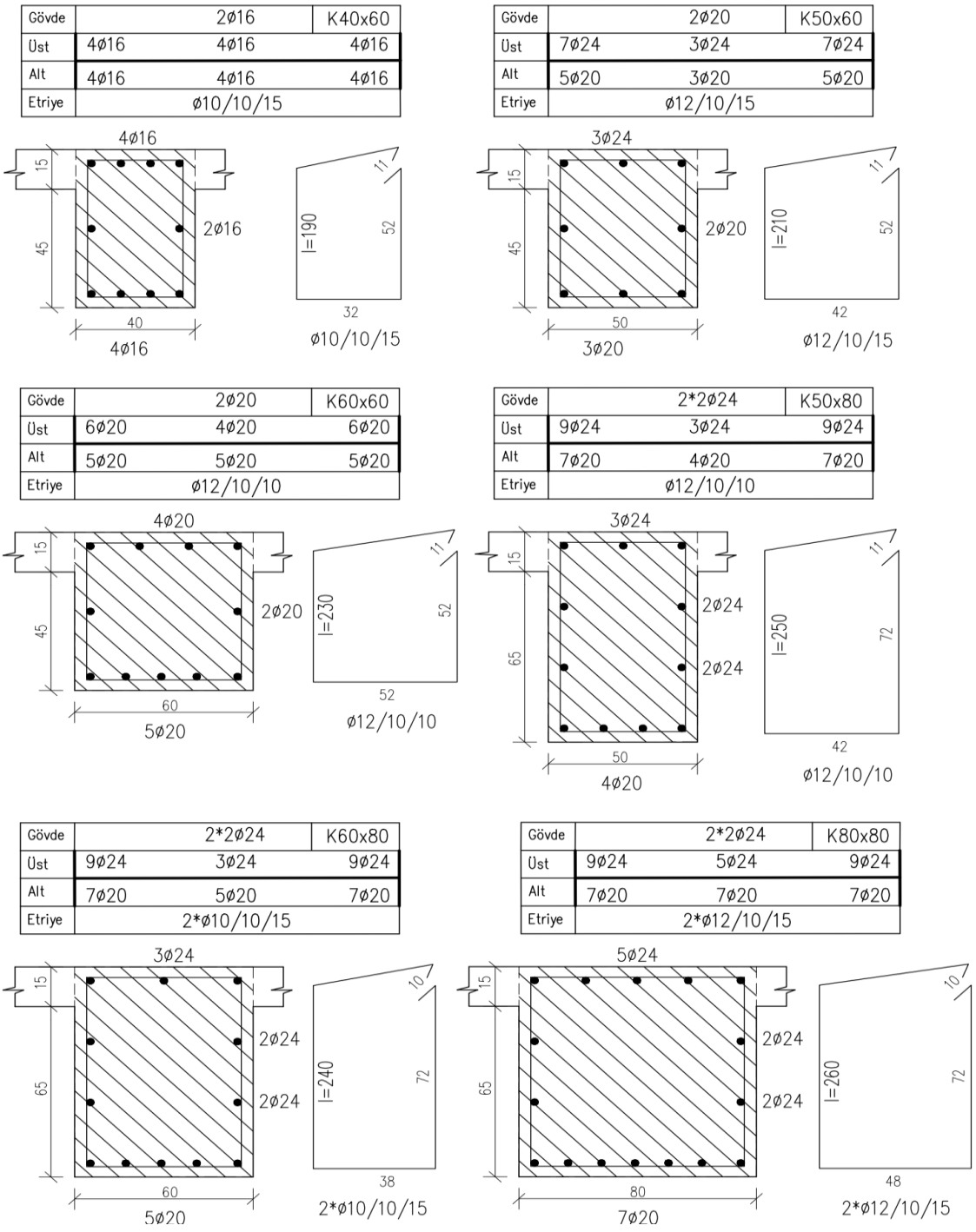
Boylam: 29.00977°



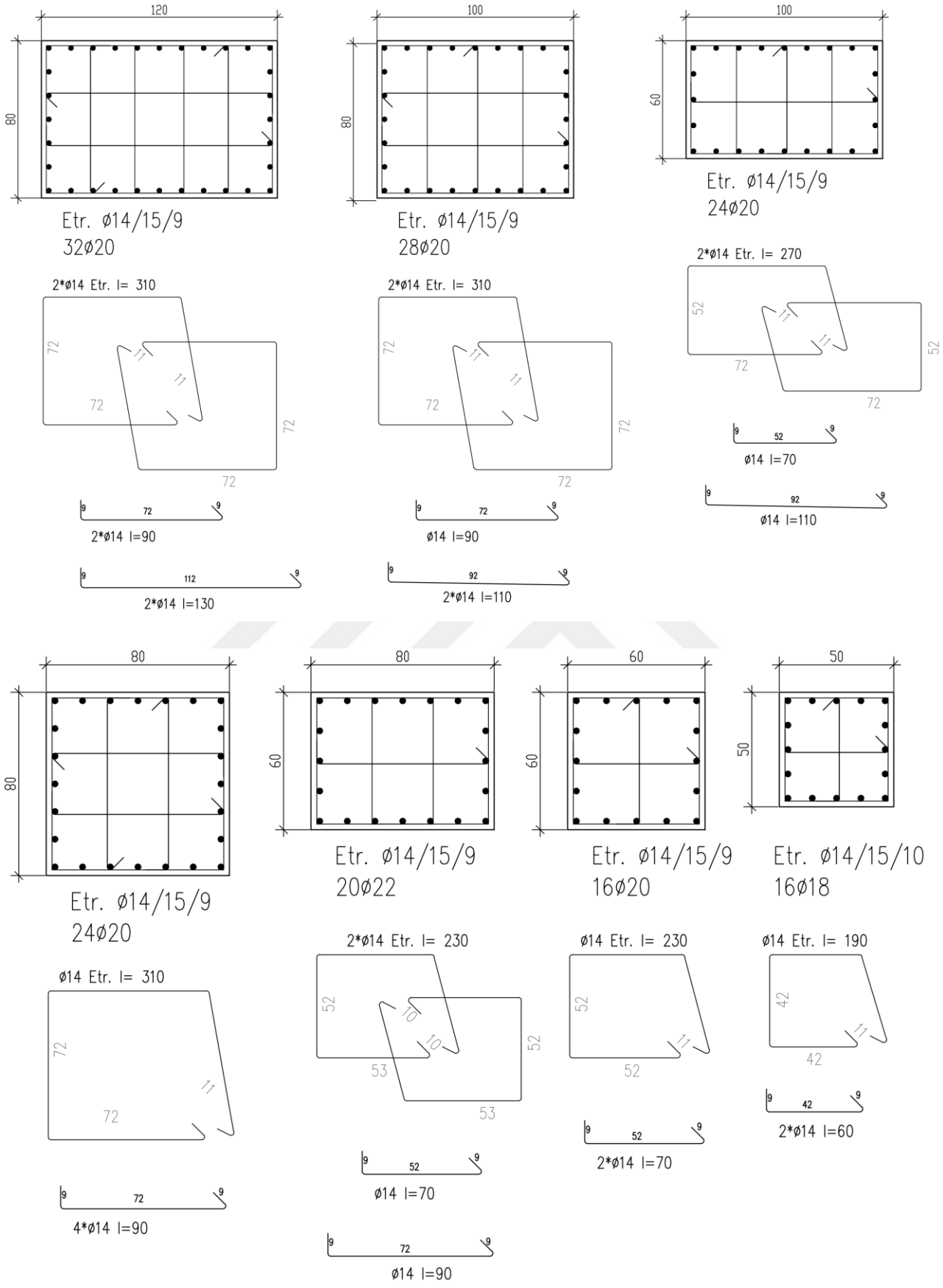


Şekil A.1 Deprem tehlike haritası ve bina konumu

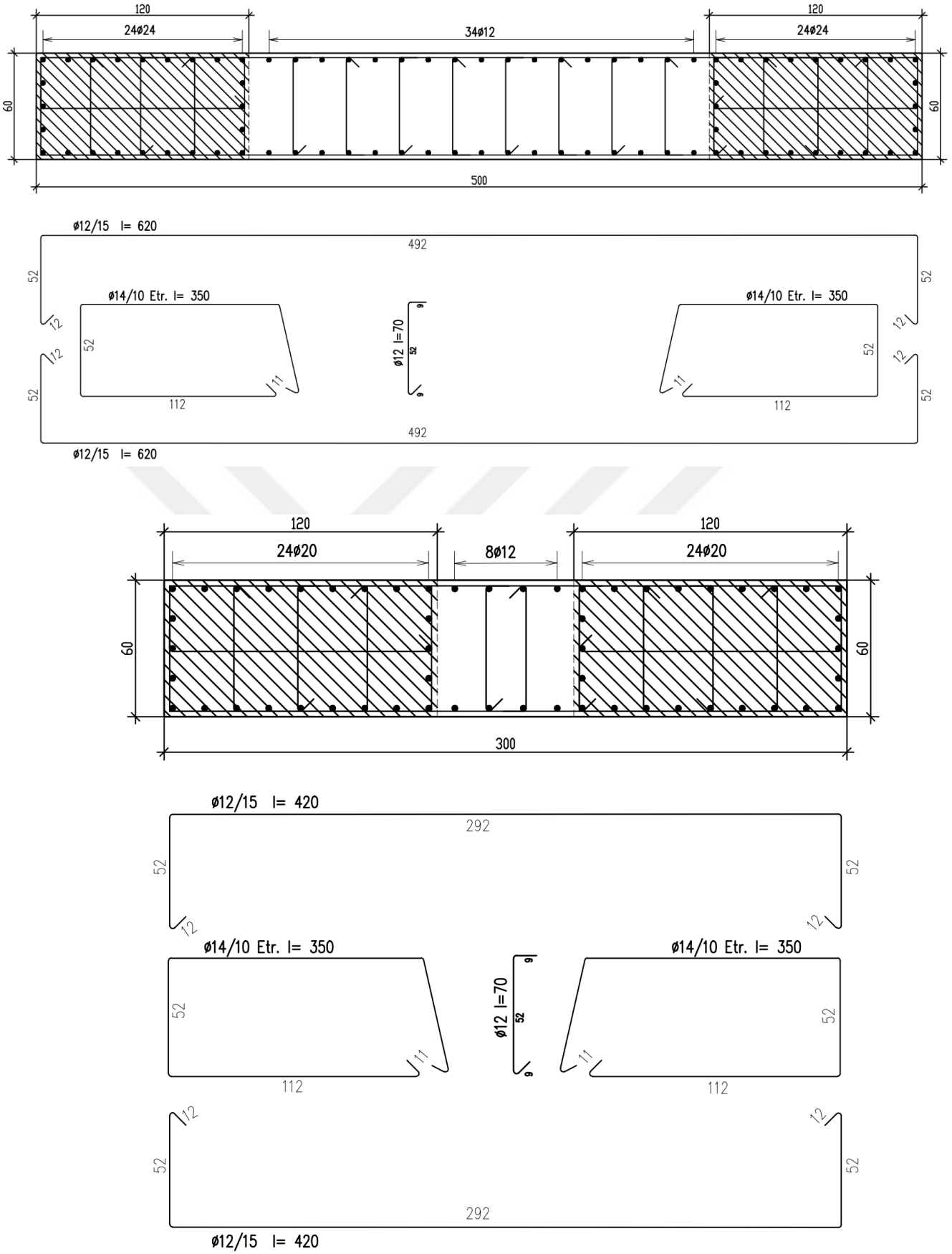
ELEMAN DETAYLARI



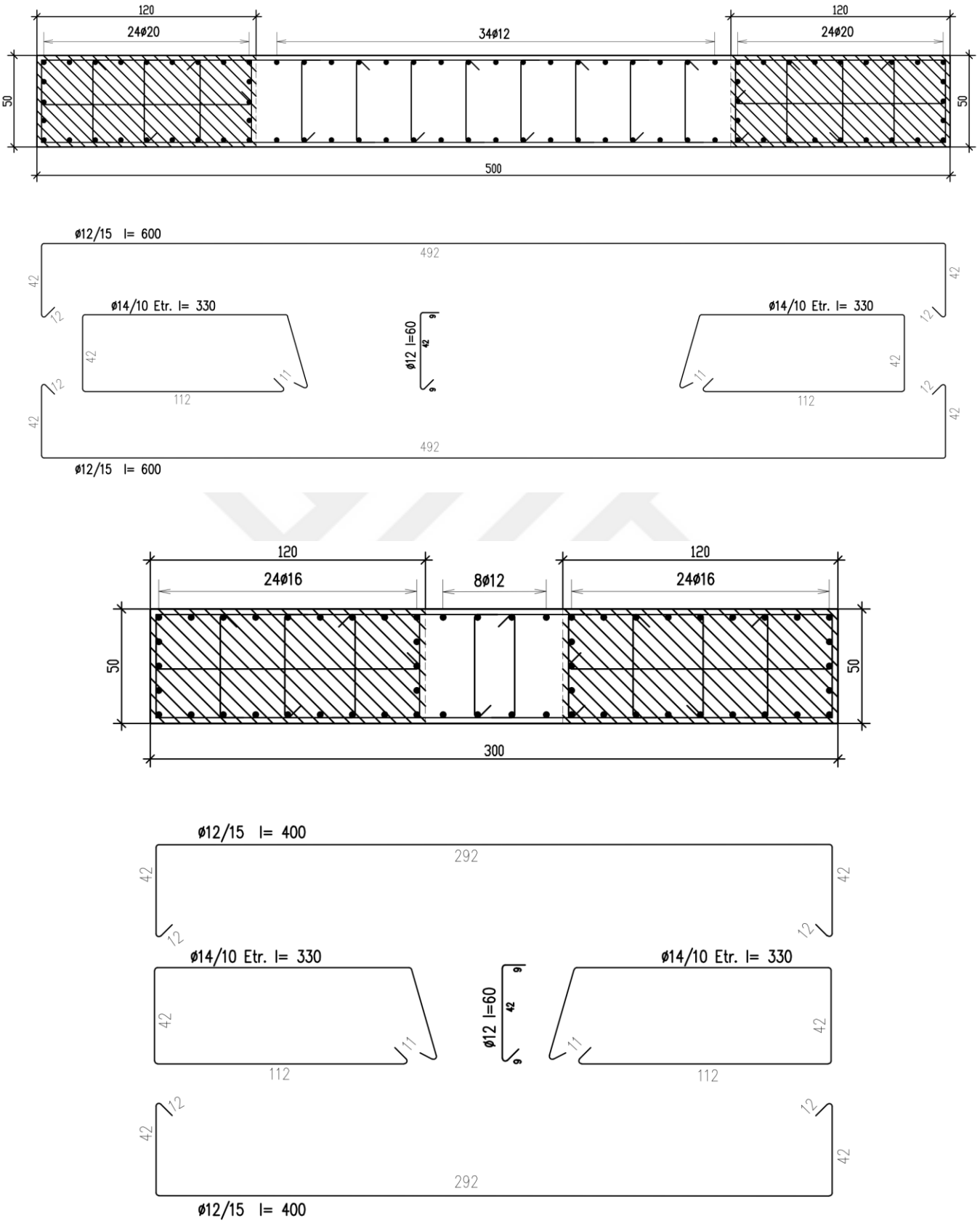
Şekil B.1 Tüm modellerde kullanılan kirişlerin detayları



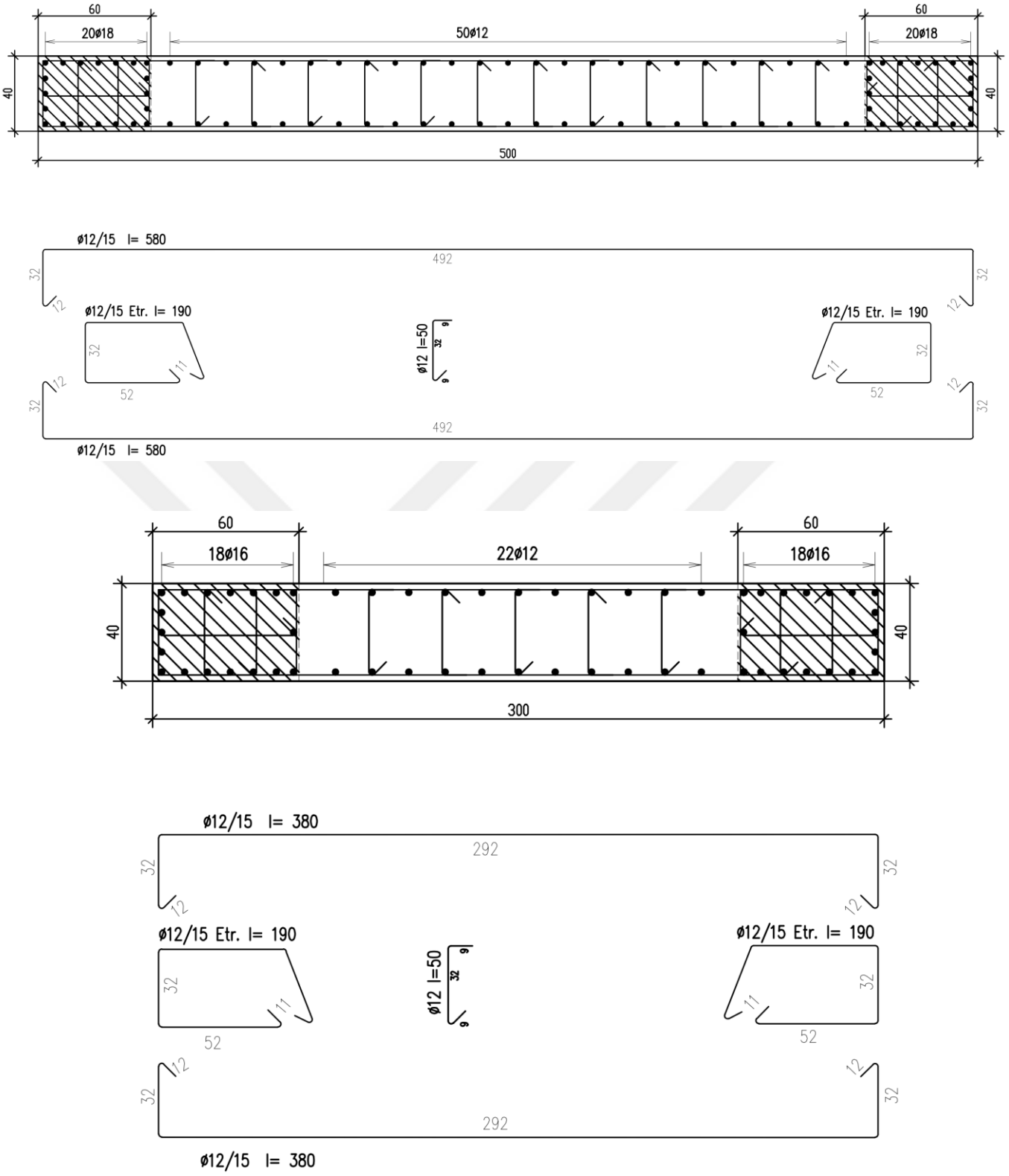
Şekil B.2 Model 1/3 tüm kolon detayları



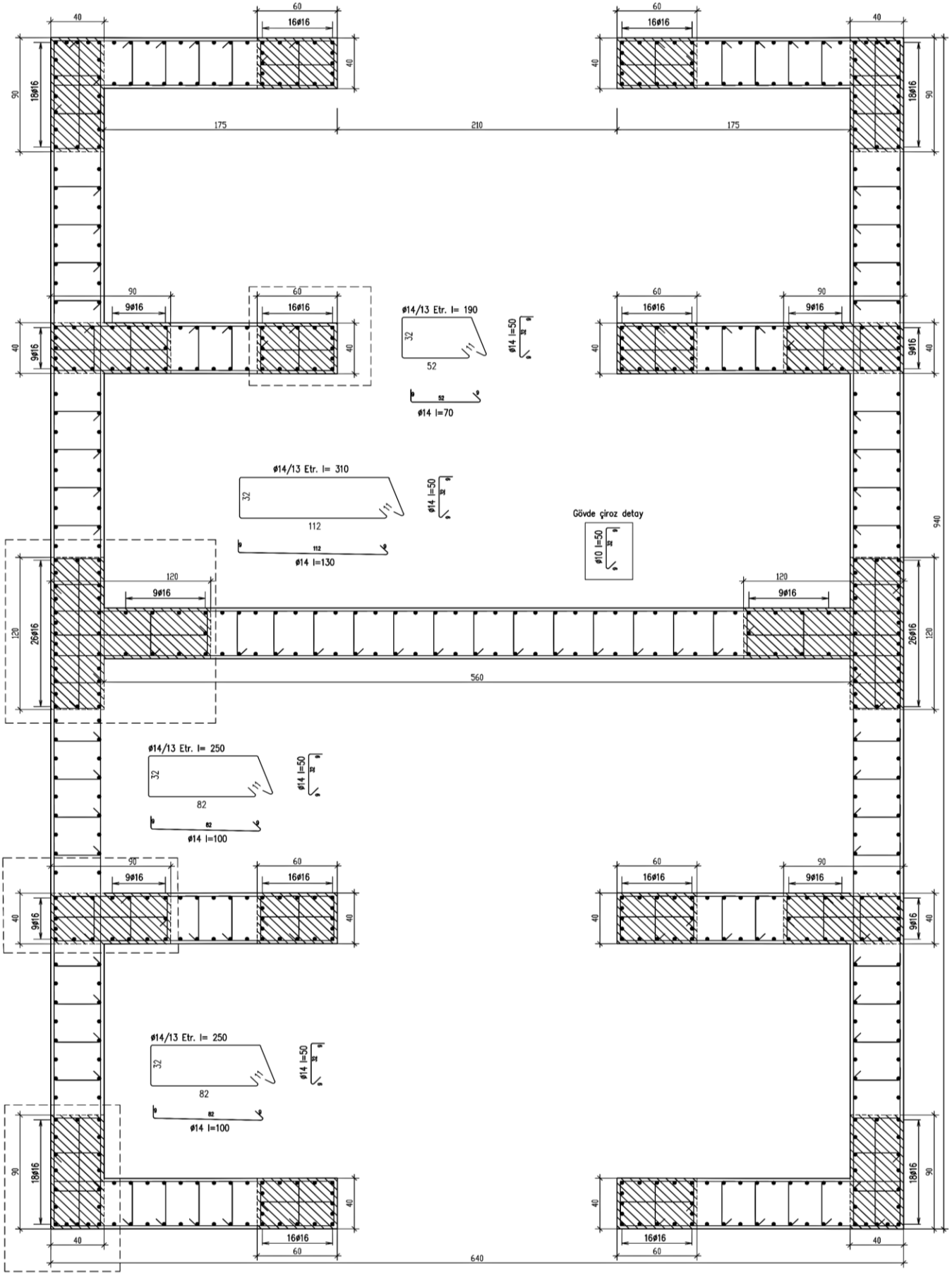
Şekil B.3 Model 2 çevre perde detayları (ilk 4 kat)



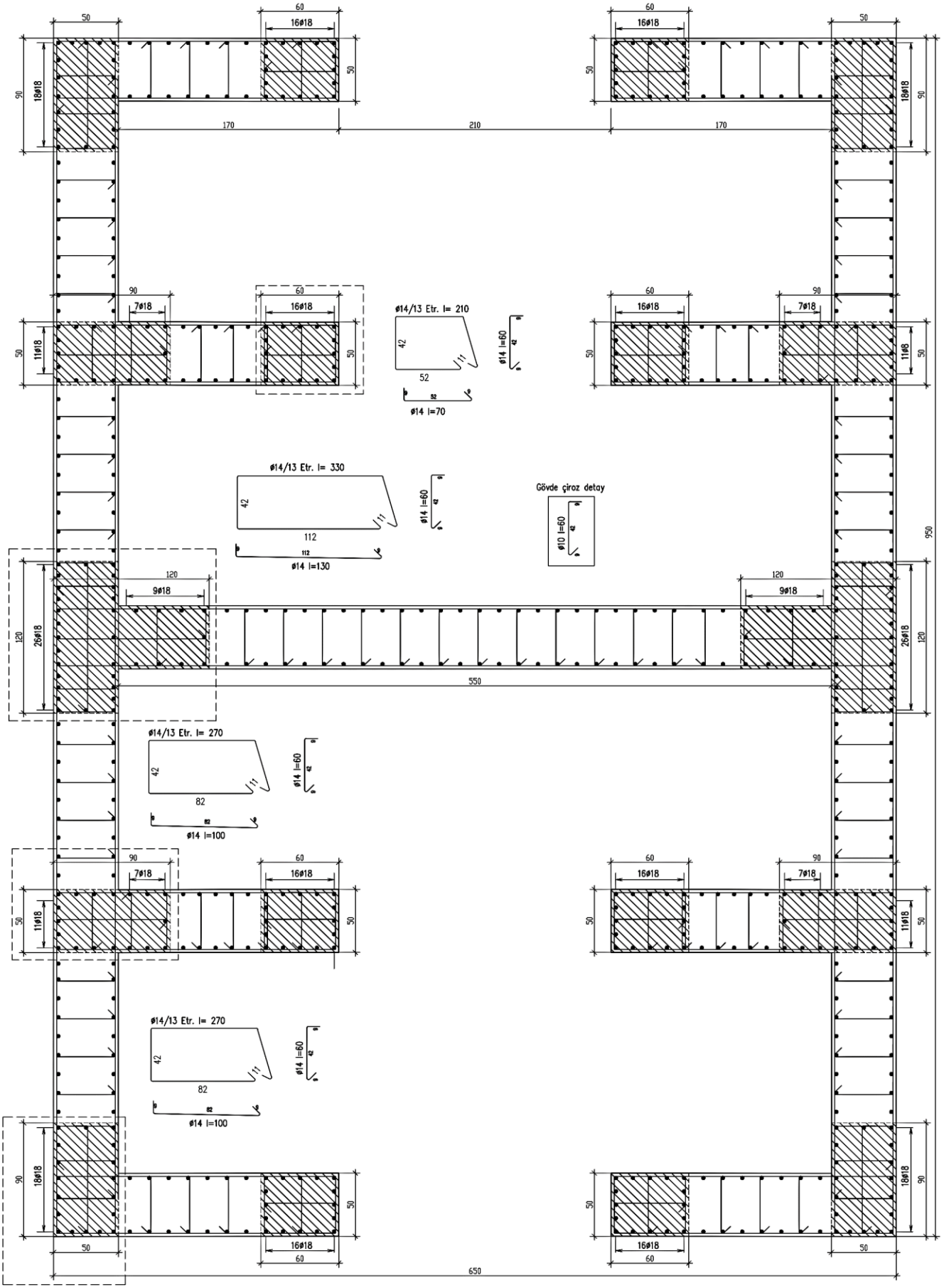
Şekil B.4 Model 2 çevre perde detayları (4-8 katlar)



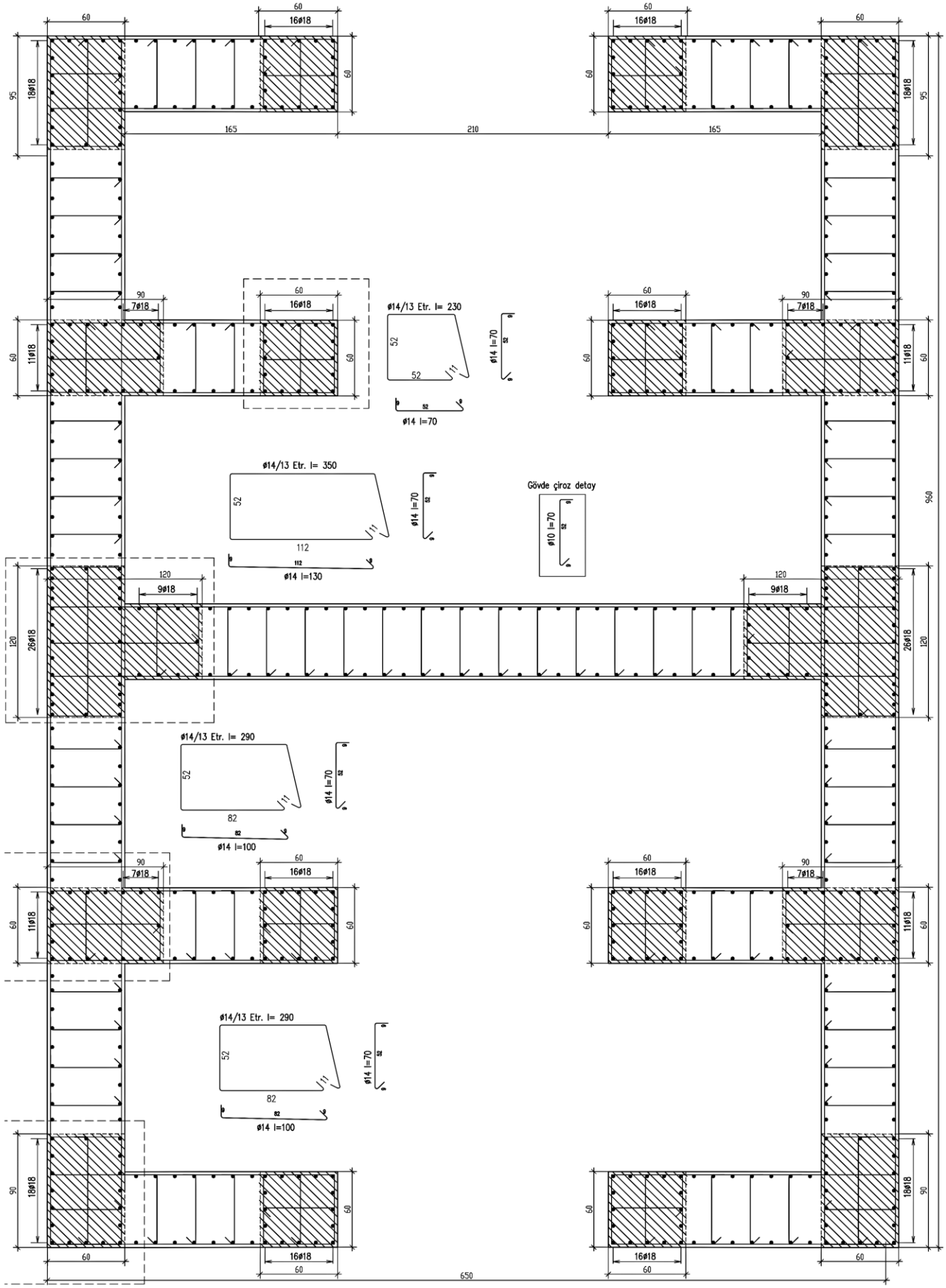
Şekil B.5 Model 2 çevre perde detayları (9-30 katlar)



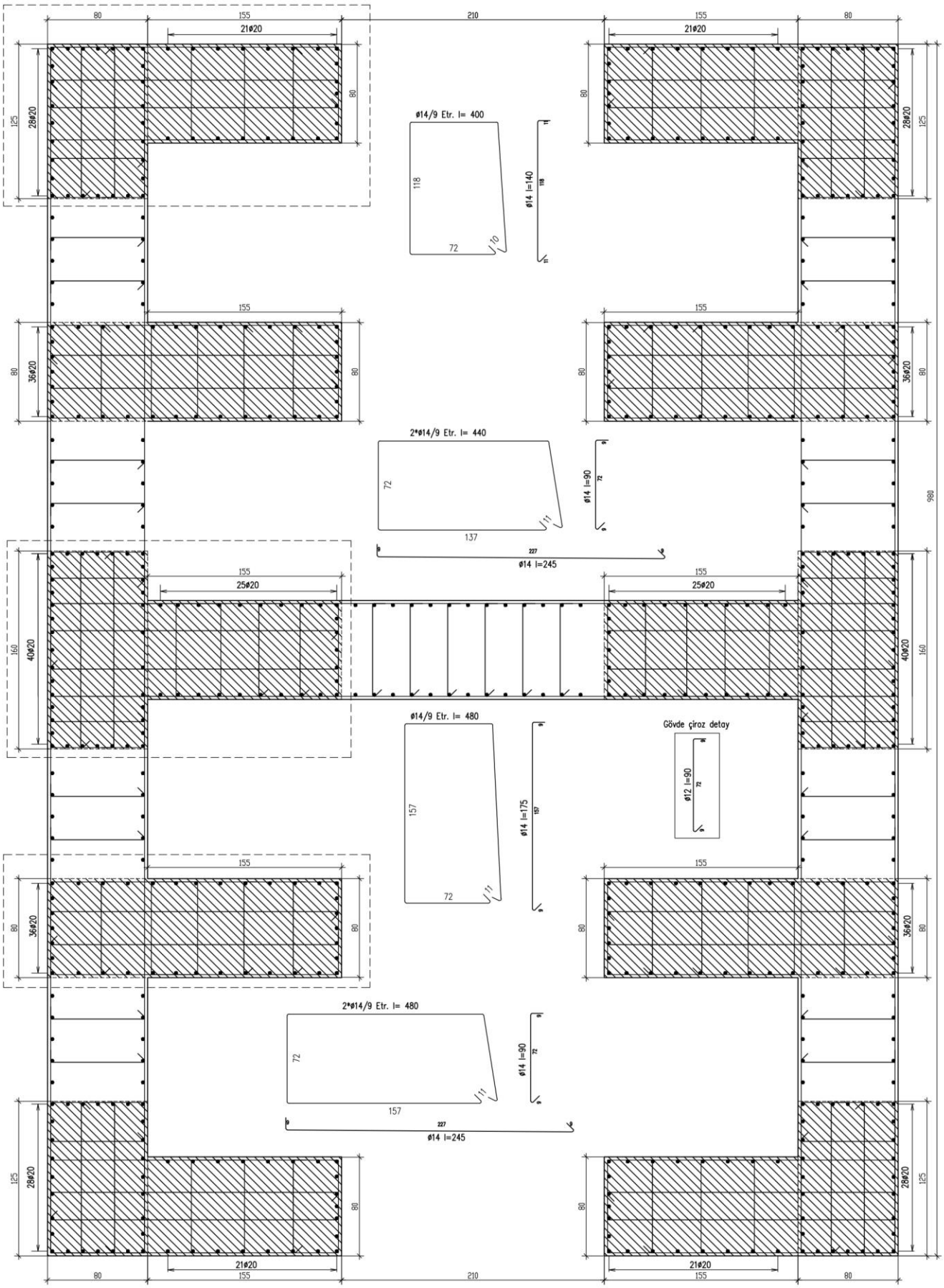
Şekil B.6 Çekirdek perde detayları (22-30 katlar)



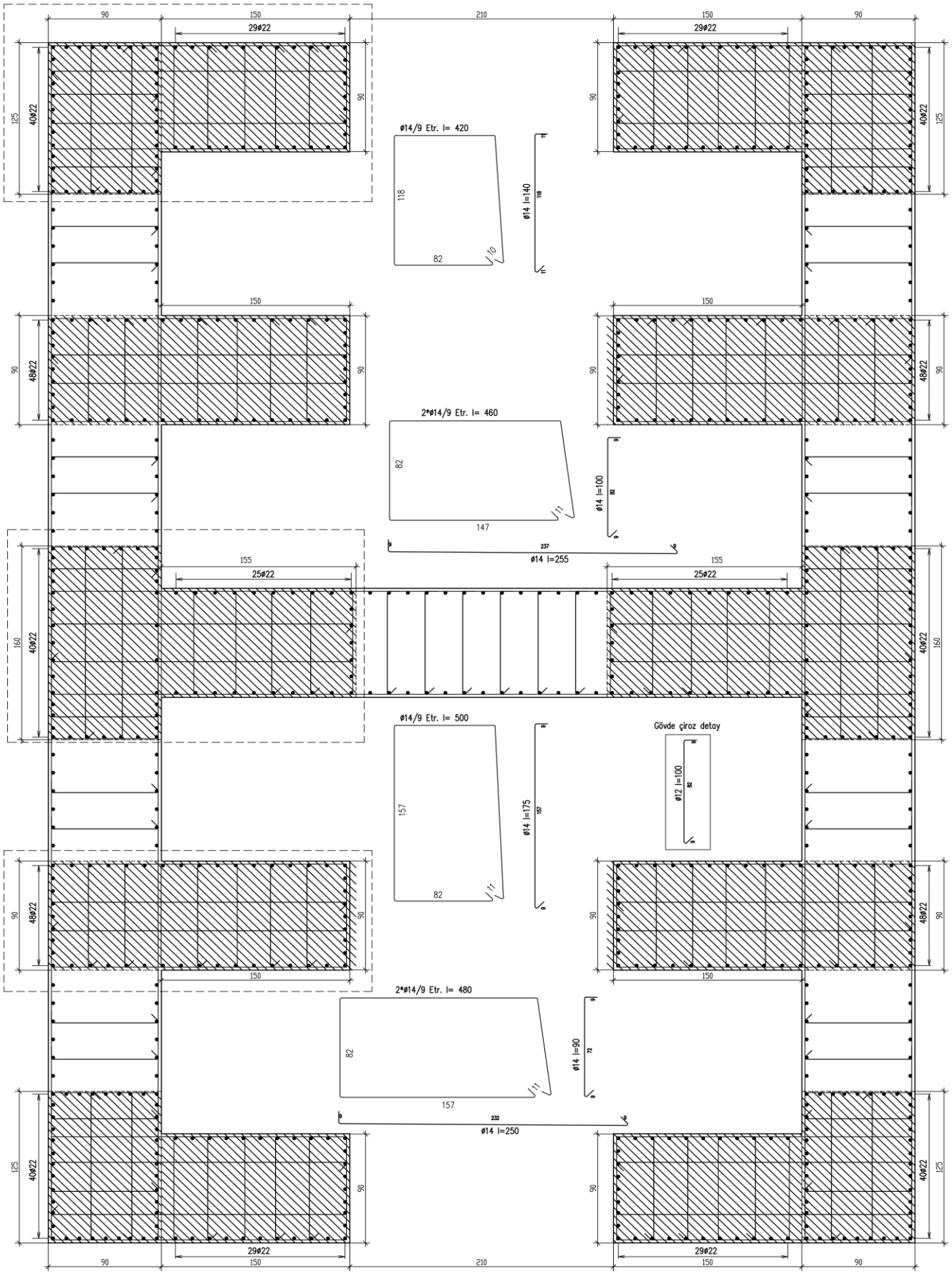
Şekil B.7 Çekirdek perde detayları (15-22 katlar)



Şekil B.8 Çekirdek perde detayları (9-15 katlar)



Şekil B.9 Çekirdek perde detayları (5-8 katlar)



Şekil B.10 Çekirdek perde detayları (ilk 4 kat)

EK-C

MODEL 1 HASAR SONUÇLARI

Çizelge C.1 Model 1 taşıyıcı sistem elemanlarının hasar oranları

Hasar Düzeyleri	Eleman Türleri							
	Kolonlar		Perdeler		Kirişler		Hasarlı Eleman	
	Sayısı	Yüzdesi	Sayısı	Yüzdesi	Sayısı	Yüzdesi	Sayısı	Yüzdesi
Kesintisiz Kullanım (1)	115	%21.3	83	%20.6	479	%41.7	677	%32.3
Hemen Kullanım (2)	227	%42.0	75	%18.6	131	%11.4	433	%20.7
Can Güvenliği (3)	198	%36.7	222	%55.1	505	%43.9	925	%44.2
Göçme Önlenmesi (4)	0	%0	23	%5.7	35	%3.0	58	%2.8
Göçme Durumu (5)	0	%0	0	%0	0	%0	0	%0
Toplam Eleman Sayısı	540	%100	403	%100	1150	%100	2093	%100

Çizelge C.2 Model 1 taşıyıcı sistem elemanlarının maksimum birim şekil değiştirmeleri ve hasar seviyeleri

Model 1 Çekirdek Perdelerinin Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
P101	0.0149	4	P112	0.0125	4	P210	0.0050	3	P308	0.0074	3
P102	0.0148	4	P113	0.0149	4	P211	0.0042	3	P309	0.0052	3
P103	0.0146	4	P201	0.0088	3	P212	0.0077	3	P310	0.0025	2
P104	0.0139	4	P202	0.0134	4	P213	0.0044	3	P311	0.0022	1
P105	0.0145	4	P203	0.0091	3	P301	0.0055	3	P312	0.0049	3
P106	0.0088	3	P204	0.0091	3	P302	0.0078	3	P313	0.0023	1
P107	0.0118	4	P205	0.0076	3	P303	0.0045	3	P401	0.0032	2
P108	0.0145	4	P206	0.0047	3	P304	0.0046	3	P402	0.0042	3
P109	0.0111	4	P207	0.0065	3	P305	0.0054	3	P403	0.0027	2
P110	0.0102	4	P208	0.0106	4	P306	0.0030	2	P404	0.0026	2
P111	0.0090	3	P209	0.0085	3	P307	0.0036	3			

Model 1 Çekirdek Perdelerinin Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
P405	0.0035	3	P711	0.0014	1	P1104	0.0037	3	P1410	0.0027	2
P406	0.0019	1	P712	0.0028	2	P1105	0.0047	3	P1411	0.0025	2
P407	0.0023	1	P713	0.0017	1	P1106	0.0027	2	P1412	0.0040	3
P408	0.0048	3	P801	0.0025	1	P1107	0.0035	3	P1413	0.0029	2
P409	0.0034	2	P802	0.0029	2	P1108	0.0062	3	P1501	0.0053	3
P410	0.0018	1	P803	0.0028	2	P1109	0.0043	3	P1502	0.0070	3
P411	0.0015	1	P804	0.0021	1	P1110	0.0024	1	P1503	0.0045	3
P412	0.0030	2	P805	0.0034	2	P1111	0.0021	1	P1504	0.0054	3
P413	0.0018	1	P806	0.0017	1	P1112	0.0035	2	P1505	0.0055	3
P501	0.0058	3	P807	0.0020	1	P1113	0.0023	1	P1506	0.0028	2
P502	0.0083	3	P808	0.0038	3	P1201	0.0048	3	P1507	0.0037	3
P503	0.0062	3	P809	0.0031	2	P1202	0.0055	3	P1508	0.0074	3
P504	0.0045	3	P810	0.0016	1	P1203	0.0040	3	P1509	0.0058	3
P505	0.0055	3	P811	0.0012	1	P1204	0.0038	3	P1510	0.0034	2
P506	0.0035	3	P812	0.0024	1	P1205	0.0047	3	P1511	0.0030	2
P507	0.0045	3	P813	0.0016	1	P1206	0.0026	2	P1512	0.0053	3
P508	0.0074	3	P901	0.0050	3	P1207	0.0033	2	P1513	0.0036	3
P509	0.0055	3	P902	0.0058	3	P1208	0.0061	3	P1601	0.0047	3
P510	0.0032	2	P903	0.0050	3	P1209	0.0041	3	P1602	0.0068	3
P511	0.0020	1	P904	0.0040	3	P1210	0.0023	1	P1603	0.0042	3
P512	0.0042	3	P905	0.0048	3	P1211	0.0021	1	P1604	0.0055	3
P513	0.0023	1	P906	0.0029	2	P1212	0.0036	3	P1605	0.0049	3
P601	0.0047	3	P907	0.0036	3	P1213	0.0021	1	P1606	0.0025	2
P602	0.0059	3	P908	0.0058	3	P1301	0.0048	3	P1607	0.0034	2
P603	0.0049	3	P909	0.0044	3	P1302	0.0056	3	P1608	0.0070	3
P604	0.0032	2	P910	0.0026	2	P1303	0.0040	3	P1609	0.0053	3
P605	0.0053	3	P911	0.0020	1	P1304	0.0042	3	P1610	0.0028	2
P606	0.0026	2	P912	0.0034	2	P1305	0.0048	3	P1611	0.0026	2
P607	0.0033	2	P913	0.0031	2	P1306	0.0026	2	P1612	0.0050	3
P608	0.0062	3	P1001	0.0050	3	P1307	0.0032	2	P1613	0.0029	2
P609	0.0052	3	P1002	0.0058	3	P1308	0.0061	3	P1701	0.0045	3
P610	0.0024	1	P1003	0.0048	3	P1309	0.0044	3	P1702	0.0070	3
P611	0.0016	1	P1004	0.0038	3	P1310	0.0025	2	P1703	0.0043	3
P612	0.0032	2	P1005	0.0049	3	P1311	0.0023	1	P1704	0.0060	3
P613	0.0018	1	P1006	0.0028	2	P1312	0.0038	3	P1705	0.0050	3
P701	0.0036	3	P1007	0.0038	3	P1313	0.0024	1	P1706	0.0027	2
P702	0.0040	3	P1008	0.0063	3	P1401	0.0048	3	P1707	0.0035	2
P703	0.0039	3	P1009	0.0045	3	P1402	0.0058	3	P1708	0.0066	3
P704	0.0027	2	P1010	0.0025	2	P1403	0.0040	3	P1709	0.0054	3
P705	0.0046	3	P1011	0.0021	1	P1404	0.0045	3	P1710	0.0028	2
P706	0.0021	1	P1012	0.0035	2	P1405	0.0049	3	P1711	0.0028	2
P707	0.0023	1	P1013	0.0027	2	P1406	0.0025	2	P1712	0.0052	3
P708	0.0050	3	P1101	0.0049	3	P1407	0.0032	2	P1713	0.0029	2
P709	0.0044	3	P1102	0.0056	3	P1408	0.0065	3	P1801	0.0046	3
P710	0.0019	1	P1103	0.0045	3	P1409	0.0047	3	P1802	0.0070	3

Model 1 Çekirdek Perdelerinin Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
P1803	0.0043	3	P2109	0.0051	3	P2502	0.0085	3	P2808	0.0030	2
P1804	0.0068	3	P2110	0.0028	2	P2503	0.0088	3	P2809	0.0037	3
P1805	0.0052	3	P2111	0.0027	2	P2504	0.0070	3	P2810	0.0020	1
P1806	0.0028	2	P2112	0.0059	3	P2505	0.0068	3	P2811	0.0016	1
P1807	0.0038	3	P2113	0.0041	3	P2506	0.0046	3	P2812	0.0026	2
P1808	0.0066	3	P2201	0.0055	3	P2507	0.0050	3	P2813	0.0019	1
P1809	0.0053	3	P2202	0.0083	3	P2508	0.0082	3	P2901	0.0020	1
P1810	0.0027	2	P2203	0.0044	3	P2509	0.0070	3	P2902	0.0019	1
P1811	0.0031	2	P2204	0.0056	3	P2510	0.0042	3	P2903	0.0020	1
P1812	0.0057	3	P2205	0.0075	3	P2511	0.0040	3	P2904	0.0019	1
P1813	0.0031	2	P2206	0.0041	3	P2512	0.0067	3	P2905	0.0023	1
P1901	0.0046	3	P2207	0.0052	3	P2513	0.0062	3	P2906	0.0015	1
P1902	0.0072	3	P2208	0.0084	3	P2601	0.0055	3	P2907	0.0015	1
P1903	0.0041	3	P2209	0.0062	3	P2602	0.0062	3	P2908	0.0024	1
P1904	0.0069	3	P2210	0.0033	2	P2603	0.0074	3	P2909	0.0027	2
P1905	0.0053	3	P2211	0.0031	2	P2604	0.0054	3	P2910	0.0017	1
P1906	0.0031	2	P2212	0.0065	3	P2605	0.0052	3	P2911	0.0015	1
P1907	0.0042	3	P2213	0.0044	3	P2606	0.0033	2	P2912	0.0022	1
P1908	0.0069	3	P2301	0.0106	4	P2607	0.0037	3	P2913	0.0019	1
P1909	0.0053	3	P2302	0.0147	4	P2608	0.0063	3	P3001	0.0015	1
P1910	0.0028	2	P2303	0.0098	3	P2609	0.0063	3	P3002	0.0014	1
P1911	0.0032	2	P2304	0.0104	4	P2610	0.0037	3	P3003	0.0015	1
P1912	0.0060	3	P2305	0.0114	4	P2611	0.0030	2	P3004	0.0013	1
P1913	0.0034	2	P2306	0.0080	3	P2612	0.0052	3	P3005	0.0017	1
P2001	0.0044	3	P2307	0.0091	3	P2613	0.0054	3	P3006	0.0010	1
P2002	0.0074	3	P2308	0.0135	4	P2701	0.0035	3	P3007	0.0010	1
P2003	0.0040	3	P2309	0.0108	4	P2702	0.0041	3	P3008	0.0017	1
P2004	0.0065	3	P2310	0.0073	3	P2703	0.0048	3	P3009	0.0019	1
P2005	0.0056	3	P2311	0.0069	3	P2704	0.0036	3	P3010	0.0012	1
P2006	0.0035	3	P2312	0.0103	4	P2705	0.0040	3	P3011	0.0011	1
P2007	0.0044	3	P2313	0.0110	4	P2706	0.0023	1	P3012	0.0017	1
P2008	0.0072	3	P2401	0.0083	3	P2707	0.0025	2	P3013	0.0015	1
P2009	0.0051	3	P2402	0.0111	4	P2708	0.0045	3	P3101	0.0007	1
P2010	0.0028	2	P2403	0.0092	3	P2709	0.0050	3	P3102	0.0006	1
P2011	0.0030	2	P2404	0.0084	3	P2710	0.0028	2	P3103	0.0006	1
P2012	0.0062	3	P2405	0.0082	3	P2711	0.0021	1	P3104	0.0005	1
P2013	0.0036	3	P2406	0.0059	3	P2712	0.0038	3	P3105	0.0009	1
P2101	0.0047	3	P2407	0.0070	3	P2713	0.0034	2	P3106	0.0005	1
P2102	0.0078	3	P2408	0.0102	4	P2801	0.0022	1	P3107	0.0004	1
P2103	0.0040	3	P2409	0.0085	3	P2802	0.0024	1	P3108	0.0009	1
P2104	0.0059	3	P2410	0.0055	3	P2803	0.0028	2	P3109	0.0009	1
P2105	0.0063	3	P2411	0.0054	3	P2804	0.0021	1	P3110	0.0007	1
P2106	0.0038	3	P2412	0.0081	3	P2805	0.0029	2	P3111	0.0007	1
P2107	0.0047	3	P2413	0.0073	3	P2806	0.0017	1	P3112	0.0010	1
P2108	0.0074	3	P2501	0.0071	3	P2807	0.0017	1	P3113	0.0008	1

Model 1 Kolon Elemanların Hasar Sonuçları												
Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.
	Donatı	Beton			Donatı	Beton			Donatı	Beton	
S101	0.0056	0.0055	3	S310	0.0030	0.0027	2	S601	0.0029	0.0028	2
S102	0.0043	0.0041	3	S311	0.0039	0.0036	3	S602	0.0022	0.0020	1
S103	0.0041	0.0038	3	S312	0.0044	0.0042	3	S603	0.0028	0.0026	2
S104	0.0060	0.0056	3	S313	0.0033	0.0032	2	S604	0.0033	0.0031	2
S105	0.0073	0.0070	3	S314	0.0045	0.0044	3	S605	0.0034	0.0032	2
S106	0.0038	0.0036	3	S315	0.0023	0.0021	1	S606	0.0038	0.0036	3
S107	0.0054	0.0051	3	S316	0.0020	0.0018	1	S607	0.0049	0.0047	3
S108	0.0040	0.0037	3	S317	0.0011	0.0011	1	S608	0.0025	0.0023	1
S109	0.0046	0.0044	3	S318	0.0034	0.0033	2	S609	0.0033	0.0030	2
S110	0.0041	0.0039	3	S401	0.0037	0.0036	3	S610	0.0018	0.0017	1
S111	0.0058	0.0054	3	S402	0.0026	0.0024	1	S611	0.0027	0.0025	1
S112	0.0046	0.0043	3	S403	0.0029	0.0027	2	S612	0.0034	0.0032	2
S113	0.0034	0.0032	2	S404	0.0040	0.0037	3	S613	0.0023	0.0022	1
S114	0.0061	0.0059	3	S405	0.0047	0.0046	3	S614	0.0023	0.0022	1
S115	0.0044	0.0042	3	S406	0.0037	0.0035	2	S615	0.0018	0.0017	1
S116	0.0025	0.0023	1	S407	0.0050	0.0048	3	S616	0.0016	0.0015	1
S117	0.0034	0.0032	2	S408	0.0024	0.0022	1	S617	0.0010	0.0009	1
S118	0.0053	0.0051	3	S409	0.0030	0.0028	2	S618	0.0017	0.0016	1
S201	0.0050	0.0048	3	S410	0.0025	0.0023	1	S701	0.0032	0.0031	2
S202	0.0035	0.0033	2	S411	0.0034	0.0031	2	S702	0.0023	0.0022	1
S203	0.0039	0.0036	3	S412	0.0037	0.0035	2	S703	0.0032	0.0030	2
S204	0.0053	0.0050	3	S413	0.0027	0.0026	2	S704	0.0034	0.0032	2
S205	0.0064	0.0062	3	S414	0.0037	0.0036	3	S705	0.0039	0.0038	3
S206	0.0046	0.0043	3	S415	0.0019	0.0018	1	S706	0.0035	0.0033	2
S207	0.0065	0.0062	3	S416	0.0018	0.0016	1	S707	0.0044	0.0042	3
S208	0.0030	0.0028	2	S417	0.0010	0.0009	1	S708	0.0024	0.0023	1
S209	0.0040	0.0037	3	S418	0.0026	0.0025	1	S709	0.0033	0.0032	2
S210	0.0035	0.0033	2	S501	0.0036	0.0034	2	S710	0.0020	0.0019	1
S211	0.0049	0.0046	3	S502	0.0026	0.0024	1	S711	0.0027	0.0025	2
S212	0.0053	0.0050	3	S503	0.0030	0.0028	2	S712	0.0032	0.0030	2
S213	0.0040	0.0038	3	S504	0.0040	0.0037	3	S713	0.0021	0.0020	1
S214	0.0053	0.0051	3	S505	0.0045	0.0043	3	S714	0.0029	0.0027	2
S215	0.0032	0.0030	2	S506	0.0039	0.0037	3	S715	0.0021	0.0020	1
S216	0.0024	0.0022	1	S507	0.0050	0.0047	3	S716	0.0019	0.0018	1
S217	0.0015	0.0014	1	S508	0.0027	0.0025	2	S717	0.0012	0.0011	1
S218	0.0045	0.0043	3	S509	0.0036	0.0033	2	S718	0.0018	0.0017	1
S301	0.0043	0.0041	3	S510	0.0022	0.0020	1	S801	0.0032	0.0030	2
S302	0.0030	0.0028	2	S511	0.0032	0.0029	2	S802	0.0025	0.0024	1
S303	0.0032	0.0030	2	S512	0.0035	0.0033	2	S803	0.0033	0.0031	2
S304	0.0047	0.0044	3	S513	0.0025	0.0023	1	S804	0.0037	0.0035	2
S305	0.0057	0.0055	3	S514	0.0030	0.0029	2	S805	0.0039	0.0037	3
S306	0.0041	0.0039	3	S515	0.0019	0.0018	1	S806	0.0033	0.0031	2
S307	0.0058	0.0055	3	S516	0.0017	0.0016	1	S807	0.0043	0.0040	3
S308	0.0026	0.0024	1	S517	0.0010	0.0010	1	S808	0.0023	0.0022	1
S309	0.0032	0.0029	2	S518	0.0021	0.0020	1	S809	0.0033	0.0032	2

Model 1 Kolon Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.
	Donatı	Beton			Donatı	Beton			Donatı	Beton	
S810	0.0020	0.0019	1	S1101	0.0030	0.0028	2	S1310	0.0023	0.0022	1
S811	0.0026	0.0025	1	S1102	0.0028	0.0027	2	S1311	0.0028	0.0026	2
S812	0.0031	0.0029	2	S1103	0.0032	0.0030	2	S1312	0.0033	0.0031	2
S813	0.0021	0.0020	1	S1104	0.0039	0.0037	3	S1313	0.0026	0.0024	1
S814	0.0029	0.0027	2	S1105	0.0039	0.0037	3	S1314	0.0027	0.0025	2
S815	0.0025	0.0024	1	S1106	0.0032	0.0030	2	S1315	0.0025	0.0023	1
S816	0.0021	0.0020	1	S1107	0.0045	0.0043	3	S1316	0.0025	0.0023	1
S817	0.0012	0.0012	1	S1108	0.0028	0.0026	2	S1317	0.0018	0.0017	1
S818	0.0019	0.0018	1	S1109	0.0044	0.0041	3	S1318	0.0025	0.0023	1
S901	0.0032	0.0030	2	S1110	0.0023	0.0022	1	S1401	0.0029	0.0027	2
S902	0.0027	0.0026	2	S1111	0.0030	0.0029	2	S1402	0.0025	0.0024	1
S903	0.0033	0.0031	2	S1112	0.0032	0.0030	2	S1403	0.0029	0.0027	2
S904	0.0038	0.0035	3	S1113	0.0025	0.0023	1	S1404	0.0034	0.0032	2
S905	0.0039	0.0037	3	S1114	0.0030	0.0028	2	S1405	0.0035	0.0033	2
S906	0.0034	0.0032	2	S1115	0.0029	0.0027	2	S1406	0.0035	0.0033	2
S907	0.0046	0.0044	3	S1116	0.0025	0.0023	1	S1407	0.0050	0.0048	3
S908	0.0027	0.0025	1	S1117	0.0017	0.0016	1	S1408	0.0031	0.0029	2
S909	0.0037	0.0035	2	S1118	0.0025	0.0023	1	S1409	0.0051	0.0047	3
S910	0.0023	0.0021	1	S1201	0.0029	0.0027	2	S1410	0.0023	0.0022	1
S911	0.0029	0.0028	2	S1202	0.0028	0.0026	2	S1411	0.0026	0.0025	1
S912	0.0033	0.0031	2	S1203	0.0031	0.0029	2	S1412	0.0035	0.0033	2
S913	0.0023	0.0021	1	S1204	0.0038	0.0036	3	S1413	0.0028	0.0027	2
S914	0.0030	0.0029	2	S1205	0.0039	0.0037	3	S1414	0.0029	0.0027	2
S915	0.0028	0.0027	2	S1206	0.0033	0.0031	2	S1415	0.0025	0.0023	1
S916	0.0023	0.0022	1	S1207	0.0047	0.0044	3	S1416	0.0025	0.0023	1
S917	0.0015	0.0014	1	S1208	0.0029	0.0027	2	S1417	0.0018	0.0017	1
S918	0.0021	0.0020	1	S1209	0.0047	0.0044	3	S1418	0.0027	0.0025	1
S1001	0.0031	0.0029	2	S1210	0.0024	0.0022	1	S1501	0.0037	0.0035	2
S1002	0.0027	0.0026	2	S1211	0.0029	0.0028	2	S1502	0.0033	0.0031	2
S1003	0.0032	0.0030	2	S1212	0.0032	0.0030	2	S1503	0.0036	0.0033	2
S1004	0.0038	0.0036	3	S1213	0.0025	0.0024	1	S1504	0.0045	0.0042	3
S1005	0.0038	0.0036	3	S1214	0.0029	0.0027	2	S1505	0.0057	0.0055	3
S1006	0.0032	0.0031	2	S1215	0.0027	0.0025	2	S1506	0.0034	0.0031	2
S1007	0.0046	0.0043	3	S1216	0.0025	0.0023	1	S1507	0.0050	0.0046	3
S1008	0.0027	0.0025	2	S1217	0.0018	0.0017	1	S1508	0.0036	0.0033	2
S1009	0.0039	0.0037	3	S1218	0.0025	0.0023	1	S1509	0.0055	0.0051	3
S1010	0.0023	0.0021	1	S1301	0.0028	0.0026	2	S1510	0.0028	0.0026	2
S1011	0.0030	0.0028	2	S1302	0.0026	0.0025	2	S1511	0.0034	0.0032	2
S1012	0.0033	0.0031	2	S1303	0.0029	0.0027	2	S1512	0.0036	0.0032	2
S1013	0.0024	0.0023	1	S1304	0.0035	0.0033	2	S1513	0.0030	0.0027	2
S1014	0.0030	0.0028	2	S1305	0.0037	0.0035	2	S1514	0.0041	0.0038	3
S1015	0.0029	0.0027	2	S1306	0.0034	0.0032	2	S1515	0.0035	0.0033	2
S1016	0.0024	0.0023	1	S1307	0.0048	0.0046	3	S1516	0.0032	0.0030	2
S1017	0.0016	0.0015	1	S1308	0.0030	0.0028	2	S1517	0.0027	0.0026	2
S1018	0.0023	0.0022	1	S1309	0.0050	0.0047	3	S1518	0.0035	0.0032	2

Model 1 Kolon Elemanların Hasar Sonuçları												
Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.
	Donatı	Beton			Donatı	Beton			Donatı	Beton	
S1601	0.0038	0.0036	3	S1810	0.0036	0.0033	2	S2101	0.0038	0.0035	2
S1602	0.0037	0.0035	2	S1811	0.0033	0.0031	2	S2102	0.0026	0.0024	1
S1603	0.0042	0.0038	3	S1812	0.0040	0.0036	3	S2103	0.0035	0.0032	2
S1604	0.0053	0.0049	3	S1813	0.0035	0.0032	2	S2104	0.0040	0.0037	3
S1605	0.0054	0.0051	3	S1814	0.0036	0.0033	2	S2105	0.0048	0.0044	3
S1606	0.0038	0.0035	2	S1815	0.0029	0.0027	2	S2106	0.0043	0.0038	3
S1607	0.0055	0.0051	3	S1816	0.0030	0.0027	2	S2107	0.0052	0.0047	3
S1608	0.0037	0.0035	2	S1817	0.0032	0.0029	2	S2108	0.0031	0.0028	2
S1609	0.0059	0.0055	3	S1818	0.0036	0.0034	2	S2109	0.0040	0.0037	3
S1610	0.0033	0.0030	2	S1901	0.0038	0.0035	3	S2110	0.0031	0.0028	2
S1611	0.0037	0.0035	3	S1902	0.0033	0.0031	2	S2111	0.0025	0.0022	1
S1612	0.0039	0.0035	3	S1903	0.0041	0.0037	3	S2112	0.0041	0.0037	3
S1613	0.0035	0.0032	2	S1904	0.0050	0.0046	3	S2113	0.0037	0.0033	2
S1614	0.0039	0.0036	3	S1905	0.0051	0.0048	3	S2114	0.0030	0.0027	2
S1615	0.0037	0.0035	3	S1906	0.0042	0.0038	3	S2115	0.0023	0.0022	1
S1616	0.0035	0.0032	2	S1907	0.0055	0.0050	3	S2116	0.0026	0.0023	1
S1617	0.0030	0.0028	2	S1908	0.0034	0.0031	2	S2117	0.0027	0.0025	1
S1618	0.0034	0.0031	2	S1909	0.0051	0.0048	3	S2118	0.0031	0.0029	2
S1701	0.0037	0.0035	3	S1910	0.0036	0.0033	2	S2201	0.0040	0.0036	3
S1702	0.0037	0.0035	2	S1911	0.0030	0.0028	2	S2202	0.0023	0.0021	1
S1703	0.0042	0.0038	3	S1912	0.0041	0.0037	3	S2203	0.0034	0.0031	2
S1704	0.0053	0.0050	3	S1913	0.0036	0.0032	2	S2204	0.0035	0.0033	2
S1705	0.0054	0.0051	3	S1914	0.0034	0.0032	2	S2205	0.0044	0.0040	3
S1706	0.0039	0.0035	3	S1915	0.0027	0.0025	2	S2206	0.0045	0.0040	3
S1707	0.0056	0.0051	3	S1916	0.0028	0.0025	2	S2207	0.0051	0.0046	3
S1708	0.0036	0.0033	2	S1917	0.0031	0.0029	2	S2208	0.0029	0.0026	2
S1709	0.0057	0.0053	3	S1918	0.0036	0.0034	2	S2209	0.0035	0.0032	2
S1710	0.0035	0.0032	2	S2001	0.0037	0.0035	2	S2210	0.0027	0.0025	1
S1711	0.0035	0.0033	2	S2002	0.0030	0.0028	2	S2211	0.0024	0.0021	1
S1712	0.0040	0.0036	3	S2003	0.0038	0.0034	2	S2212	0.0041	0.0036	3
S1713	0.0036	0.0032	2	S2004	0.0046	0.0042	3	S2213	0.0037	0.0033	2
S1714	0.0038	0.0035	3	S2005	0.0050	0.0046	3	S2214	0.0030	0.0027	2
S1715	0.0032	0.0030	2	S2006	0.0042	0.0038	3	S2215	0.0022	0.0020	1
S1716	0.0031	0.0028	2	S2007	0.0054	0.0049	3	S2216	0.0031	0.0028	2
S1717	0.0031	0.0029	2	S2008	0.0033	0.0030	2	S2217	0.0024	0.0022	1
S1718	0.0035	0.0033	2	S2009	0.0046	0.0042	3	S2218	0.0030	0.0027	2
S1801	0.0037	0.0035	3	S2010	0.0034	0.0031	2	S2301	0.0047	0.0043	3
S1802	0.0036	0.0034	2	S2011	0.0027	0.0025	1	S2302	0.0029	0.0027	2
S1803	0.0042	0.0038	3	S2012	0.0042	0.0038	3	S2303	0.0037	0.0033	2
S1804	0.0053	0.0049	3	S2013	0.0036	0.0033	2	S2304	0.0045	0.0041	3
S1805	0.0053	0.0049	3	S2014	0.0032	0.0029	2	S2305	0.0053	0.0050	3
S1806	0.0041	0.0037	3	S2015	0.0025	0.0023	1	S2306	0.0044	0.0040	3
S1807	0.0055	0.0051	3	S2016	0.0027	0.0024	1	S2307	0.0051	0.0047	3
S1808	0.0035	0.0032	2	S2017	0.0029	0.0027	2	S2308	0.0033	0.0030	2
S1809	0.0055	0.0051	3	S2018	0.0034	0.0032	2	S2309	0.0040	0.0036	3

Model 1 Kolon Elemanların Hasar Sonuçları												
Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.
	Donatı	Beton			Donatı	Beton			Donatı	Beton	
S2310	0.0036	0.0032	2	S2601	0.0047	0.0043	3	S2810	0.0047	0.0043	3
S2311	0.0031	0.0027	2	S2602	0.0022	0.0020	1	S2811	0.0038	0.0035	2
S2312	0.0041	0.0038	3	S2603	0.0035	0.0031	2	S2812	0.0042	0.0038	3
S2313	0.0035	0.0032	2	S2604	0.0032	0.0029	2	S2813	0.0042	0.0038	3
S2314	0.0038	0.0035	3	S2605	0.0044	0.0041	3	S2814	0.0036	0.0033	2
S2315	0.0029	0.0027	2	S2606	0.0045	0.0041	3	S2815	0.0024	0.0021	1
S2316	0.0030	0.0027	2	S2607	0.0048	0.0044	3	S2816	0.0040	0.0036	3
S2317	0.0030	0.0027	2	S2608	0.0038	0.0034	2	S2817	0.0024	0.0022	1
S2318	0.0035	0.0032	2	S2609	0.0042	0.0038	3	S2818	0.0037	0.0033	2
S2401	0.0051	0.0046	3	S2610	0.0043	0.0038	3	S2901	0.0035	0.0031	2
S2402	0.0023	0.0021	1	S2611	0.0038	0.0034	2	S2902	0.0021	0.0019	1
S2403	0.0033	0.0030	2	S2612	0.0045	0.0041	3	S2903	0.0034	0.0030	2
S2404	0.0037	0.0034	2	S2613	0.0044	0.0040	3	S2904	0.0025	0.0023	1
S2405	0.0055	0.0051	3	S2614	0.0042	0.0038	3	S2905	0.0032	0.0029	2
S2406	0.0046	0.0042	3	S2615	0.0020	0.0018	1	S2906	0.0039	0.0035	2
S2407	0.0052	0.0047	3	S2616	0.0035	0.0032	2	S2907	0.0042	0.0038	3
S2408	0.0033	0.0030	2	S2617	0.0024	0.0022	1	S2908	0.0037	0.0033	2
S2409	0.0037	0.0033	2	S2618	0.0042	0.0038	3	S2909	0.0043	0.0039	3
S2410	0.0038	0.0034	2	S2701	0.0043	0.0039	3	S2910	0.0048	0.0044	3
S2411	0.0033	0.0030	2	S2702	0.0022	0.0020	1	S2911	0.0037	0.0033	2
S2412	0.0045	0.0041	3	S2703	0.0034	0.0031	2	S2912	0.0039	0.0036	3
S2413	0.0041	0.0037	3	S2704	0.0028	0.0025	2	S2913	0.0039	0.0036	3
S2414	0.0043	0.0040	3	S2705	0.0040	0.0037	3	S2914	0.0033	0.0030	2
S2415	0.0022	0.0020	1	S2706	0.0043	0.0039	3	S2915	0.0027	0.0024	1
S2416	0.0030	0.0027	2	S2707	0.0046	0.0042	3	S2916	0.0041	0.0037	3
S2417	0.0026	0.0023	1	S2708	0.0038	0.0034	2	S2917	0.0026	0.0023	1
S2418	0.0040	0.0036	3	S2709	0.0042	0.0038	3	S2918	0.0032	0.0029	2
S2501	0.0050	0.0045	3	S2710	0.0045	0.0041	3	S3001	0.0045	0.0041	3
S2502	0.0024	0.0022	1	S2711	0.0039	0.0035	3	S3002	0.0038	0.0035	2
S2503	0.0035	0.0032	2	S2712	0.0043	0.0039	3	S3003	0.0042	0.0038	3
S2504	0.0036	0.0033	2	S2713	0.0044	0.0040	3	S3004	0.0047	0.0043	3
S2505	0.0050	0.0046	3	S2714	0.0038	0.0034	2	S3005	0.0039	0.0035	2
S2506	0.0046	0.0042	3	S2715	0.0020	0.0018	1	S3006	0.0037	0.0033	2
S2507	0.0050	0.0046	3	S2716	0.0038	0.0034	2	S3007	0.0036	0.0033	2
S2508	0.0037	0.0033	2	S2717	0.0024	0.0021	1	S3008	0.0055	0.0050	3
S2509	0.0041	0.0037	3	S2718	0.0040	0.0037	3	S3009	0.0061	0.0056	3
S2510	0.0040	0.0036	3	S2801	0.0039	0.0035	3	S3010	0.0079	0.0073	3
S2511	0.0037	0.0033	2	S2802	0.0021	0.0019	1	S3011	0.0056	0.0052	3
S2512	0.0046	0.0042	3	S2803	0.0034	0.0031	2	S3012	0.0040	0.0036	3
S2513	0.0043	0.0039	3	S2804	0.0027	0.0024	1	S3013	0.0036	0.0032	2
S2514	0.0044	0.0040	3	S2805	0.0037	0.0033	2	S3014	0.0041	0.0037	3
S2515	0.0022	0.0020	1	S2806	0.0041	0.0037	3	S3015	0.0053	0.0048	3
S2516	0.0032	0.0029	2	S2807	0.0044	0.0040	3	S3016	0.0047	0.0042	3
S2517	0.0025	0.0023	1	S2808	0.0038	0.0034	2	S3017	0.0048	0.0044	3
S2518	0.0042	0.0038	3	S2809	0.0043	0.0039	3	S3018	0.0038	0.0034	2

Model 1 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K101	0.0017	1	K208	0.0004	1	K315	0.0029	2	K422	0.0028	2
K102	0.0022	1	K209	0.0009	1	K316	0.0046	3	K423	0.0023	1
K103	0.0021	1	K210	0.0010	1	K317	0.0046	3	K424	0.0058	3
K104	0.0015	1	K211	0.0005	1	K318	0.0032	2	K425	0.0028	2
K105	0.0030	2	K212	0.0009	1	K319	0.0022	1	K426	0.0057	3
K106	0.0043	3	K213	0.0050	3	K320	0.0032	2	K427	0.0046	3
K107	0.0009	1	K214	0.0058	3	K321	0.0034	2	K428	0.0045	3
K108	0.0004	1	K215	0.0025	1	K322	0.0029	2	K429	0.0048	3
K109	0.0008	1	K216	0.0040	3	K323	0.0023	1	K430	0.0046	3
K110	0.0008	1	K217	0.0041	3	K324	0.0054	3	K431	0.0056	3
K111	0.0004	1	K218	0.0026	2	K325	0.0029	2	K432	0.0027	2
K112	0.0007	1	K219	0.0021	1	K326	0.0050	3	K433	0.0065	3
K113	0.0029	2	K220	0.0032	2	K327	0.0046	3	K434	0.0023	1
K114	0.0034	2	K221	0.0027	2	K328	0.0040	3	K435	0.0026	2
K115	0.0017	1	K222	0.0029	2	K329	0.0043	3	K436	0.0041	3
K116	0.0026	2	K223	0.0022	1	K330	0.0047	3	K437	0.0031	2
K117	0.0026	2	K224	0.0045	3	K331	0.0052	3	K438	0.0021	1
K118	0.0017	1	K225	0.0029	2	K332	0.0029	2	K501	0.0037	3
K119	0.0017	1	K226	0.0043	3	K333	0.0060	3	K502	0.0040	3
K120	0.0025	2	K227	0.0044	3	K334	0.0023	1	K503	0.0040	3
K121	0.0018	1	K228	0.0033	2	K335	0.0026	2	K504	0.0029	2
K122	0.0022	1	K229	0.0036	3	K336	0.0036	3	K505	0.0075	3
K123	0.0017	1	K230	0.0044	3	K337	0.0032	2	K506	0.0099	3
K124	0.0024	1	K231	0.0044	3	K338	0.0021	1	K507	0.0009	1
K125	0.0022	1	K232	0.0028	2	K401	0.0033	2	K508	0.0006	1
K126	0.0025	1	K233	0.0051	3	K402	0.0038	3	K509	0.0008	1
K127	0.0032	2	K234	0.0022	1	K403	0.0038	3	K510	0.0008	1
K128	0.0020	1	K235	0.0026	2	K404	0.0027	2	K511	0.0007	1
K129	0.0022	1	K236	0.0029	2	K405	0.0068	3	K512	0.0008	1
K130	0.0031	2	K237	0.0031	2	K406	0.0089	3	K513	0.0076	3
K131	0.0025	2	K238	0.0020	1	K407	0.0010	1	K514	0.0080	3
K132	0.0021	1	K301	0.0030	2	K408	0.0007	1	K515	0.0035	3
K133	0.0029	2	K302	0.0036	3	K409	0.0009	1	K516	0.0053	3
K134	0.0017	1	K303	0.0036	3	K410	0.0010	1	K517	0.0052	3
K135	0.0022	1	K304	0.0024	1	K411	0.0007	1	K518	0.0039	3
K136	0.0018	1	K305	0.0061	3	K412	0.0009	1	K519	0.0022	1
K137	0.0024	1	K306	0.0082	3	K413	0.0068	3	K520	0.0033	2
K138	0.0016	1	K307	0.0011	1	K414	0.0074	3	K521	0.0044	3
K201	0.0025	1	K308	0.0006	1	K415	0.0033	2	K522	0.0027	2
K202	0.0032	2	K309	0.0009	1	K416	0.0050	3	K523	0.0023	1
K203	0.0031	2	K310	0.0010	1	K417	0.0049	3	K524	0.0064	3
K204	0.0020	1	K311	0.0006	1	K418	0.0036	3	K525	0.0026	2
K205	0.0049	3	K312	0.0009	1	K419	0.0023	1	K526	0.0064	3
K206	0.0070	3	K313	0.0062	3	K420	0.0032	2	K527	0.0045	3
K207	0.0011	1	K314	0.0067	3	K421	0.0039	3	K528	0.0049	3

Model 1 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları										
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K529	0.0054	3	K636	0.0046	3	K805	0.0081	3	K912	0.0006	1
K530	0.0044	3	K637	0.0030	2	K806	0.0100	4	K913	0.0083	3
K531	0.0062	3	K638	0.0020	1	K807	0.0008	1	K914	0.0085	3
K532	0.0025	2	K701	0.0040	3	K808	0.0006	1	K915	0.0041	3
K533	0.0072	3	K702	0.0036	3	K809	0.0007	1	K916	0.0050	3
K534	0.0022	1	K703	0.0038	3	K810	0.0007	1	K917	0.0049	3
K535	0.0027	2	K704	0.0034	2	K811	0.0007	1	K918	0.0045	3
K536	0.0043	3	K705	0.0078	3	K812	0.0007	1	K919	0.0018	1
K537	0.0030	2	K706	0.0101	4	K813	0.0080	3	K920	0.0028	2
K538	0.0021	1	K707	0.0009	1	K814	0.0082	3	K921	0.0055	3
K601	0.0039	3	K708	0.0006	1	K815	0.0039	3	K922	0.0025	1
K602	0.0038	3	K709	0.0007	1	K816	0.0049	3	K923	0.0018	1
K603	0.0040	3	K710	0.0007	1	K817	0.0049	3	K924	0.0065	3
K604	0.0031	2	K711	0.0007	1	K818	0.0043	3	K925	0.0021	1
K605	0.0078	3	K712	0.0007	1	K819	0.0017	1	K926	0.0067	3
K606	0.0103	4	K713	0.0079	3	K820	0.0029	2	K927	0.0039	3
K607	0.0009	1	K714	0.0081	3	K821	0.0054	3	K928	0.0051	3
K608	0.0006	1	K715	0.0038	3	K822	0.0026	2	K929	0.0057	3
K609	0.0007	1	K716	0.0048	3	K823	0.0019	1	K930	0.0038	3
K610	0.0008	1	K717	0.0050	3	K824	0.0063	3	K931	0.0061	3
K611	0.0007	1	K718	0.0043	3	K825	0.0024	1	K932	0.0021	1
K612	0.0007	1	K719	0.0017	1	K826	0.0064	3	K933	0.0074	3
K613	0.0079	3	K720	0.0031	2	K827	0.0044	3	K934	0.0018	1
K614	0.0082	3	K721	0.0053	3	K828	0.0049	3	K935	0.0024	1
K615	0.0037	3	K722	0.0027	2	K829	0.0055	3	K936	0.0051	3
K616	0.0052	3	K723	0.0019	1	K830	0.0040	3	K937	0.0024	1
K617	0.0052	3	K724	0.0062	3	K831	0.0059	3	K938	0.0017	1
K618	0.0040	3	K725	0.0027	2	K832	0.0022	1	K1001	0.0044	3
K619	0.0020	1	K726	0.0062	3	K833	0.0072	3	K1002	0.0037	3
K620	0.0035	2	K727	0.0047	3	K834	0.0018	1	K1003	0.0039	3
K621	0.0049	3	K728	0.0049	3	K835	0.0024	1	K1004	0.0039	3
K622	0.0028	2	K729	0.0053	3	K836	0.0050	3	K1005	0.0088	3
K623	0.0022	1	K730	0.0042	3	K837	0.0024	1	K1006	0.0101	4
K624	0.0066	3	K731	0.0059	3	K838	0.0016	1	K1007	0.0006	1
K625	0.0026	2	K732	0.0024	1	K901	0.0043	3	K1008	0.0005	1
K626	0.0067	3	K733	0.0070	3	K902	0.0037	3	K1009	0.0006	1
K627	0.0046	3	K734	0.0018	1	K903	0.0039	3	K1010	0.0006	1
K628	0.0052	3	K735	0.0025	1	K904	0.0038	3	K1011	0.0006	1
K629	0.0057	3	K736	0.0049	3	K905	0.0086	3	K1012	0.0006	1
K630	0.0043	3	K737	0.0026	2	K906	0.0102	4	K1013	0.0084	3
K631	0.0062	3	K738	0.0016	1	K907	0.0007	1	K1014	0.0084	3
K632	0.0024	1	K801	0.0042	3	K908	0.0005	1	K1015	0.0040	3
K633	0.0076	3	K802	0.0036	3	K909	0.0006	1	K1016	0.0049	3
K634	0.0020	1	K803	0.0039	3	K910	0.0006	1	K1017	0.0048	3
K635	0.0028	2	K804	0.0036	3	K911	0.0006	1	K1018	0.0045	3

Model 1 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K1019	0.0018	1	K1126	0.0068	3	K1233	0.0071	3	K1402	0.0034	2
K1020	0.0025	2	K1127	0.0035	2	K1234	0.0018	1	K1403	0.0035	2
K1021	0.0054	3	K1128	0.0051	3	K1235	0.0020	1	K1404	0.0038	3
K1022	0.0023	1	K1129	0.0055	3	K1236	0.0049	3	K1405	0.0089	3
K1023	0.0017	1	K1130	0.0036	3	K1237	0.0022	1	K1406	0.0102	4
K1024	0.0064	3	K1131	0.0061	3	K1238	0.0015	1	K1407	0.0006	1
K1025	0.0020	1	K1132	0.0020	1	K1301	0.0043	3	K1408	0.0005	1
K1026	0.0067	3	K1133	0.0071	3	K1302	0.0036	3	K1409	0.0005	1
K1027	0.0036	3	K1134	0.0018	1	K1303	0.0038	3	K1410	0.0005	1
K1028	0.0050	3	K1135	0.0021	1	K1304	0.0040	3	K1411	0.0005	1
K1029	0.0056	3	K1136	0.0049	3	K1305	0.0088	3	K1412	0.0005	1
K1030	0.0037	3	K1137	0.0023	1	K1306	0.0101	4	K1413	0.0090	3
K1031	0.0060	3	K1138	0.0016	1	K1307	0.0006	1	K1414	0.0082	3
K1032	0.0021	1	K1201	0.0043	3	K1308	0.0005	1	K1415	0.0038	3
K1033	0.0072	3	K1202	0.0036	3	K1309	0.0005	1	K1416	0.0044	3
K1034	0.0018	1	K1203	0.0038	3	K1310	0.0005	1	K1417	0.0042	3
K1035	0.0022	1	K1204	0.0040	3	K1311	0.0005	1	K1418	0.0040	3
K1036	0.0050	3	K1205	0.0089	3	K1312	0.0005	1	K1419	0.0018	1
K1037	0.0023	1	K1206	0.0101	4	K1313	0.0087	3	K1420	0.0022	1
K1038	0.0016	1	K1207	0.0006	1	K1314	0.0082	3	K1421	0.0054	3
K1101	0.0044	3	K1208	0.0005	1	K1315	0.0039	3	K1422	0.0021	1
K1102	0.0036	3	K1209	0.0005	1	K1316	0.0047	3	K1423	0.0016	1
K1103	0.0038	3	K1210	0.0005	1	K1317	0.0045	3	K1424	0.0072	3
K1104	0.0040	3	K1211	0.0005	1	K1318	0.0043	3	K1425	0.0019	1
K1105	0.0089	3	K1212	0.0006	1	K1319	0.0018	1	K1426	0.0072	3
K1106	0.0101	4	K1213	0.0086	3	K1320	0.0023	1	K1427	0.0034	2
K1107	0.0006	1	K1214	0.0082	3	K1321	0.0054	3	K1428	0.0057	3
K1108	0.0005	1	K1215	0.0039	3	K1322	0.0022	1	K1429	0.0054	3
K1109	0.0005	1	K1216	0.0047	3	K1323	0.0015	1	K1430	0.0033	2
K1110	0.0006	1	K1217	0.0045	3	K1324	0.0068	3	K1431	0.0066	3
K1111	0.0006	1	K1218	0.0043	3	K1325	0.0018	1	K1432	0.0018	1
K1112	0.0006	1	K1219	0.0018	1	K1326	0.0071	3	K1433	0.0074	3
K1113	0.0085	3	K1220	0.0023	1	K1327	0.0033	2	K1434	0.0017	1
K1114	0.0083	3	K1221	0.0055	3	K1328	0.0056	3	K1435	0.0018	1
K1115	0.0039	3	K1222	0.0022	1	K1329	0.0055	3	K1436	0.0047	3
K1116	0.0048	3	K1223	0.0016	1	K1330	0.0032	2	K1437	0.0022	1
K1117	0.0046	3	K1224	0.0067	3	K1331	0.0063	3	K1438	0.0014	1
K1118	0.0044	3	K1225	0.0019	1	K1332	0.0018	1	K1501	0.0041	3
K1119	0.0018	1	K1226	0.0070	3	K1333	0.0072	3	K1502	0.0028	2
K1120	0.0024	1	K1227	0.0034	2	K1334	0.0017	1	K1503	0.0030	2
K1121	0.0054	3	K1228	0.0053	3	K1335	0.0019	1	K1504	0.0035	3
K1122	0.0023	1	K1229	0.0055	3	K1336	0.0048	3	K1505	0.0088	3
K1123	0.0016	1	K1230	0.0034	2	K1337	0.0022	1	K1506	0.0099	3
K1124	0.0065	3	K1231	0.0061	3	K1338	0.0014	1	K1507	0.0006	1
K1125	0.0020	1	K1232	0.0019	1	K1401	0.0042	3	K1508	0.0005	1

Model 1 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K1509	0.0005	1	K1616	0.0037	3	K1723	0.0016	1	K1830	0.0034	2
K1510	0.0006	1	K1617	0.0036	3	K1724	0.0080	3	K1831	0.0071	3
K1511	0.0005	1	K1618	0.0039	3	K1725	0.0019	1	K1832	0.0018	1
K1512	0.0006	1	K1619	0.0018	1	K1726	0.0072	3	K1833	0.0078	3
K1513	0.0091	3	K1620	0.0019	1	K1727	0.0033	2	K1834	0.0019	1
K1514	0.0082	3	K1621	0.0050	3	K1728	0.0058	3	K1835	0.0017	1
K1515	0.0036	3	K1622	0.0020	1	K1729	0.0054	3	K1836	0.0049	3
K1516	0.0037	3	K1623	0.0017	1	K1730	0.0036	3	K1837	0.0022	1
K1517	0.0036	3	K1624	0.0078	3	K1731	0.0069	3	K1838	0.0017	1
K1518	0.0039	3	K1625	0.0019	1	K1732	0.0019	1	K1901	0.0050	3
K1519	0.0018	1	K1626	0.0070	3	K1733	0.0078	3	K1902	0.0031	2
K1520	0.0019	1	K1627	0.0034	2	K1734	0.0019	1	K1903	0.0034	2
K1521	0.0050	3	K1628	0.0058	3	K1735	0.0017	1	K1904	0.0040	3
K1522	0.0019	1	K1629	0.0053	3	K1736	0.0048	3	K1905	0.0094	3
K1523	0.0017	1	K1630	0.0036	3	K1737	0.0022	1	K1906	0.0110	4
K1524	0.0075	3	K1631	0.0067	3	K1738	0.0016	1	K1907	0.0006	1
K1525	0.0019	1	K1632	0.0019	1	K1801	0.0048	3	K1908	0.0004	1
K1526	0.0069	3	K1633	0.0077	3	K1802	0.0031	2	K1909	0.0005	1
K1527	0.0033	2	K1634	0.0019	1	K1803	0.0032	2	K1910	0.0005	1
K1528	0.0055	3	K1635	0.0017	1	K1804	0.0039	3	K1911	0.0004	1
K1529	0.0051	3	K1636	0.0046	3	K1805	0.0094	3	K1912	0.0006	1
K1530	0.0034	2	K1637	0.0022	1	K1806	0.0106	4	K1913	0.0100	3
K1531	0.0066	3	K1638	0.0017	1	K1807	0.0006	1	K1914	0.0098	3
K1532	0.0019	1	K1701	0.0046	3	K1808	0.0004	1	K1915	0.0046	3
K1533	0.0075	3	K1702	0.0031	2	K1809	0.0005	1	K1916	0.0039	3
K1534	0.0018	1	K1703	0.0031	2	K1810	0.0005	1	K1917	0.0041	3
K1535	0.0017	1	K1704	0.0038	3	K1811	0.0005	1	K1918	0.0043	3
K1536	0.0044	3	K1705	0.0093	3	K1812	0.0006	1	K1919	0.0018	1
K1537	0.0021	1	K1706	0.0104	4	K1813	0.0098	3	K1920	0.0020	1
K1538	0.0016	1	K1707	0.0006	1	K1814	0.0093	3	K1921	0.0051	3
K1601	0.0044	3	K1708	0.0005	1	K1815	0.0044	3	K1922	0.0019	1
K1602	0.0029	2	K1709	0.0005	1	K1816	0.0039	3	K1923	0.0017	1
K1603	0.0030	2	K1710	0.0005	1	K1817	0.0038	3	K1924	0.0084	3
K1604	0.0036	3	K1711	0.0005	1	K1818	0.0041	3	K1925	0.0018	1
K1605	0.0090	3	K1712	0.0006	1	K1819	0.0018	1	K1926	0.0079	3
K1606	0.0101	4	K1713	0.0096	3	K1820	0.0019	1	K1927	0.0030	2
K1607	0.0006	1	K1714	0.0087	3	K1821	0.0049	3	K1928	0.0061	3
K1608	0.0005	1	K1715	0.0041	3	K1822	0.0019	1	K1929	0.0058	3
K1609	0.0005	1	K1716	0.0038	3	K1823	0.0016	1	K1930	0.0031	2
K1610	0.0006	1	K1717	0.0036	3	K1824	0.0083	3	K1931	0.0073	3
K1611	0.0005	1	K1718	0.0039	3	K1825	0.0018	1	K1932	0.0017	1
K1612	0.0006	1	K1719	0.0018	1	K1826	0.0075	3	K1933	0.0081	3
K1613	0.0094	3	K1720	0.0019	1	K1827	0.0031	2	K1934	0.0018	1
K1614	0.0084	3	K1721	0.0049	3	K1828	0.0059	3	K1935	0.0018	1
K1615	0.0038	3	K1722	0.0020	1	K1829	0.0055	3	K1936	0.0050	3

Model 1 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K1937	0.0021	1	K2106	0.0120	4	K2213	0.0112	4	K2320	0.0019	1
K1938	0.0018	1	K2107	0.0005	1	K2214	0.0110	4	K2321	0.0066	3
K2001	0.0053	3	K2108	0.0004	1	K2215	0.0047	3	K2322	0.0017	1
K2002	0.0031	2	K2109	0.0004	1	K2216	0.0030	2	K2323	0.0017	1
K2003	0.0035	2	K2110	0.0005	1	K2217	0.0043	3	K2324	0.0075	3
K2004	0.0041	3	K2111	0.0004	1	K2218	0.0045	3	K2325	0.0017	1
K2005	0.0096	3	K2112	0.0005	1	K2219	0.0017	1	K2326	0.0075	3
K2006	0.0115	4	K2113	0.0108	4	K2220	0.0021	1	K2327	0.0031	2
K2007	0.0005	1	K2114	0.0109	4	K2221	0.0057	3	K2328	0.0056	3
K2008	0.0004	1	K2115	0.0048	3	K2222	0.0018	1	K2329	0.0059	3
K2009	0.0005	1	K2116	0.0037	3	K2223	0.0018	1	K2330	0.0028	2
K2010	0.0004	1	K2117	0.0044	3	K2224	0.0094	3	K2331	0.0064	3
K2011	0.0004	1	K2118	0.0045	3	K2225	0.0014	1	K2332	0.0017	1
K2012	0.0005	1	K2119	0.0018	1	K2226	0.0095	3	K2333	0.0076	3
K2013	0.0105	4	K2120	0.0021	1	K2227	0.0026	2	K2334	0.0017	1
K2014	0.0105	4	K2121	0.0054	3	K2228	0.0062	3	K2335	0.0017	1
K2015	0.0048	3	K2122	0.0018	1	K2229	0.0065	3	K2336	0.0060	3
K2016	0.0038	3	K2123	0.0018	1	K2230	0.0024	1	K2337	0.0020	1
K2017	0.0042	3	K2124	0.0090	3	K2231	0.0081	3	K2338	0.0016	1
K2018	0.0044	3	K2125	0.0016	1	K2232	0.0014	1	K2401	0.0061	3
K2019	0.0018	1	K2126	0.0089	3	K2233	0.0094	3	K2402	0.0031	2
K2020	0.0021	1	K2127	0.0027	2	K2234	0.0018	1	K2403	0.0035	3
K2021	0.0053	3	K2128	0.0066	3	K2235	0.0020	1	K2404	0.0047	3
K2022	0.0018	1	K2129	0.0066	3	K2236	0.0052	3	K2405	0.0091	3
K2023	0.0017	1	K2130	0.0026	2	K2237	0.0022	1	K2406	0.0108	4
K2024	0.0087	3	K2131	0.0078	3	K2238	0.0018	1	K2407	0.0006	1
K2025	0.0017	1	K2132	0.0014	1	K2301	0.0062	3	K2408	0.0004	1
K2026	0.0084	3	K2133	0.0092	3	K2302	0.0032	2	K2409	0.0005	1
K2027	0.0029	2	K2134	0.0018	1	K2303	0.0034	2	K2410	0.0005	1
K2028	0.0062	3	K2135	0.0019	1	K2304	0.0045	3	K2411	0.0004	1
K2029	0.0061	3	K2136	0.0050	3	K2305	0.0089	3	K2412	0.0005	1
K2030	0.0028	2	K2137	0.0021	1	K2306	0.0105	4	K2413	0.0089	3
K2031	0.0074	3	K2138	0.0019	1	K2307	0.0006	1	K2414	0.0094	3
K2032	0.0016	1	K2201	0.0056	3	K2308	0.0004	1	K2415	0.0053	3
K2033	0.0086	3	K2202	0.0033	2	K2309	0.0006	1	K2416	0.0030	2
K2034	0.0018	1	K2203	0.0034	2	K2310	0.0006	1	K2417	0.0042	3
K2035	0.0019	1	K2204	0.0041	3	K2311	0.0004	1	K2418	0.0043	3
K2036	0.0050	3	K2205	0.0105	4	K2312	0.0006	1	K2419	0.0016	1
K2037	0.0021	1	K2206	0.0123	4	K2313	0.0086	3	K2420	0.0019	1
K2038	0.0019	1	K2207	0.0005	1	K2314	0.0091	3	K2421	0.0067	3
K2101	0.0055	3	K2208	0.0004	1	K2315	0.0052	3	K2422	0.0017	1
K2102	0.0033	2	K2209	0.0004	1	K2316	0.0030	2	K2423	0.0017	1
K2103	0.0035	3	K2210	0.0005	1	K2317	0.0041	3	K2424	0.0079	3
K2104	0.0041	3	K2211	0.0004	1	K2318	0.0043	3	K2425	0.0017	1
K2105	0.0101	4	K2212	0.0004	1	K2319	0.0015	1	K2426	0.0074	3

Model 1 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K2427	0.0030	2	K2534	0.0017	1	K2703	0.0035	3	K2810	0.0003	1
K2428	0.0058	3	K2535	0.0017	1	K2704	0.0043	3	K2811	0.0003	1
K2429	0.0060	3	K2536	0.0058	3	K2705	0.0092	3	K2812	0.0004	1
K2430	0.0027	2	K2537	0.0018	1	K2706	0.0112	4	K2813	0.0093	3
K2431	0.0068	3	K2538	0.0016	1	K2707	0.0005	1	K2814	0.0097	3
K2432	0.0015	1	K2601	0.0060	3	K2708	0.0003	1	K2815	0.0048	3
K2433	0.0080	3	K2602	0.0031	2	K2709	0.0004	1	K2816	0.0028	2
K2434	0.0016	1	K2603	0.0036	3	K2710	0.0004	1	K2817	0.0042	3
K2435	0.0017	1	K2604	0.0046	3	K2711	0.0003	1	K2818	0.0043	3
K2436	0.0058	3	K2605	0.0093	3	K2712	0.0005	1	K2819	0.0016	1
K2437	0.0019	1	K2606	0.0113	4	K2713	0.0093	3	K2820	0.0012	1
K2438	0.0015	1	K2607	0.0006	1	K2714	0.0100	4	K2821	0.0063	3
K2501	0.0061	3	K2608	0.0004	1	K2715	0.0051	3	K2822	0.0013	1
K2502	0.0031	2	K2609	0.0005	1	K2716	0.0030	2	K2823	0.0017	1
K2503	0.0037	3	K2610	0.0005	1	K2717	0.0044	3	K2824	0.0078	3
K2504	0.0047	3	K2611	0.0004	1	K2718	0.0046	3	K2825	0.0012	1
K2505	0.0094	3	K2612	0.0005	1	K2719	0.0016	1	K2826	0.0074	3
K2506	0.0112	4	K2613	0.0094	3	K2720	0.0014	1	K2827	0.0020	1
K2507	0.0006	1	K2614	0.0101	4	K2721	0.0065	3	K2828	0.0060	3
K2508	0.0004	1	K2615	0.0053	3	K2722	0.0014	1	K2829	0.0058	3
K2509	0.0005	1	K2616	0.0030	2	K2723	0.0017	1	K2830	0.0020	1
K2510	0.0005	1	K2617	0.0044	3	K2724	0.0082	3	K2831	0.0073	3
K2511	0.0004	1	K2618	0.0046	3	K2725	0.0014	1	K2832	0.0011	1
K2512	0.0005	1	K2619	0.0016	1	K2726	0.0078	3	K2833	0.0082	3
K2513	0.0093	3	K2620	0.0016	1	K2727	0.0026	2	K2834	0.0017	1
K2514	0.0099	3	K2621	0.0066	3	K2728	0.0062	3	K2835	0.0012	1
K2515	0.0053	3	K2622	0.0016	1	K2729	0.0062	3	K2836	0.0053	3
K2516	0.0030	2	K2623	0.0017	1	K2730	0.0026	2	K2837	0.0013	1
K2517	0.0043	3	K2624	0.0084	3	K2731	0.0075	3	K2838	0.0016	1
K2518	0.0045	3	K2625	0.0015	1	K2732	0.0014	1	K2901	0.0052	3
K2519	0.0016	1	K2626	0.0079	3	K2733	0.0085	3	K2902	0.0025	2
K2520	0.0017	1	K2627	0.0028	2	K2734	0.0017	1	K2903	0.0032	2
K2521	0.0067	3	K2628	0.0063	3	K2735	0.0014	1	K2904	0.0038	3
K2522	0.0017	1	K2629	0.0063	3	K2736	0.0055	3	K2905	0.0086	3
K2523	0.0017	1	K2630	0.0028	2	K2737	0.0015	1	K2906	0.0106	4
K2524	0.0083	3	K2631	0.0074	3	K2738	0.0016	1	K2907	0.0003	1
K2525	0.0016	1	K2632	0.0015	1	K2801	0.0055	3	K2908	0.0002	1
K2526	0.0077	3	K2633	0.0086	3	K2802	0.0028	2	K2909	0.0002	1
K2527	0.0029	2	K2634	0.0017	1	K2803	0.0034	2	K2910	0.0003	1
K2528	0.0062	3	K2635	0.0016	1	K2804	0.0040	3	K2911	0.0002	1
K2529	0.0062	3	K2636	0.0058	3	K2805	0.0089	3	K2912	0.0003	1
K2530	0.0027	2	K2637	0.0016	1	K2806	0.0109	4	K2913	0.0093	3
K2531	0.0073	3	K2638	0.0016	1	K2807	0.0004	1	K2914	0.0095	3
K2532	0.0015	1	K2701	0.0058	3	K2808	0.0003	1	K2915	0.0042	3
K2533	0.0085	3	K2702	0.0030	2	K2809	0.0003	1	K2916	0.0026	2

Model 1 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K2917	0.0038	3	K2935	0.0009	1	K3015	0.0025	2	K3033	0.0076	3
K2918	0.0042	3	K2936	0.0050	3	K3016	0.0015	1	K3034	0.0008	1
K2919	0.0016	1	K2937	0.0010	1	K3017	0.0017	1	K3035	0.0004	1
K2920	0.0009	1	K2938	0.0016	1	K3018	0.0025	2	K3036	0.0043	3
K2921	0.0060	3	K3001	0.0035	3	K3019	0.0008	1	K3037	0.0004	1
K2922	0.0011	1	K3002	0.0015	1	K3020	0.0003	1	K3038	0.0008	1
K2923	0.0016	1	K3003	0.0016	1	K3021	0.0056	3	K3107	0.0001	1
K2924	0.0074	3	K3004	0.0027	2	K3022	0.0004	1	K3108	0.0003	1
K2925	0.0009	1	K3005	0.0085	3	K3023	0.0007	1	K3109	0.0001	1
K2926	0.0070	3	K3006	0.0103	4	K3024	0.0072	3	K3110	0.0005	1
K2927	0.0015	1	K3007	0.0002	1	K3025	0.0005	1	K3111	0.0001	1
K2928	0.0057	3	K3008	0.0002	1	K3026	0.0066	3	K3112	0.0004	1
K2929	0.0055	3	K3009	0.0002	1	K3027	0.0010	1	K3125	0.0009	1
K2930	0.0014	1	K3010	0.0002	1	K3028	0.0047	3	K3127	0.0009	1
K2931	0.0071	3	K3011	0.0002	1	K3029	0.0046	3	K3130	0.0008	1
K2932	0.0008	1	K3012	0.0002	1	K3030	0.0010	1	K3132	0.0008	1
K2933	0.0078	3	K3013	0.0105	4	K3031	0.0068	3			
K2934	0.0016	1	K3014	0.0094	3	K3032	0.0005	1			

EK-D

MODEL 2 HASAR SONUÇLARI

Çizelge D.1 Model 2 taşıyıcı sistem elemanlarının hasar oranları

Hasar Düzeyleri	*Eleman Türleri*					
	Perdeler		*Kirişler*		*Hasarlı Eleman*	
	Sayısı	*Yüzdesi*	*Sayısı*	*Yüzdesi*	*Sayısı*	*Yüzdesi*
Kesintisiz Kullanım (1)	*363*	*%44.1*	*298*	*%96.1*	*661*	*%58.3*
Hemen Kullanım (2)	*137*	*%16.6*	*12*	*%3.9*	*149*	*%13.2*
Can Güvenliği (3)	*265*	*%32.2*	*0*	*%0*	*265*	*%23.4*
Göçme Önlenmesi (4)	*46*	*%5.6*	*0*	*%0*	*46*	*%4.1*
Göçme Durumu (5)	*12*	*%1.5*	*0*	*%0*	*12*	*%1.1*
Toplam Eleman Sayısı	*823*	*%100*	*310*	*%100*	*1133*	*%100*

Çizelge D.2 Model 2 taşıyıcı sistem elemanlarının maksimum birim şekil değiştirmeleri ve hasar seviyeleri

Model 2 Çekirdek Perdelerinin Hasar Sonuçları												
Eleman	***Birim Şek.Değ***	***Hasar Sev.***	***Eleman***	***Birim Şek.Değ***	***Hasar Sev.***	***Eleman***	***Birim Şek.Değ***	***Hasar Sev.***	***Eleman***	***Birim Şek.Değ***	***Hasar Sev.***
P101	*0.0210*	***5***	*P112*	*0.0114*	***4***	*P210*	*0.0032*	***2***	*P308*	*0.0064*	***3***
P102	*0.0224*	***5***	*P113*	*0.0229*	***5***	*P211*	*0.0022*	***1***	*P309*	*0.0049*	***3***
P103	*0.0200*	***5***	*P201*	*0.0078*	***3***	*P212*	*0.0080*	***3***	*P310*	*0.0022*	***1***
P104	*0.0194*	***5***	*P202*	*0.0110*	***4***	*P213*	*0.0081*	***3***	*P311*	*0.0017*	***1***
P105	*0.0111*	***4***	*P203*	*0.0074*	***3***	*P301*	*0.0040*	***3***	*P312*	*0.0041*	***3***
P106	*0.0081*	***3***	*P204*	*0.0077*	***3***	*P302*	*0.0055*	***3***	*P313*	*0.0033*	***2***
P107	*0.0077*	***3***	*P205*	*0.0082*	***3***	*P303*	*0.0043*	***3***	*P401*	*0.0025*	***1***
P108	*0.0124*	***4***	*P206*	*0.0031*	***2***	*P304*	*0.0035*	***2***	*P402*	*0.0027*	***2***
P109	*0.0119*	***4***	*P207*	*0.0037*	***3***	*P305*	*0.0047*	***3***	*P403*	*0.0024*	***1***
P110	*0.0077*	***3***	*P208*	*0.0106*	***4***	*P306*	*0.0021*	***1***	*P404*	*0.0023*	***1***
P111	*0.0063*	***3***	*P209*	*0.0086*	***3***	*P307*	*0.0026*	***2***			

Model 2 Çekirdek Perdelerinin Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
P405	0.0028	2	P711	0.0017	1	P1104	0.0044	3	P1410	0.0027	2
P406	0.0019	1	P712	0.0032	2	P1105	0.0069	3	P1411	0.0025	2
P407	0.0020	1	P713	0.0031	2	P1106	0.0040	3	P1412	0.0047	3
P408	0.0035	2	P801	0.0030	2	P1107	0.0047	3	P1413	0.0049	3
P409	0.0028	2	P802	0.0031	2	P1108	0.0085	3	P1501	0.0117	4
P410	0.0017	1	P803	0.0032	2	P1109	0.0068	3	P1502	0.0163	5
P411	0.0016	1	P804	0.0024	1	P1110	0.0039	3	P1503	0.0139	4
P412	0.0025	2	P805	0.0034	2	P1111	0.0029	2	P1504	0.0095	3
P413	0.0026	2	P806	0.0022	1	P1112	0.0055	3	P1505	0.0093	3
P501	0.0105	4	P807	0.0023	1	P1113	0.0042	3	P1506	0.0067	3
P502	0.0118	4	P808	0.0036	3	P1201	0.0047	3	P1507	0.0100	3
P503	0.0093	3	P809	0.0038	3	P1202	0.0053	3	P1508	0.0110	4
P504	0.0062	3	P810	0.0019	1	P1203	0.0046	3	P1509	0.0101	4
P505	0.0085	3	P811	0.0016	1	P1204	0.0039	3	P1510	0.0083	3
P506	0.0050	3	P812	0.0033	2	P1205	0.0057	3	P1511	0.0062	3
P507	0.0063	3	P813	0.0026	2	P1206	0.0031	2	P1512	0.0088	3
P508	0.0099	3	P901	0.0112	4	P1207	0.0037	3	P1513	0.0075	3
P509	0.0074	3	P902	0.0118	4	P1208	0.0069	3	P1601	0.0073	3
P510	0.0041	3	P903	0.0124	4	P1209	0.0062	3	P1602	0.0125	4
P511	0.0027	2	P904	0.0078	3	P1210	0.0033	2	P1603	0.0111	4
P512	0.0064	3	P905	0.0080	3	P1211	0.0027	2	P1604	0.0074	3
P513	0.0039	3	P906	0.0072	3	P1212	0.0049	3	P1605	0.0094	3
P601	0.0058	3	P907	0.0079	3	P1213	0.0038	3	P1606	0.0059	3
P602	0.0062	3	P908	0.0092	3	P1301	0.0043	3	P1607	0.0085	3
P603	0.0060	3	P909	0.0095	3	P1302	0.0047	3	P1608	0.0121	4
P604	0.0032	2	P910	0.0064	3	P1303	0.0039	3	P1609	0.0100	4
P605	0.0089	3	P911	0.0041	3	P1304	0.0033	2	P1610	0.0075	3
P606	0.0035	3	P912	0.0085	3	P1305	0.0047	3	P1611	0.0052	3
P607	0.0043	3	P913	0.0089	3	P1306	0.0026	2	P1612	0.0094	3
P608	0.0101	4	P1001	0.0069	3	P1307	0.0030	2	P1613	0.0062	3
P609	0.0070	3	P1002	0.0080	3	P1308	0.0055	3	P1701	0.0068	3
P610	0.0033	2	P1003	0.0074	3	P1309	0.0053	3	P1702	0.0113	4
P611	0.0020	1	P1004	0.0056	3	P1310	0.0029	2	P1703	0.0106	4
P612	0.0055	3	P1005	0.0086	3	P1311	0.0025	2	P1704	0.0066	3
P613	0.0031	2	P1006	0.0054	3	P1312	0.0044	3	P1705	0.0076	3
P701	0.0044	3	P1007	0.0066	3	P1313	0.0039	3	P1706	0.0051	3
P702	0.0044	3	P1008	0.0105	4	P1401	0.0031	2	P1707	0.0076	3
P703	0.0044	3	P1009	0.0088	3	P1402	0.0028	2	P1708	0.0116	4
P704	0.0028	2	P1010	0.0049	3	P1403	0.0028	2	P1709	0.0092	3
P705	0.0051	3	P1011	0.0033	2	P1404	0.0024	1	P1710	0.0068	3
P706	0.0026	2	P1012	0.0072	3	P1405	0.0049	3	P1711	0.0051	3
P707	0.0028	2	P1013	0.0049	3	P1406	0.0024	1	P1712	0.0083	3
P708	0.0053	3	P1101	0.0050	3	P1407	0.0032	2	P1713	0.0052	3
P709	0.0044	3	P1102	0.0060	3	P1408	0.0052	3	P1801	0.0068	3
P710	0.0022	1	P1103	0.0057	3	P1409	0.0047	3	P1802	0.0113	4

Model 2 Çekirdek Perdelerinin Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
P1803	0.0099	3	P2109	0.0061	3	P2502	0.0126	4	P2808	0.0040	3
P1804	0.0075	3	P2110	0.0041	3	P2503	0.0083	3	P2809	0.0034	2
P1805	0.0067	3	P2111	0.0042	3	P2504	0.0113	4	P2810	0.0022	1
P1806	0.0044	3	P2112	0.0068	3	P2505	0.0102	4	P2811	0.0022	1
P1807	0.0072	3	P2113	0.0047	3	P2506	0.0064	3	P2812	0.0040	3
P1808	0.0111	4	P2201	0.0035	3	P2507	0.0069	3	P2813	0.0018	1
P1809	0.0089	3	P2202	0.0059	3	P2508	0.0095	3	P2901	0.0023	1
P1810	0.0062	3	P2203	0.0033	2	P2509	0.0072	3	P2902	0.0029	2
P1811	0.0051	3	P2204	0.0049	3	P2510	0.0057	3	P2903	0.0023	1
P1812	0.0078	3	P2205	0.0062	3	P2511	0.0070	3	P2904	0.0027	2
P1813	0.0049	3	P2206	0.0034	2	P2512	0.0087	3	P2905	0.0025	2
P1901	0.0059	3	P2207	0.0041	3	P2513	0.0052	3	P2906	0.0018	1
P1902	0.0111	4	P2208	0.0066	3	P2601	0.0091	3	P2907	0.0018	1
P1903	0.0082	3	P2209	0.0054	3	P2602	0.0098	3	P2908	0.0026	2
P1904	0.0079	3	P2210	0.0039	3	P2603	0.0074	3	P2909	0.0024	1
P1905	0.0064	3	P2211	0.0044	3	P2604	0.0089	3	P2910	0.0018	1
P1906	0.0038	3	P2212	0.0065	3	P2605	0.0085	3	P2911	0.0018	1
P1907	0.0061	3	P2213	0.0048	3	P2606	0.0046	3	P2912	0.0027	2
P1908	0.0101	4	P2301	0.0152	5	P2607	0.0051	3	P2913	0.0012	1
P1909	0.0083	3	P2302	0.0181	5	P2608	0.0078	3	P3001	0.0022	1
P1910	0.0055	3	P2303	0.0107	4	P2609	0.0062	3	P3002	0.0026	2
P1911	0.0048	3	P2304	0.0163	5	P2610	0.0042	3	P3003	0.0021	1
P1912	0.0075	3	P2305	0.0110	4	P2611	0.0049	3	P3004	0.0026	2
P1913	0.0042	3	P2306	0.0083	3	P2612	0.0074	3	P3005	0.0025	2
P2001	0.0059	3	P2307	0.0089	3	P2613	0.0045	3	P3006	0.0019	1
P2002	0.0095	3	P2308	0.0107	4	P2701	0.0059	3	P3007	0.0018	1
P2003	0.0065	3	P2309	0.0087	3	P2702	0.0062	3	P3008	0.0027	2
P2004	0.0066	3	P2310	0.0092	3	P2703	0.0053	3	P3009	0.0025	2
P2005	0.0062	3	P2311	0.0100	4	P2704	0.0058	3	P3010	0.0019	1
P2006	0.0033	2	P2312	0.0107	4	P2705	0.0060	3	P3011	0.0019	1
P2007	0.0047	3	P2313	0.0106	4	P2706	0.0032	2	P3012	0.0024	1
P2008	0.0084	3	P2401	0.0132	4	P2707	0.0031	2	P3013	0.0014	1
P2009	0.0074	3	P2402	0.0142	4	P2708	0.0060	3	P3101	0.0013	1
P2010	0.0048	3	P2403	0.0094	3	P2709	0.0048	3	P3102	0.0014	1
P2011	0.0045	3	P2404	0.0128	4	P2710	0.0031	2	P3103	0.0013	1
P2012	0.0070	3	P2405	0.0119	4	P2711	0.0032	2	P3104	0.0014	1
P2013	0.0043	3	P2406	0.0079	3	P2712	0.0055	3	P3105	0.0014	1
P2101	0.0052	3	P2407	0.0083	3	P2713	0.0028	2	P3106	0.0015	1
P2102	0.0077	3	P2408	0.0110	4	P2801	0.0036	3	P3107	0.0015	1
P2103	0.0047	3	P2409	0.0090	3	P2802	0.0028	2	P3108	0.0015	1
P2104	0.0061	3	P2410	0.0080	3	P2803	0.0027	2	P3109	0.0014	1
P2105	0.0060	3	P2411	0.0092	3	P2804	0.0028	2	P3110	0.0016	1
P2106	0.0030	2	P2412	0.0099	3	P2805	0.0039	3	P3111	0.0015	1
P2107	0.0040	3	P2413	0.0056	3	P2806	0.0023	1	P3112	0.0015	1
P2108	0.0071	3	P2501	0.0120	4	P2807	0.0021	1	P3113	0.0009	1

Model 2 Çevre Perdelerin Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
P114	0.0180	5	P417	0.0008	1	P720	0.0014	1	P1023	0.0033	2
P115	0.0065	3	P418	0.0016	1	P721	0.0015	1	P1024	0.0016	1
P116	0.0060	3	P419	0.0010	1	P722	0.0017	1	P1025	0.0014	1
P117	0.0053	3	P420	0.0010	1	P723	0.0018	1	P1026	0.0012	1
P118	0.0135	4	P421	0.0011	1	P724	0.0010	1	P1027	0.0025	2
P119	0.0092	3	P422	0.0011	1	P725	0.0009	1	P1114	0.0021	1
P120	0.0099	4	P423	0.0015	1	P726	0.0008	1	P1115	0.0011	1
P121	0.0092	3	P424	0.0006	1	P727	0.0015	1	P1116	0.0013	1
P122	0.0101	4	P425	0.0006	1	P814	0.0020	1	P1117	0.0017	1
P123	0.0201	5	P426	0.0005	1	P815	0.0012	1	P1118	0.0029	2
P124	0.0071	3	P427	0.0014	1	P816	0.0014	1	P1119	0.0019	1
P125	0.0065	3	P514	0.0021	1	P817	0.0015	1	P1120	0.0017	1
P126	0.0058	3	P515	0.0011	1	P818	0.0024	1	P1121	0.0016	1
P127	0.0161	5	P516	0.0012	1	P819	0.0017	1	P1122	0.0019	1
P214	0.0035	2	P517	0.0014	1	P820	0.0014	1	P1123	0.0030	2
P215	0.0016	1	P518	0.0032	2	P821	0.0015	1	P1124	0.0016	1
P216	0.0016	1	P519	0.0019	1	P822	0.0017	1	P1125	0.0013	1
P217	0.0015	1	P520	0.0015	1	P823	0.0021	1	P1126	0.0011	1
P218	0.0039	3	P521	0.0020	1	P824	0.0014	1	P1127	0.0021	1
P219	0.0028	2	P522	0.0016	1	P825	0.0013	1	P1214	0.0017	1
P220	0.0028	2	P523	0.0021	1	P826	0.0010	1	P1215	0.0010	1
P221	0.0029	2	P524	0.0009	1	P827	0.0018	1	P1216	0.0012	1
P222	0.0029	2	P525	0.0007	1	P914	0.0036	3	P1217	0.0018	1
P223	0.0039	3	P526	0.0006	1	P915	0.0013	1	P1218	0.0027	2
P224	0.0016	1	P527	0.0015	1	P916	0.0016	1	P1219	0.0018	1
P225	0.0016	1	P614	0.0019	1	P917	0.0022	1	P1220	0.0017	1
P226	0.0015	1	P615	0.0010	1	P918	0.0050	3	P1221	0.0015	1
P227	0.0034	2	P616	0.0011	1	P919	0.0029	2	P1222	0.0019	1
P314	0.0019	1	P617	0.0013	1	P920	0.0018	1	P1223	0.0026	2
P315	0.0009	1	P618	0.0023	1	P921	0.0024	1	P1224	0.0015	1
P316	0.0010	1	P619	0.0016	1	P922	0.0021	1	P1225	0.0013	1
P317	0.0009	1	P620	0.0014	1	P923	0.0033	2	P1226	0.0011	1
P318	0.0021	1	P621	0.0017	1	P924	0.0016	1	P1227	0.0019	1
P319	0.0014	1	P622	0.0016	1	P925	0.0014	1	P1314	0.0019	1
P320	0.0014	1	P623	0.0016	1	P926	0.0012	1	P1315	0.0010	1
P321	0.0014	1	P624	0.0008	1	P927	0.0024	1	P1316	0.0013	1
P322	0.0016	1	P625	0.0008	1	P1014	0.0025	2	P1317	0.0020	1
P323	0.0022	1	P626	0.0006	1	P1015	0.0012	1	P1318	0.0029	2
P324	0.0009	1	P627	0.0013	1	P1016	0.0014	1	P1319	0.0016	1
P325	0.0008	1	P714	0.0018	1	P1017	0.0018	1	P1320	0.0018	1
P326	0.0008	1	P715	0.0010	1	P1018	0.0033	2	P1321	0.0015	1
P327	0.0019	1	P716	0.0012	1	P1019	0.0022	1	P1322	0.0019	1
P414	0.0016	1	P717	0.0013	1	P1020	0.0018	1	P1323	0.0023	1
P415	0.0007	1	P718	0.0024	1	P1021	0.0019	1	P1324	0.0014	1
P416	0.0008	1	P719	0.0017	1	P1022	0.0021	1	P1325	0.0012	1

Model 2 Çevre Perdelerin Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
P1326	0.0010	1	P1715	0.0014	1	P2018	0.0028	2	P2321	0.0027	2
P1327	0.0019	1	P1716	0.0018	1	P2019	0.0017	1	P2322	0.0041	3
P1414	0.0022	1	P1717	0.0025	2	P2020	0.0033	2	P2323	0.0041	3
P1415	0.0012	1	P1718	0.0036	3	P2021	0.0016	1	P2324	0.0020	1
P1416	0.0014	1	P1719	0.0019	1	P2022	0.0031	2	P2325	0.0018	1
P1417	0.0021	1	P1720	0.0035	3	P2023	0.0032	2	P2326	0.0019	1
P1418	0.0033	2	P1721	0.0020	1	P2024	0.0018	1	P2327	0.0038	3
P1419	0.0016	1	P1722	0.0033	2	P2025	0.0016	1	P2414	0.0030	2
P1420	0.0018	1	P1723	0.0033	2	P2026	0.0015	1	P2415	0.0014	1
P1421	0.0015	1	P1724	0.0017	1	P2027	0.0027	2	P2416	0.0015	1
P1422	0.0020	1	P1725	0.0016	1	P2114	0.0029	2	P2417	0.0018	1
P1423	0.0024	1	P1726	0.0014	1	P2115	0.0013	1	P2418	0.0035	3
P1424	0.0014	1	P1727	0.0025	2	P2116	0.0014	1	P2419	0.0029	2
P1425	0.0012	1	P1814	0.0022	1	P2117	0.0017	1	P2420	0.0047	3
P1426	0.0011	1	P1815	0.0013	1	P2118	0.0029	2	P2421	0.0027	2
P1427	0.0022	1	P1816	0.0015	1	P2119	0.0017	1	P2422	0.0041	3
P1514	0.0025	2	P1817	0.0021	1	P2120	0.0030	2	P2423	0.0036	3
P1515	0.0015	1	P1818	0.0028	2	P2121	0.0017	1	P2424	0.0017	1
P1516	0.0023	1	P1819	0.0017	1	P2122	0.0026	2	P2425	0.0016	1
P1517	0.0033	2	P1820	0.0039	3	P2123	0.0033	2	P2426	0.0017	1
P1518	0.0042	3	P1821	0.0019	1	P2124	0.0017	1	P2427	0.0035	3
P1519	0.0020	1	P1822	0.0037	3	P2125	0.0015	1	P2514	0.0032	2
P1520	0.0025	1	P1823	0.0034	2	P2126	0.0016	1	P2515	0.0014	1
P1521	0.0021	1	P1824	0.0018	1	P2127	0.0030	2	P2516	0.0015	1
P1522	0.0025	1	P1825	0.0016	1	P2214	0.0032	2	P2517	0.0017	1
P1523	0.0027	2	P1826	0.0014	1	P2215	0.0013	1	P2518	0.0037	3
P1524	0.0017	1	P1827	0.0024	1	P2216	0.0014	1	P2519	0.0029	2
P1525	0.0015	1	P1914	0.0021	1	P2217	0.0017	1	P2520	0.0037	3
P1526	0.0013	1	P1915	0.0013	1	P2218	0.0034	2	P2521	0.0025	2
P1527	0.0024	1	P1916	0.0014	1	P2219	0.0019	1	P2522	0.0035	2
P1614	0.0025	2	P1917	0.0019	1	P2220	0.0028	2	P2523	0.0032	2
P1615	0.0015	1	P1918	0.0028	2	P2221	0.0022	1	P2524	0.0016	1
P1616	0.0020	1	P1919	0.0017	1	P2222	0.0025	2	P2525	0.0015	1
P1617	0.0028	2	P1920	0.0038	3	P2223	0.0035	3	P2526	0.0015	1
P1618	0.0040	3	P1921	0.0017	1	P2224	0.0017	1	P2527	0.0029	2
P1619	0.0020	1	P1922	0.0036	3	P2225	0.0015	1	P2614	0.0025	2
P1620	0.0029	2	P1923	0.0032	2	P2226	0.0016	1	P2615	0.0013	1
P1621	0.0021	1	P1924	0.0018	1	P2227	0.0034	2	P2616	0.0014	1
P1622	0.0028	2	P1925	0.0016	1	P2314	0.0034	2	P2617	0.0016	1
P1623	0.0030	2	P1926	0.0014	1	P2315	0.0015	1	P2618	0.0030	2
P1624	0.0017	1	P1927	0.0026	2	P2316	0.0016	1	P2619	0.0025	1
P1625	0.0015	1	P2014	0.0024	1	P2317	0.0019	1	P2620	0.0026	2
P1626	0.0014	1	P2015	0.0013	1	P2318	0.0034	2	P2621	0.0021	1
P1627	0.0026	2	P2016	0.0013	1	P2319	0.0025	2	P2622	0.0024	1
P1714	0.0024	1	P2017	0.0018	1	P2320	0.0045	3	P2623	0.0028	2

Model 2 Çevre Perdelerin Hasar Sonuçları												
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
P2624	0.0013	1	P2725	0.0010	1	P2826	0.0008	1	P2927	0.0007	1
P2625	0.0013	1	P2726	0.0010	1	P2827	0.0012	1	P3014	0.0007	1
P2626	0.0013	1	P2727	0.0017	1	P2914	0.0008	1	P3015	0.0012	1
P2627	0.0022	1	P2814	0.0013	1	P2915	0.0008	1	P3016	0.0011	1
P2714	0.0018	1	P2815	0.0008	1	P2916	0.0008	1	P3017	0.0014	1
P2715	0.0011	1	P2816	0.0008	1	P2917	0.0009	1	P3018	0.0008	1
P2716	0.0011	1	P2817	0.0010	1	P2918	0.0008	1	P3019	0.0027	2
P2717	0.0013	1	P2818	0.0013	1	P2919	0.0014	1	P3020	0.0042	3
P2718	0.0020	1	P2819	0.0014	1	P2920	0.0018	1	P3021	0.0037	3
P2719	0.0020	1	P2820	0.0019	1	P2921	0.0014	1	P3022	0.0024	2
P2720	0.0021	1	P2821	0.0015	1	P2922	0.0014	1	P3023	0.0008	1
P2721	0.0017	1	P2822	0.0015	1	P2923	0.0008	1	P3024	0.0013	1
P2722	0.0017	1	P2823	0.0013	1	P2924	0.0008	1	P3025	0.0010	1
P2723	0.0018	1	P2824	0.0008	1	P2925	0.0007	1	P3026	0.0013	1
P2724	0.0010	1	P2825	0.0008	1	P2926	0.0007	1	P3027	0.0008	1

Model 2 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları												
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K101	0.0011	1	K310	0.0017	1	K609	0.0022	1	K908	0.0021	1
K102	0.0012	1	K401	0.0020	1	K610	0.0019	1	K909	0.0022	1
K103	0.0012	1	K402	0.0024	1	K701	0.0018	1	K910	0.0018	1
K104	0.0011	1	K403	0.0023	1	K702	0.0027	2	K1001	0.0015	1
K105	0.0014	1	K404	0.0022	1	K703	0.0022	1	K1002	0.0024	1
K106	0.0012	1	K405	0.0025	1	K704	0.0020	1	K1003	0.0016	1
K107	0.0011	1	K406	0.0025	2	K705	0.0024	1	K1004	0.0016	1
K108	0.0012	1	K407	0.0018	1	K706	0.0025	2	K1005	0.0021	1
K109	0.0011	1	K408	0.0020	1	K707	0.0018	1	K1006	0.0018	1
K110	0.0011	1	K409	0.0020	1	K708	0.0020	1	K1007	0.0018	1
K201	0.0016	1	K410	0.0018	1	K709	0.0021	1	K1008	0.0021	1
K202	0.0017	1	K501	0.0017	1	K710	0.0019	1	K1009	0.0022	1
K203	0.0018	1	K502	0.0026	2	K801	0.0017	1	K1010	0.0018	1
K204	0.0018	1	K503	0.0021	1	K802	0.0027	2	K1101	0.0015	1
K205	0.0019	1	K504	0.0019	1	K803	0.0020	1	K1102	0.0023	1
K206	0.0020	1	K505	0.0025	1	K804	0.0018	1	K1103	0.0015	1
K207	0.0015	1	K506	0.0023	1	K805	0.0024	1	K1104	0.0016	1
K208	0.0016	1	K507	0.0019	1	K806	0.0022	1	K1105	0.0021	1
K209	0.0016	1	K508	0.0020	1	K807	0.0017	1	K1106	0.0017	1
K210	0.0015	1	K509	0.0021	1	K808	0.0020	1	K1107	0.0018	1
K301	0.0020	1	K510	0.0019	1	K809	0.0021	1	K1108	0.0020	1
K302	0.0020	1	K601	0.0017	1	K810	0.0018	1	K1109	0.0021	1
K303	0.0023	1	K602	0.0027	2	K901	0.0015	1	K1110	0.0018	1
K304	0.0022	1	K603	0.0022	1	K902	0.0025	2	K1201	0.0015	1
K305	0.0022	1	K604	0.0020	1	K903	0.0016	1	K1202	0.0022	1
K306	0.0025	2	K605	0.0025	1	K904	0.0016	1	K1203	0.0015	1
K307	0.0017	1	K606	0.0025	2	K905	0.0022	1	K1204	0.0017	1
K308	0.0018	1	K607	0.0019	1	K906	0.0018	1	K1205	0.0021	1
K309	0.0018	1	K608	0.0021	1	K907	0.0018	1	K1206	0.0016	1

Model 2 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları												
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K1207	0.0018	1	K1705	0.0018	1	K2203	0.0008	1	K2701	0.0007	1
K1208	0.0021	1	K1706	0.0011	1	K2204	0.0009	1	K2702	0.0012	1
K1209	0.0022	1	K1707	0.0020	1	K2205	0.0016	1	K2703	0.0006	1
K1210	0.0019	1	K1708	0.0025	1	K2206	0.0009	1	K2704	0.0007	1
K1301	0.0015	1	K1709	0.0026	2	K2207	0.0017	1	K2705	0.0013	1
K1302	0.0021	1	K1710	0.0021	1	K2208	0.0020	1	K2706	0.0006	1
K1303	0.0015	1	K1801	0.0011	1	K2209	0.0020	1	K2707	0.0016	1
K1304	0.0017	1	K1802	0.0019	1	K2210	0.0017	1	K2708	0.0019	1
K1305	0.0020	1	K1803	0.0012	1	K2301	0.0007	1	K2709	0.0018	1
K1306	0.0016	1	K1804	0.0011	1	K2302	0.0014	1	K2710	0.0015	1
K1307	0.0018	1	K1805	0.0018	1	K2303	0.0006	1	K2801	0.0006	1
K1308	0.0021	1	K1806	0.0012	1	K2304	0.0007	1	K2802	0.0011	1
K1309	0.0022	1	K1807	0.0020	1	K2305	0.0014	1	K2803	0.0006	1
K1310	0.0020	1	K1808	0.0024	1	K2306	0.0006	1	K2804	0.0006	1
K1401	0.0014	1	K1809	0.0025	1	K2307	0.0017	1	K2805	0.0012	1
K1402	0.0021	1	K1810	0.0020	1	K2308	0.0019	1	K2806	0.0006	1
K1403	0.0012	1	K1901	0.0011	1	K2309	0.0019	1	K2807	0.0014	1
K1404	0.0015	1	K1902	0.0018	1	K2310	0.0016	1	K2808	0.0017	1
K1405	0.0020	1	K1903	0.0012	1	K2401	0.0007	1	K2809	0.0016	1
K1406	0.0013	1	K1904	0.0011	1	K2402	0.0013	1	K2810	0.0014	1
K1407	0.0018	1	K1905	0.0017	1	K2403	0.0006	1	K2901	0.0004	1
K1408	0.0021	1	K1906	0.0012	1	K2404	0.0007	1	K2902	0.0010	1
K1409	0.0022	1	K1907	0.0019	1	K2405	0.0013	1	K2903	0.0005	1
K1410	0.0019	1	K1908	0.0023	1	K2406	0.0006	1	K2904	0.0004	1
K1501	0.0012	1	K1909	0.0024	1	K2407	0.0016	1	K2905	0.0011	1
K1502	0.0021	1	K1910	0.0019	1	K2408	0.0019	1	K2906	0.0005	1
K1503	0.0011	1	K2001	0.0011	1	K2409	0.0019	1	K2907	0.0013	1
K1504	0.0012	1	K2002	0.0018	1	K2410	0.0016	1	K2908	0.0016	1
K1505	0.0020	1	K2003	0.0012	1	K2501	0.0007	1	K2909	0.0015	1
K1506	0.0011	1	K2004	0.0011	1	K2502	0.0012	1	K2910	0.0013	1
K1507	0.0019	1	K2005	0.0017	1	K2503	0.0006	1	K3001	0.0004	1
K1508	0.0024	1	K2006	0.0012	1	K2504	0.0007	1	K3002	0.0010	1
K1509	0.0026	2	K2007	0.0019	1	K2505	0.0013	1	K3003	0.0004	1
K1510	0.0021	1	K2008	0.0022	1	K2506	0.0006	1	K3004	0.0004	1
K1601	0.0011	1	K2009	0.0022	1	K2507	0.0016	1	K3005	0.0010	1
K1602	0.0020	1	K2010	0.0018	1	K2508	0.0019	1	K3006	0.0004	1
K1603	0.0011	1	K2101	0.0010	1	K2509	0.0019	1	K3007	0.0010	1
K1604	0.0011	1	K2102	0.0018	1	K2510	0.0015	1	K3008	0.0012	1
K1605	0.0019	1	K2103	0.0011	1	K2601	0.0007	1	K3009	0.0012	1
K1606	0.0011	1	K2104	0.0011	1	K2602	0.0012	1	K3010	0.0010	1
K1607	0.0019	1	K2105	0.0017	1	K2603	0.0006	1	K3101	0.0002	1
K1608	0.0025	1	K2106	0.0011	1	K2604	0.0007	1	K3102	0.0005	1
K1609	0.0027	2	K2107	0.0018	1	K2605	0.0013	1	K3103	0.0002	1
K1610	0.0021	1	K2108	0.0021	1	K2606	0.0006	1	K3104	0.0002	1
K1701	0.0011	1	K2109	0.0022	1	K2607	0.0016	1	K3105	0.0005	1
K1702	0.0020	1	K2110	0.0018	1	K2608	0.0019	1	K3106	0.0002	1
K1703	0.0011	1	K2201	0.0008	1	K2609	0.0019	1	K3107	0.0019	1
K1704	0.0011	1	K2202	0.0016	1	K2610	0.0015	1	K3108	0.0010	1

EK-E

MODEL 3 HASAR SONUÇLARI

Çizelge E.1 Model 3 taşıyıcı sistem elemanlarının hasar oranları

Hasar Düzeyleri	Eleman Türleri							
	Kolonlar		Perdeler		Kirişler		Hasarlı Eleman	
	Sayısı	Yüzdesi	Sayısı	Yüzdesi	Sayısı	Yüzdesi	Sayısı	Yüzdesi
Kesintisiz Kullanım (1)	128	%23.7	242	%60.0	1072	%93.2	1442	%68.9
Hemen Kullanım (2)	66	%12.2	105	%26.1	63	%5.5	234	%11.2
Can Güvenliği (3)	332	%61.5	49	%12.2	15	%1.3	396	%18.9
Göçme Önlenmesi (4)	14	%2.6	7	%1.7	0	%0	21	%1.0
Göçme Durumu (5)	0	%0	0	%0	0	%0	0	%0
Toplam Eleman Sayısı	540	%100	403	%100	1150	%100	2093	%100

Çizelge E.2 Model 3 taşıyıcı sistem elemanlarının maksimum birim şekil değiştirmeleri ve hasar seviyeleri

Model 3 Çekirdek Perdelerinin Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
P101	0.0149	4	P112	0.0098	3	P210	0.0026	2	P308	0.0040	3
P102	0.0148	4	P113	0.0149	4	P211	0.0036	3	P309	0.0026	2
P103	0.0149	4	P201	0.0067	3	P212	0.0067	3	P310	0.0014	1
P104	0.0142	4	P202	0.0087	3	P213	0.0032	2	P311	0.0018	1
P105	0.0088	4	P203	0.0054	3	P301	0.0030	2	P312	0.0035	3
P106	0.0068	3	P204	0.0067	3	P302	0.0036	3	P313	0.0016	1
P107	0.0089	3	P205	0.0057	3	P303	0.0024	1	P401	0.0024	1
P108	0.0102	4	P206	0.0034	2	P304	0.0028	2	P402	0.0028	2
P109	0.0086	3	P207	0.0041	3	P305	0.0032	2	P403	0.0019	1
P110	0.0063	3	P208	0.0075	3	P306	0.0018	1	P404	0.0022	1
P111	0.0070	3	P209	0.0051	3	P307	0.0019	1			

Model 3 Çekirdek Perdelerinin Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
P405	0.0027	2	P711	0.0012	1	P1104	0.0026	2	P1410	0.0020	1
P406	0.0016	1	P712	0.0023	1	P1105	0.0028	2	P1411	0.0019	1
P407	0.0017	1	P713	0.0012	1	P1106	0.0018	1	P1412	0.0030	2
P408	0.0029	2	P801	0.0021	1	P1107	0.0025	1	P1413	0.0018	1
P409	0.0021	1	P802	0.0025	2	P1108	0.0041	3	P1501	0.0027	2
P410	0.0013	1	P803	0.0019	1	P1109	0.0027	2	P1502	0.0035	3
P411	0.0015	1	P804	0.0021	1	P1110	0.0017	1	P1503	0.0030	2
P412	0.0027	2	P805	0.0025	1	P1111	0.0016	1	P1504	0.0026	2
P413	0.0012	1	P806	0.0014	1	P1112	0.0030	2	P1505	0.0027	2
P501	0.0036	3	P807	0.0019	1	P1113	0.0016	1	P1506	0.0017	1
P502	0.0046	3	P808	0.0032	2	P1201	0.0032	2	P1507	0.0021	1
P503	0.0026	2	P809	0.0020	1	P1202	0.0047	3	P1508	0.0037	3
P504	0.0030	2	P810	0.0012	1	P1203	0.0036	3	P1509	0.0032	2
P505	0.0036	3	P811	0.0012	1	P1204	0.0030	2	P1510	0.0018	1
P506	0.0023	1	P812	0.0021	1	P1205	0.0032	2	P1511	0.0017	1
P507	0.0025	1	P813	0.0012	1	P1206	0.0020	1	P1512	0.0027	2
P508	0.0039	3	P901	0.0031	2	P1207	0.0028	2	P1513	0.0017	1
P509	0.0027	2	P902	0.0044	3	P1208	0.0043	3	P1601	0.0032	2
P510	0.0017	1	P903	0.0026	2	P1209	0.0033	2	P1602	0.0042	3
P511	0.0019	1	P904	0.0032	2	P1210	0.0020	1	P1603	0.0037	3
P512	0.0031	2	P905	0.0030	2	P1211	0.0018	1	P1604	0.0034	2
P513	0.0014	1	P906	0.0019	1	P1212	0.0030	2	P1605	0.0031	2
P601	0.0031	2	P907	0.0028	2	P1213	0.0018	1	P1606	0.0018	1
P602	0.0037	3	P908	0.0048	3	P1301	0.0025	1	P1607	0.0023	1
P603	0.0023	1	P909	0.0027	2	P1302	0.0035	3	P1608	0.0040	3
P604	0.0026	2	P910	0.0015	1	P1303	0.0030	2	P1609	0.0036	3
P605	0.0035	3	P911	0.0017	1	P1304	0.0025	2	P1610	0.0019	1
P606	0.0021	1	P912	0.0032	2	P1305	0.0027	2	P1611	0.0020	1
P607	0.0022	1	P913	0.0019	1	P1306	0.0017	1	P1612	0.0032	2
P608	0.0038	3	P1001	0.0035	2	P1307	0.0023	1	P1613	0.0018	1
P609	0.0027	2	P1002	0.0043	3	P1308	0.0039	3	P1701	0.0025	2
P610	0.0015	1	P1003	0.0031	2	P1309	0.0029	2	P1702	0.0028	2
P611	0.0017	1	P1004	0.0032	2	P1310	0.0018	1	P1703	0.0028	2
P612	0.0030	2	P1005	0.0034	2	P1311	0.0017	1	P1704	0.0025	1
P613	0.0013	1	P1006	0.0021	1	P1312	0.0028	2	P1705	0.0024	1
P701	0.0021	1	P1007	0.0030	2	P1313	0.0017	1	P1706	0.0015	1
P702	0.0026	2	P1008	0.0045	3	P1401	0.0032	2	P1707	0.0017	1
P703	0.0018	1	P1009	0.0029	2	P1402	0.0047	3	P1708	0.0031	2
P704	0.0020	1	P1010	0.0018	1	P1403	0.0039	3	P1709	0.0029	2
P705	0.0027	2	P1011	0.0016	1	P1404	0.0031	2	P1710	0.0016	1
P706	0.0015	1	P1012	0.0033	2	P1405	0.0032	2	P1711	0.0017	1
P707	0.0017	1	P1013	0.0018	1	P1406	0.0020	1	P1712	0.0028	2
P708	0.0031	2	P1101	0.0026	2	P1407	0.0027	2	P1713	0.0016	1
P709	0.0022	1	P1102	0.0036	3	P1408	0.0043	3	P1801	0.0032	2
P710	0.0011	1	P1103	0.0026	2	P1409	0.0037	3	P1802	0.0033	2

Model 3 Çekirdek Perdelerinin Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
P1803	0.0038	3	P2109	0.0027	2	P2502	0.0017	1	P2808	0.0010	1
P1804	0.0033	2	P2110	0.0016	1	P2503	0.0018	1	P2809	0.0010	1
P1805	0.0029	2	P2111	0.0013	1	P2504	0.0018	1	P2810	0.0007	1
P1806	0.0018	1	P2112	0.0022	1	P2505	0.0016	1	P2811	0.0007	1
P1807	0.0019	1	P2113	0.0016	1	P2506	0.0010	1	P2812	0.0010	1
P1808	0.0034	2	P2201	0.0028	2	P2507	0.0011	1	P2813	0.0007	1
P1809	0.0035	3	P2202	0.0025	1	P2508	0.0017	1	P2901	0.0007	1
P1810	0.0019	1	P2203	0.0029	2	P2509	0.0018	1	P2902	0.0007	1
P1811	0.0019	1	P2204	0.0025	1	P2510	0.0011	1	P2903	0.0007	1
P1812	0.0032	2	P2205	0.0024	1	P2511	0.0011	1	P2904	0.0007	1
P1813	0.0017	1	P2206	0.0014	1	P2512	0.0017	1	P2905	0.0008	1
P1901	0.0025	2	P2207	0.0014	1	P2513	0.0012	1	P2906	0.0005	1
P1902	0.0025	1	P2208	0.0024	1	P2601	0.0015	1	P2907	0.0005	1
P1903	0.0028	2	P2209	0.0030	2	P2602	0.0016	1	P2908	0.0008	1
P1904	0.0025	1	P2210	0.0018	1	P2603	0.0016	1	P2909	0.0008	1
P1905	0.0023	1	P2211	0.0014	1	P2604	0.0016	1	P2910	0.0006	1
P1906	0.0014	1	P2212	0.0023	1	P2605	0.0015	1	P2911	0.0006	1
P1907	0.0015	1	P2213	0.0016	1	P2606	0.0009	1	P2912	0.0008	1
P1908	0.0026	2	P2301	0.0028	2	P2607	0.0010	1	P2913	0.0006	1
P1909	0.0029	2	P2302	0.0025	1	P2608	0.0016	1	P3001	0.0004	1
P1910	0.0016	1	P2303	0.0028	2	P2609	0.0016	1	P3002	0.0004	1
P1911	0.0015	1	P2304	0.0025	1	P2610	0.0010	1	P3003	0.0004	1
P1912	0.0027	2	P2305	0.0023	1	P2611	0.0010	1	P3004	0.0004	1
P1913	0.0015	1	P2306	0.0013	1	P2612	0.0016	1	P3005	0.0005	1
P2001	0.0031	2	P2307	0.0014	1	P2613	0.0010	1	P3006	0.0002	1
P2002	0.0029	2	P2308	0.0024	1	P2701	0.0010	1	P3007	0.0003	1
P2003	0.0035	2	P2309	0.0028	2	P2702	0.0011	1	P3008	0.0005	1
P2004	0.0028	2	P2310	0.0016	1	P2703	0.0011	1	P3009	0.0005	1
P2005	0.0026	2	P2311	0.0014	1	P2704	0.0011	1	P3010	0.0003	1
P2006	0.0016	1	P2312	0.0022	1	P2705	0.0012	1	P3011	0.0003	1
P2007	0.0016	1	P2313	0.0017	1	P2706	0.0007	1	P3012	0.0005	1
P2008	0.0028	2	P2401	0.0025	2	P2707	0.0008	1	P3013	0.0005	1
P2009	0.0035	2	P2402	0.0023	1	P2708	0.0012	1	P3101	0.0004	1
P2010	0.0019	1	P2403	0.0025	1	P2709	0.0012	1	P3102	0.0005	1
P2011	0.0016	1	P2404	0.0024	1	P2710	0.0008	1	P3103	0.0004	1
P2012	0.0028	2	P2405	0.0020	1	P2711	0.0008	1	P3104	0.0004	1
P2013	0.0016	1	P2406	0.0012	1	P2712	0.0012	1	P3105	0.0006	1
P2101	0.0025	2	P2407	0.0014	1	P2713	0.0006	1	P3106	0.0003	1
P2102	0.0022	1	P2408	0.0022	1	P2801	0.0009	1	P3107	0.0003	1
P2103	0.0026	2	P2409	0.0024	1	P2802	0.0008	1	P3108	0.0006	1
P2104	0.0022	1	P2410	0.0015	1	P2803	0.0009	1	P3109	0.0006	1
P2105	0.0022	1	P2411	0.0014	1	P2804	0.0009	1	P3110	0.0005	1
P2106	0.0013	1	P2412	0.0021	1	P2805	0.0010	1	P3111	0.0005	1
P2107	0.0013	1	P2413	0.0015	1	P2806	0.0007	1	P3112	0.0006	1
P2108	0.0022	1	P2501	0.0018	1	P2807	0.0007	1	P3113	0.0005	1

Model 3 Kolon Elemanların Hasar Sonuçları												
Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.
	Donatı	Beton			Donatı	Beton			Donatı	Beton	
S101	0.0105	0.0105	4	S310	0.0046	0.0044	3	S601	0.0064	0.0062	3
S102	0.0073	0.0071	3	S311	0.0063	0.0060	3	S602	0.0049	0.0047	3
S103	0.0061	0.0059	3	S312	0.0067	0.0066	3	S603	0.0032	0.0031	2
S104	0.0078	0.0075	3	S313	0.0087	0.0085	3	S604	0.0058	0.0056	3
S105	0.0126	0.0125	4	S314	0.0072	0.0069	3	S605	0.0079	0.0076	3
S106	0.0086	0.0085	3	S315	0.0045	0.0043	3	S606	0.0038	0.0036	3
S107	0.0105	0.0104	4	S316	0.0043	0.0042	3	S607	0.0043	0.0041	3
S108	0.0064	0.0062	3	S317	0.0061	0.0058	3	S608	0.0049	0.0047	3
S109	0.0077	0.0074	3	S318	0.0082	0.0079	3	S609	0.0059	0.0056	3
S110	0.0061	0.0059	3	S401	0.0075	0.0073	3	S610	0.0043	0.0041	3
S111	0.0070	0.0067	3	S402	0.0058	0.0056	3	S611	0.0041	0.0039	3
S112	0.0068	0.0067	3	S403	0.0049	0.0047	3	S612	0.0031	0.0029	2
S113	0.0086	0.0086	3	S404	0.0065	0.0063	3	S613	0.0036	0.0034	2
S114	0.0087	0.0086	3	S405	0.0093	0.0091	3	S614	0.0055	0.0053	3
S115	0.0057	0.0055	3	S406	0.0049	0.0047	3	S615	0.0040	0.0039	3
S116	0.0047	0.0046	3	S407	0.0050	0.0048	3	S616	0.0022	0.0021	1
S117	0.0062	0.0060	3	S408	0.0044	0.0042	3	S617	0.0041	0.0039	3
S118	0.0116	0.0115	4	S409	0.0057	0.0055	3	S618	0.0061	0.0058	3
S201	0.0131	0.0129	4	S410	0.0036	0.0034	2	S701	0.0068	0.0065	3
S202	0.0084	0.0082	3	S411	0.0048	0.0046	3	S702	0.0040	0.0039	3
S203	0.0064	0.0062	3	S412	0.0039	0.0037	3	S703	0.0064	0.0063	3
S204	0.0096	0.0092	3	S413	0.0047	0.0045	3	S704	0.0053	0.0051	3
S205	0.0141	0.0140	4	S414	0.0058	0.0056	3	S705	0.0087	0.0085	3
S206	0.0075	0.0072	3	S415	0.0042	0.0040	3	S706	0.0069	0.0068	3
S207	0.0082	0.0079	3	S416	0.0033	0.0032	2	S707	0.0090	0.0089	3
S208	0.0071	0.0068	3	S417	0.0051	0.0050	3	S708	0.0046	0.0044	3
S209	0.0087	0.0083	3	S418	0.0073	0.0072	3	S709	0.0056	0.0054	3
S210	0.0057	0.0055	3	S501	0.0057	0.0055	3	S710	0.0037	0.0036	3
S211	0.0075	0.0072	3	S502	0.0039	0.0038	3	S711	0.0041	0.0039	3
S212	0.0067	0.0064	3	S503	0.0047	0.0046	3	S712	0.0059	0.0058	3
S213	0.0076	0.0073	3	S504	0.0042	0.0040	3	S713	0.0060	0.0059	3
S214	0.0115	0.0113	4	S505	0.0071	0.0070	3	S714	0.0058	0.0055	3
S215	0.0061	0.0059	3	S506	0.0054	0.0053	3	S715	0.0035	0.0034	2
S216	0.0049	0.0047	3	S507	0.0068	0.0067	3	S716	0.0044	0.0044	3
S217	0.0079	0.0076	3	S508	0.0033	0.0031	2	S717	0.0038	0.0037	3
S218	0.0152	0.0149	4	S509	0.0046	0.0044	3	S718	0.0062	0.0059	3
S301	0.0090	0.0087	3	S510	0.0027	0.0026	2	S801	0.0066	0.0065	3
S302	0.0061	0.0058	3	S511	0.0037	0.0035	3	S802	0.0055	0.0054	3
S303	0.0065	0.0063	3	S512	0.0041	0.0040	3	S803	0.0034	0.0034	2
S304	0.0078	0.0074	3	S513	0.0049	0.0048	3	S804	0.0066	0.0064	3
S305	0.0096	0.0096	3	S514	0.0049	0.0047	3	S805	0.0086	0.0084	3
S306	0.0092	0.0091	3	S515	0.0024	0.0023	1	S806	0.0038	0.0037	3
S307	0.0109	0.0108	4	S516	0.0031	0.0030	2	S807	0.0057	0.0054	3
S308	0.0057	0.0054	3	S517	0.0027	0.0026	2	S808	0.0043	0.0042	3
S309	0.0080	0.0076	3	S518	0.0053	0.0051	3	S809	0.0065	0.0063	3

Model 3 Kolon Elemanların Hasar Sonuçları												
Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.
	Donatı	Beton			Donatı	Beton			Donatı	Beton	
S810	0.0041	0.0040	3	S1101	0.0070	0.0069	3	S1310	0.0039	0.0039	3
S811	0.0042	0.0041	3	S1102	0.0039	0.0038	3	S1311	0.0044	0.0043	3
S812	0.0032	0.0031	2	S1103	0.0064	0.0064	3	S1312	0.0079	0.0078	3
S813	0.0034	0.0033	2	S1104	0.0054	0.0053	3	S1313	0.0066	0.0065	3
S814	0.0059	0.0058	3	S1105	0.0095	0.0094	3	S1314	0.0075	0.0074	3
S815	0.0043	0.0042	3	S1106	0.0073	0.0072	3	S1315	0.0039	0.0037	3
S816	0.0028	0.0027	2	S1107	0.0095	0.0094	3	S1316	0.0050	0.0049	3
S817	0.0047	0.0045	3	S1108	0.0034	0.0033	2	S1317	0.0043	0.0042	3
S818	0.0059	0.0057	3	S1109	0.0055	0.0054	3	S1318	0.0069	0.0068	3
S901	0.0071	0.0070	3	S1110	0.0040	0.0040	3	S1401	0.0086	0.0082	3
S902	0.0038	0.0037	3	S1111	0.0045	0.0044	3	S1402	0.0064	0.0063	3
S903	0.0059	0.0058	3	S1112	0.0083	0.0082	3	S1403	0.0024	0.0024	1
S904	0.0054	0.0052	3	S1113	0.0058	0.0057	3	S1404	0.0076	0.0075	3
S905	0.0091	0.0090	3	S1114	0.0079	0.0078	3	S1405	0.0106	0.0102	4
S906	0.0067	0.0066	3	S1115	0.0038	0.0037	3	S1406	0.0035	0.0033	2
S907	0.0083	0.0082	3	S1116	0.0049	0.0048	3	S1407	0.0045	0.0042	3
S908	0.0034	0.0033	2	S1117	0.0038	0.0037	3	S1408	0.0053	0.0052	3
S909	0.0052	0.0051	3	S1118	0.0066	0.0065	3	S1409	0.0079	0.0076	3
S910	0.0039	0.0038	3	S1201	0.0074	0.0073	3	S1410	0.0061	0.0059	3
S911	0.0044	0.0042	3	S1202	0.0064	0.0063	3	S1411	0.0056	0.0055	3
S912	0.0065	0.0064	3	S1203	0.0036	0.0036	3	S1412	0.0040	0.0037	3
S913	0.0057	0.0056	3	S1204	0.0074	0.0073	3	S1413	0.0037	0.0035	2
S914	0.0064	0.0063	3	S1205	0.0094	0.0092	3	S1414	0.0091	0.0087	3
S915	0.0038	0.0036	3	S1206	0.0037	0.0036	3	S1415	0.0062	0.0060	3
S916	0.0040	0.0039	3	S1207	0.0057	0.0055	3	S1416	0.0020	0.0020	1
S917	0.0036	0.0035	2	S1208	0.0043	0.0042	3	S1417	0.0073	0.0072	3
S918	0.0059	0.0058	3	S1209	0.0077	0.0075	3	S1418	0.0091	0.0087	3
S1001	0.0074	0.0072	3	S1210	0.0053	0.0052	3	S1501	0.0085	0.0084	3
S1002	0.0061	0.0061	3	S1211	0.0048	0.0048	3	S1502	0.0048	0.0047	3
S1003	0.0035	0.0035	2	S1212	0.0041	0.0039	3	S1503	0.0100	0.0100	3
S1004	0.0070	0.0069	3	S1213	0.0037	0.0036	3	S1504	0.0058	0.0057	3
S1005	0.0093	0.0091	3	S1214	0.0081	0.0079	3	S1505	0.0106	0.0101	4
S1006	0.0038	0.0036	3	S1215	0.0056	0.0055	3	S1506	0.0097	0.0096	3
S1007	0.0060	0.0058	3	S1216	0.0028	0.0028	2	S1507	0.0116	0.0116	4
S1008	0.0044	0.0043	3	S1217	0.0067	0.0066	3	S1508	0.0048	0.0047	3
S1009	0.0073	0.0071	3	S1218	0.0072	0.0070	3	S1509	0.0064	0.0063	3
S1010	0.0048	0.0047	3	S1301	0.0061	0.0060	3	S1510	0.0050	0.0050	3
S1011	0.0048	0.0047	3	S1302	0.0041	0.0040	3	S1511	0.0051	0.0051	3
S1012	0.0038	0.0037	3	S1303	0.0062	0.0061	3	S1512	0.0109	0.0108	4
S1013	0.0035	0.0034	2	S1304	0.0053	0.0052	3	S1513	0.0107	0.0106	4
S1014	0.0076	0.0074	3	S1305	0.0093	0.0092	3	S1514	0.0088	0.0085	3
S1015	0.0048	0.0047	3	S1306	0.0067	0.0066	3	S1515	0.0048	0.0047	3
S1016	0.0029	0.0028	2	S1307	0.0094	0.0092	3	S1516	0.0091	0.0090	3
S1017	0.0056	0.0055	3	S1308	0.0035	0.0035	2	S1517	0.0051	0.0050	3
S1018	0.0067	0.0065	3	S1309	0.0058	0.0057	3	S1518	0.0095	0.0093	3

Model 3 Kolon Elemanların Hasar Sonuçları												
Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.
	Donatı	Beton			Donatı	Beton			Donatı	Beton	
S1601	0.0079	0.0077	3	S1810	0.0057	0.0056	3	S2101	0.0046	0.0044	3
S1602	0.0071	0.0070	3	S1811	0.0042	0.0042	3	S2102	0.0025	0.0024	1
S1603	0.0045	0.0044	3	S1812	0.0039	0.0038	3	S2103	0.0026	0.0026	2
S1604	0.0077	0.0076	3	S1813	0.0040	0.0039	3	S2104	0.0028	0.0027	2
S1605	0.0089	0.0087	3	S1814	0.0086	0.0084	3	S2105	0.0054	0.0053	3
S1606	0.0037	0.0035	2	S1815	0.0071	0.0070	3	S2106	0.0054	0.0053	3
S1607	0.0049	0.0047	3	S1816	0.0036	0.0035	3	S2107	0.0050	0.0049	3
S1608	0.0051	0.0050	3	S1817	0.0064	0.0062	3	S2108	0.0030	0.0029	2
S1609	0.0062	0.0061	3	S1818	0.0079	0.0077	3	S2109	0.0024	0.0024	1
S1610	0.0062	0.0061	3	S1901	0.0057	0.0055	3	S2110	0.0033	0.0032	2
S1611	0.0053	0.0052	3	S1902	0.0031	0.0031	2	S2111	0.0027	0.0026	2
S1612	0.0042	0.0040	3	S1903	0.0045	0.0044	3	S2112	0.0067	0.0066	3
S1613	0.0043	0.0041	3	S1904	0.0036	0.0035	3	S2113	0.0047	0.0046	3
S1614	0.0089	0.0087	3	S1905	0.0070	0.0069	3	S2114	0.0062	0.0061	3
S1615	0.0074	0.0073	3	S1906	0.0068	0.0068	3	S2115	0.0033	0.0033	2
S1616	0.0037	0.0037	3	S1907	0.0073	0.0072	3	S2116	0.0041	0.0040	3
S1617	0.0078	0.0077	3	S1908	0.0039	0.0038	3	S2117	0.0027	0.0026	2
S1618	0.0093	0.0090	3	S1909	0.0036	0.0035	2	S2118	0.0048	0.0047	3
S1701	0.0073	0.0072	3	S1910	0.0041	0.0041	3	S2201	0.0055	0.0052	3
S1702	0.0040	0.0039	3	S1911	0.0034	0.0034	2	S2202	0.0035	0.0034	2
S1703	0.0063	0.0062	3	S1912	0.0081	0.0080	3	S2203	0.0018	0.0018	1
S1704	0.0047	0.0047	3	S1913	0.0071	0.0071	3	S2204	0.0039	0.0038	3
S1705	0.0086	0.0085	3	S1914	0.0080	0.0079	3	S2205	0.0054	0.0051	3
S1706	0.0078	0.0078	3	S1915	0.0040	0.0040	3	S2206	0.0024	0.0023	1
S1707	0.0090	0.0089	3	S1916	0.0055	0.0055	3	S2207	0.0026	0.0024	1
S1708	0.0039	0.0039	3	S1917	0.0036	0.0036	3	S2208	0.0029	0.0028	2
S1709	0.0045	0.0044	3	S1918	0.0065	0.0064	3	S2209	0.0031	0.0029	2
S1710	0.0044	0.0043	3	S2001	0.0059	0.0057	3	S2210	0.0036	0.0035	2
S1711	0.0042	0.0042	3	S2002	0.0038	0.0038	3	S2211	0.0028	0.0027	2
S1712	0.0095	0.0094	3	S2003	0.0026	0.0025	2	S2212	0.0030	0.0027	2
S1713	0.0092	0.0092	3	S2004	0.0045	0.0044	3	S2213	0.0027	0.0025	2
S1714	0.0082	0.0081	3	S2005	0.0063	0.0061	3	S2214	0.0069	0.0066	3
S1715	0.0043	0.0041	3	S2006	0.0030	0.0029	2	S2215	0.0044	0.0043	3
S1716	0.0063	0.0062	3	S2007	0.0032	0.0031	2	S2216	0.0022	0.0021	1
S1717	0.0043	0.0043	3	S2008	0.0038	0.0037	3	S2217	0.0038	0.0037	3
S1718	0.0086	0.0085	3	S2009	0.0031	0.0031	2	S2218	0.0057	0.0054	3
S1801	0.0067	0.0065	3	S2010	0.0045	0.0044	3	S2301	0.0050	0.0048	3
S1802	0.0051	0.0051	3	S2011	0.0035	0.0033	2	S2302	0.0029	0.0027	2
S1803	0.0036	0.0036	3	S2012	0.0036	0.0034	2	S2303	0.0027	0.0026	2
S1804	0.0059	0.0058	3	S2013	0.0032	0.0031	2	S2304	0.0031	0.0030	2
S1805	0.0072	0.0070	3	S2014	0.0079	0.0077	3	S2305	0.0048	0.0047	3
S1806	0.0032	0.0031	2	S2015	0.0059	0.0058	3	S2306	0.0048	0.0047	3
S1807	0.0039	0.0038	3	S2016	0.0031	0.0030	2	S2307	0.0047	0.0046	3
S1808	0.0046	0.0046	3	S2017	0.0048	0.0047	3	S2308	0.0025	0.0025	1
S1809	0.0045	0.0045	3	S2018	0.0062	0.0060	3	S2309	0.0025	0.0024	1

Model 3 Kolon Elemanların Hasar Sonuçları										
Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.	Eleman	Birim Şekil Değ		Hasar Sev.
	Donatı	Beton			Donatı	Beton			Donatı	Beton	
S2310	0.0030	0.0029	2	S2601	0.0021	0.0020	1	S2810	0.0010	0.0010	1
S2311	0.0024	0.0023	1	S2602	0.0018	0.0017	1	S2811	0.0010	0.0010	1
S2312	0.0059	0.0058	3	S2603	0.0013	0.0012	1	S2812	0.0010	0.0009	1
S2313	0.0049	0.0048	3	S2604	0.0019	0.0018	1	S2813	0.0011	0.0010	1
S2314	0.0055	0.0053	3	S2605	0.0022	0.0021	1	S2814	0.0011	0.0010	1
S2315	0.0033	0.0032	2	S2606	0.0015	0.0014	1	S2815	0.0013	0.0012	1
S2316	0.0045	0.0044	3	S2607	0.0016	0.0015	1	S2816	0.0010	0.0009	1
S2317	0.0031	0.0030	2	S2608	0.0015	0.0015	1	S2817	0.0013	0.0012	1
S2318	0.0055	0.0052	3	S2609	0.0016	0.0015	1	S2818	0.0012	0.0011	1
S2401	0.0035	0.0034	2	S2610	0.0017	0.0016	1	S2901	0.0008	0.0007	1
S2402	0.0027	0.0026	2	S2611	0.0016	0.0015	1	S2902	0.0008	0.0008	1
S2403	0.0018	0.0017	1	S2612	0.0016	0.0015	1	S2903	0.0008	0.0007	1
S2404	0.0028	0.0027	2	S2613	0.0016	0.0015	1	S2904	0.0009	0.0008	1
S2405	0.0035	0.0034	2	S2614	0.0022	0.0022	1	S2905	0.0008	0.0007	1
S2406	0.0021	0.0020	1	S2615	0.0020	0.0019	1	S2906	0.0009	0.0008	1
S2407	0.0022	0.0021	1	S2616	0.0014	0.0013	1	S2907	0.0009	0.0008	1
S2408	0.0022	0.0022	1	S2617	0.0019	0.0019	1	S2908	0.0007	0.0007	1
S2409	0.0022	0.0021	1	S2618	0.0022	0.0021	1	S2909	0.0007	0.0006	1
S2410	0.0025	0.0025	1	S2701	0.0015	0.0014	1	S2910	0.0007	0.0007	1
S2411	0.0022	0.0021	1	S2702	0.0013	0.0013	1	S2911	0.0007	0.0007	1
S2412	0.0024	0.0023	1	S2703	0.0013	0.0013	1	S2912	0.0009	0.0008	1
S2413	0.0022	0.0021	1	S2704	0.0014	0.0013	1	S2913	0.0009	0.0008	1
S2414	0.0041	0.0040	3	S2705	0.0015	0.0014	1	S2914	0.0008	0.0007	1
S2415	0.0035	0.0034	2	S2706	0.0015	0.0014	1	S2915	0.0009	0.0008	1
S2416	0.0019	0.0019	1	S2707	0.0016	0.0015	1	S2916	0.0008	0.0008	1
S2417	0.0030	0.0029	2	S2708	0.0011	0.0011	1	S2917	0.0009	0.0009	1
S2418	0.0038	0.0037	3	S2709	0.0012	0.0011	1	S2918	0.0008	0.0008	1
S2501	0.0026	0.0024	1	S2710	0.0012	0.0012	1	S3001	0.0006	0.0005	1
S2502	0.0020	0.0019	1	S2711	0.0012	0.0011	1	S3002	0.0006	0.0006	1
S2503	0.0019	0.0018	1	S2712	0.0016	0.0015	1	S3003	0.0006	0.0005	1
S2504	0.0020	0.0019	1	S2713	0.0016	0.0015	1	S3004	0.0006	0.0006	1
S2505	0.0026	0.0025	2	S2714	0.0015	0.0014	1	S3005	0.0006	0.0005	1
S2506	0.0023	0.0022	1	S2715	0.0015	0.0014	1	S3006	0.0006	0.0005	1
S2507	0.0024	0.0023	1	S2716	0.0014	0.0013	1	S3007	0.0005	0.0005	1
S2508	0.0016	0.0015	1	S2717	0.0015	0.0014	1	S3008	0.0006	0.0006	1
S2509	0.0016	0.0016	1	S2718	0.0016	0.0015	1	S3009	0.0007	0.0006	1
S2510	0.0018	0.0018	1	S2801	0.0012	0.0011	1	S3010	0.0006	0.0006	1
S2511	0.0017	0.0016	1	S2802	0.0012	0.0011	1	S3011	0.0006	0.0006	1
S2512	0.0026	0.0025	1	S2803	0.0009	0.0008	1	S3012	0.0005	0.0005	1
S2513	0.0024	0.0023	1	S2804	0.0012	0.0012	1	S3013	0.0006	0.0005	1
S2514	0.0028	0.0027	2	S2805	0.0011	0.0011	1	S3014	0.0006	0.0005	1
S2515	0.0022	0.0021	1	S2806	0.0010	0.0009	1	S3015	0.0007	0.0006	1
S2516	0.0020	0.0020	1	S2807	0.0010	0.0009	1	S3016	0.0006	0.0005	1
S2517	0.0021	0.0020	1	S2808	0.0010	0.0009	1	S3017	0.0007	0.0006	1
S2518	0.0027	0.0026	2	S2809	0.0010	0.0009	1	S3018	0.0006	0.0006	1

Model 3 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları										
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K101	0.0019	1	K208	0.0004	1	K315	0.0025	2	K422	0.0026	2
K102	0.0017	1	K209	0.0009	1	K316	0.0028	2	K423	0.0018	1
K103	0.0017	1	K210	0.0009	1	K317	0.0027	2	K424	0.0026	2
K104	0.0023	1	K211	0.0004	1	K318	0.0024	1	K425	0.0023	1
K105	0.0018	1	K212	0.0009	1	K319	0.0016	1	K426	0.0020	1
K106	0.0017	1	K213	0.0031	2	K320	0.0017	1	K427	0.0037	3
K107	0.0008	1	K214	0.0026	2	K321	0.0032	2	K428	0.0017	1
K108	0.0004	1	K215	0.0026	2	K322	0.0019	1	K429	0.0017	1
K109	0.0008	1	K216	0.0024	1	K323	0.0018	1	K430	0.0034	2
K110	0.0008	1	K217	0.0026	2	K324	0.0021	1	K431	0.0023	1
K111	0.0004	1	K218	0.0024	1	K325	0.0024	1	K432	0.0020	1
K112	0.0008	1	K219	0.0020	1	K326	0.0018	1	K433	0.0023	1
K113	0.0019	1	K220	0.0024	1	K327	0.0038	3	K434	0.0022	1
K114	0.0018	1	K221	0.0016	1	K328	0.0019	1	K435	0.0023	1
K115	0.0023	1	K222	0.0028	2	K329	0.0017	1	K436	0.0016	1
K116	0.0019	1	K223	0.0019	1	K330	0.0035	2	K437	0.0022	1
K117	0.0020	1	K224	0.0022	1	K331	0.0019	1	K438	0.0017	1
K118	0.0024	1	K225	0.0023	1	K332	0.0021	1	K501	0.0024	1
K119	0.0014	1	K226	0.0019	1	K333	0.0018	1	K502	0.0021	1
K120	0.0016	1	K227	0.0037	3	K334	0.0018	1	K503	0.0024	1
K121	0.0024	1	K228	0.0015	1	K335	0.0018	1	K504	0.0022	1
K122	0.0018	1	K229	0.0016	1	K336	0.0029	2	K505	0.0034	2
K123	0.0015	1	K230	0.0035	2	K337	0.0017	1	K506	0.0038	3
K124	0.0014	1	K231	0.0020	1	K338	0.0015	1	K507	0.0007	1
K125	0.0018	1	K232	0.0021	1	K401	0.0019	1	K508	0.0005	1
K126	0.0015	1	K233	0.0019	1	K402	0.0025	1	K509	0.0007	1
K127	0.0028	2	K234	0.0027	2	K403	0.0024	1	K510	0.0007	1
K128	0.0013	1	K235	0.0024	1	K404	0.0020	1	K511	0.0006	1
K129	0.0013	1	K236	0.0016	1	K405	0.0037	3	K512	0.0007	1
K130	0.0026	2	K237	0.0025	1	K406	0.0038	3	K513	0.0036	3
K131	0.0014	1	K238	0.0019	1	K407	0.0008	1	K514	0.0037	3
K132	0.0017	1	K301	0.0024	1	K408	0.0006	1	K515	0.0023	1
K133	0.0014	1	K302	0.0021	1	K409	0.0009	1	K516	0.0028	2
K134	0.0013	1	K303	0.0025	2	K410	0.0008	1	K517	0.0026	2
K135	0.0017	1	K304	0.0025	1	K411	0.0006	1	K518	0.0023	1
K136	0.0022	1	K305	0.0033	2	K412	0.0009	1	K519	0.0016	1
K137	0.0017	1	K306	0.0031	2	K413	0.0038	3	K520	0.0016	1
K138	0.0012	1	K307	0.0009	1	K414	0.0037	3	K521	0.0030	2
K201	0.0021	1	K308	0.0005	1	K415	0.0022	1	K522	0.0017	1
K202	0.0022	1	K309	0.0009	1	K416	0.0027	2	K523	0.0018	1
K203	0.0023	1	K310	0.0009	1	K417	0.0029	2	K524	0.0021	1
K204	0.0023	1	K311	0.0005	1	K418	0.0020	1	K525	0.0021	1
K205	0.0029	2	K312	0.0009	1	K419	0.0020	1	K526	0.0017	1
K206	0.0028	2	K313	0.0034	2	K420	0.0023	1	K527	0.0034	2
K207	0.0009	1	K314	0.0031	2	K421	0.0017	1	K528	0.0020	1

Model 3 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K529	0.0018	1	K636	0.0015	1	K805	0.0028	2	K912	0.0005	1
K530	0.0032	2	K637	0.0021	1	K806	0.0035	3	K913	0.0027	2
K531	0.0020	1	K638	0.0018	1	K807	0.0006	1	K914	0.0026	2
K532	0.0019	1	K701	0.0022	1	K808	0.0005	1	K915	0.0017	1
K533	0.0019	1	K702	0.0017	1	K809	0.0005	1	K916	0.0020	1
K534	0.0017	1	K703	0.0018	1	K810	0.0005	1	K917	0.0019	1
K535	0.0017	1	K704	0.0018	1	K811	0.0006	1	K918	0.0021	1
K536	0.0027	2	K705	0.0026	2	K812	0.0005	1	K919	0.0012	1
K537	0.0015	1	K706	0.0032	2	K813	0.0030	2	K920	0.0012	1
K538	0.0015	1	K707	0.0006	1	K814	0.0032	2	K921	0.0023	1
K601	0.0018	1	K708	0.0005	1	K815	0.0018	1	K922	0.0012	1
K602	0.0022	1	K709	0.0005	1	K816	0.0020	1	K923	0.0013	1
K603	0.0021	1	K710	0.0005	1	K817	0.0023	1	K924	0.0017	1
K604	0.0018	1	K711	0.0006	1	K818	0.0018	1	K925	0.0015	1
K605	0.0040	3	K712	0.0005	1	K819	0.0016	1	K926	0.0015	1
K606	0.0048	3	K713	0.0028	2	K820	0.0017	1	K927	0.0025	2
K607	0.0006	1	K714	0.0030	2	K821	0.0015	1	K928	0.0018	1
K608	0.0005	1	K715	0.0020	1	K822	0.0018	1	K929	0.0016	1
K609	0.0006	1	K716	0.0022	1	K823	0.0014	1	K930	0.0024	1
K610	0.0006	1	K717	0.0020	1	K824	0.0021	1	K931	0.0017	1
K611	0.0006	1	K718	0.0022	1	K825	0.0018	1	K932	0.0015	1
K612	0.0006	1	K719	0.0013	1	K826	0.0019	1	K933	0.0015	1
K613	0.0039	3	K720	0.0013	1	K827	0.0029	2	K934	0.0011	1
K614	0.0042	3	K721	0.0027	2	K828	0.0016	1	K935	0.0012	1
K615	0.0021	1	K722	0.0014	1	K829	0.0014	1	K936	0.0023	1
K616	0.0025	1	K723	0.0014	1	K830	0.0027	2	K937	0.0012	1
K617	0.0028	2	K724	0.0018	1	K831	0.0022	1	K938	0.0011	1
K618	0.0018	1	K725	0.0019	1	K832	0.0017	1	K1001	0.0015	1
K619	0.0019	1	K726	0.0015	1	K833	0.0019	1	K1002	0.0016	1
K620	0.0022	1	K727	0.0031	2	K834	0.0016	1	K1003	0.0015	1
K621	0.0016	1	K728	0.0019	1	K835	0.0018	1	K1004	0.0016	1
K622	0.0023	1	K729	0.0016	1	K836	0.0015	1	K1005	0.0027	2
K623	0.0018	1	K730	0.0029	2	K837	0.0017	1	K1006	0.0028	2
K624	0.0029	2	K731	0.0018	1	K838	0.0015	1	K1007	0.0005	1
K625	0.0020	1	K732	0.0018	1	K901	0.0020	1	K1008	0.0005	1
K626	0.0029	2	K733	0.0016	1	K902	0.0015	1	K1009	0.0004	1
K627	0.0033	2	K734	0.0013	1	K903	0.0016	1	K1010	0.0004	1
K628	0.0018	1	K735	0.0014	1	K904	0.0017	1	K1011	0.0006	1
K629	0.0016	1	K736	0.0026	2	K905	0.0025	2	K1012	0.0005	1
K630	0.0030	2	K737	0.0013	1	K906	0.0026	2	K1013	0.0027	2
K631	0.0030	2	K738	0.0012	1	K907	0.0005	1	K1014	0.0026	2
K632	0.0019	1	K801	0.0017	1	K908	0.0005	1	K1015	0.0016	1
K633	0.0030	2	K802	0.0018	1	K909	0.0005	1	K1016	0.0018	1
K634	0.0020	1	K803	0.0017	1	K910	0.0004	1	K1017	0.0021	1
K635	0.0022	1	K804	0.0016	1	K911	0.0006	1	K1018	0.0017	1

Model 3 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K1019	0.0014	1	K1126	0.0014	1	K1233	0.0015	1	K1402	0.0013	1
K1020	0.0015	1	K1127	0.0020	1	K1234	0.0012	1	K1403	0.0012	1
K1021	0.0014	1	K1128	0.0016	1	K1235	0.0013	1	K1404	0.0019	1
K1022	0.0015	1	K1129	0.0015	1	K1236	0.0012	1	K1405	0.0023	1
K1023	0.0012	1	K1130	0.0020	1	K1237	0.0013	1	K1406	0.0021	1
K1024	0.0019	1	K1131	0.0016	1	K1238	0.0012	1	K1407	0.0004	1
K1025	0.0015	1	K1132	0.0013	1	K1301	0.0014	1	K1408	0.0005	1
K1026	0.0018	1	K1133	0.0014	1	K1302	0.0012	1	K1409	0.0004	1
K1027	0.0022	1	K1134	0.0010	1	K1303	0.0013	1	K1410	0.0004	1
K1028	0.0015	1	K1135	0.0010	1	K1304	0.0015	1	K1411	0.0005	1
K1029	0.0014	1	K1136	0.0019	1	K1305	0.0022	1	K1412	0.0004	1
K1030	0.0022	1	K1137	0.0010	1	K1306	0.0021	1	K1413	0.0021	1
K1031	0.0019	1	K1138	0.0011	1	K1307	0.0004	1	K1414	0.0024	1
K1032	0.0014	1	K1201	0.0014	1	K1308	0.0004	1	K1415	0.0020	1
K1033	0.0017	1	K1202	0.0014	1	K1309	0.0004	1	K1416	0.0013	1
K1034	0.0014	1	K1203	0.0013	1	K1310	0.0004	1	K1417	0.0015	1
K1035	0.0016	1	K1204	0.0016	1	K1311	0.0005	1	K1418	0.0017	1
K1036	0.0013	1	K1205	0.0025	1	K1312	0.0004	1	K1419	0.0012	1
K1037	0.0015	1	K1206	0.0024	1	K1313	0.0021	1	K1420	0.0013	1
K1038	0.0013	1	K1207	0.0004	1	K1314	0.0021	1	K1421	0.0012	1
K1101	0.0017	1	K1208	0.0005	1	K1315	0.0014	1	K1422	0.0011	1
K1102	0.0014	1	K1209	0.0004	1	K1316	0.0015	1	K1423	0.0011	1
K1103	0.0014	1	K1210	0.0004	1	K1317	0.0014	1	K1424	0.0018	1
K1104	0.0017	1	K1211	0.0005	1	K1318	0.0016	1	K1425	0.0012	1
K1105	0.0023	1	K1212	0.0004	1	K1319	0.0009	1	K1426	0.0016	1
K1106	0.0023	1	K1213	0.0024	1	K1320	0.0010	1	K1427	0.0018	1
K1107	0.0004	1	K1214	0.0023	1	K1321	0.0017	1	K1428	0.0013	1
K1108	0.0005	1	K1215	0.0015	1	K1322	0.0009	1	K1429	0.0013	1
K1109	0.0004	1	K1216	0.0016	1	K1323	0.0009	1	K1430	0.0018	1
K1110	0.0004	1	K1217	0.0019	1	K1324	0.0014	1	K1431	0.0017	1
K1111	0.0005	1	K1218	0.0016	1	K1325	0.0012	1	K1432	0.0012	1
K1112	0.0005	1	K1219	0.0012	1	K1326	0.0013	1	K1433	0.0015	1
K1113	0.0024	1	K1220	0.0014	1	K1327	0.0019	1	K1434	0.0011	1
K1114	0.0022	1	K1221	0.0012	1	K1328	0.0015	1	K1435	0.0012	1
K1115	0.0016	1	K1222	0.0012	1	K1329	0.0014	1	K1436	0.0011	1
K1116	0.0018	1	K1223	0.0012	1	K1330	0.0018	1	K1437	0.0013	1
K1117	0.0017	1	K1224	0.0017	1	K1331	0.0014	1	K1438	0.0011	1
K1118	0.0019	1	K1225	0.0013	1	K1332	0.0012	1	K1501	0.0011	1
K1119	0.0010	1	K1226	0.0016	1	K1333	0.0013	1	K1502	0.0010	1
K1120	0.0010	1	K1227	0.0019	1	K1334	0.0008	1	K1503	0.0011	1
K1121	0.0019	1	K1228	0.0014	1	K1335	0.0009	1	K1504	0.0012	1
K1122	0.0010	1	K1229	0.0013	1	K1336	0.0017	1	K1505	0.0019	1
K1123	0.0011	1	K1230	0.0019	1	K1337	0.0010	1	K1506	0.0017	1
K1124	0.0015	1	K1231	0.0017	1	K1338	0.0010	1	K1507	0.0004	1
K1125	0.0013	1	K1232	0.0013	1	K1401	0.0018	1	K1508	0.0004	1

Model 3 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K1509	0.0004	1	K1616	0.0011	1	K1723	0.0009	1	K1830	0.0016	1
K1510	0.0004	1	K1617	0.0011	1	K1724	0.0013	1	K1831	0.0014	1
K1511	0.0004	1	K1618	0.0014	1	K1725	0.0010	1	K1832	0.0010	1
K1512	0.0004	1	K1619	0.0010	1	K1726	0.0012	1	K1833	0.0014	1
K1513	0.0019	1	K1620	0.0011	1	K1727	0.0016	1	K1834	0.0011	1
K1514	0.0018	1	K1621	0.0011	1	K1728	0.0013	1	K1835	0.0010	1
K1515	0.0011	1	K1622	0.0010	1	K1729	0.0012	1	K1836	0.0010	1
K1516	0.0011	1	K1623	0.0011	1	K1730	0.0016	1	K1837	0.0010	1
K1517	0.0011	1	K1624	0.0016	1	K1731	0.0013	1	K1838	0.0010	1
K1518	0.0012	1	K1625	0.0011	1	K1732	0.0011	1	K1901	0.0011	1
K1519	0.0008	1	K1626	0.0014	1	K1733	0.0011	1	K1902	0.0009	1
K1520	0.0007	1	K1627	0.0016	1	K1734	0.0008	1	K1903	0.0010	1
K1521	0.0013	1	K1628	0.0012	1	K1735	0.0006	1	K1904	0.0010	1
K1522	0.0006	1	K1629	0.0011	1	K1736	0.0012	1	K1905	0.0017	1
K1523	0.0008	1	K1630	0.0017	1	K1737	0.0007	1	K1906	0.0015	1
K1524	0.0014	1	K1631	0.0015	1	K1738	0.0008	1	K1907	0.0003	1
K1525	0.0011	1	K1632	0.0011	1	K1801	0.0013	1	K1908	0.0004	1
K1526	0.0012	1	K1633	0.0013	1	K1802	0.0011	1	K1909	0.0003	1
K1527	0.0016	1	K1634	0.0012	1	K1803	0.0010	1	K1910	0.0004	1
K1528	0.0014	1	K1635	0.0010	1	K1804	0.0014	1	K1911	0.0004	1
K1529	0.0012	1	K1636	0.0011	1	K1805	0.0018	1	K1912	0.0003	1
K1530	0.0017	1	K1637	0.0011	1	K1806	0.0016	1	K1913	0.0016	1
K1531	0.0013	1	K1638	0.0011	1	K1807	0.0004	1	K1914	0.0015	1
K1532	0.0011	1	K1701	0.0011	1	K1808	0.0004	1	K1915	0.0010	1
K1533	0.0011	1	K1702	0.0009	1	K1809	0.0004	1	K1916	0.0011	1
K1534	0.0008	1	K1703	0.0011	1	K1810	0.0004	1	K1917	0.0009	1
K1535	0.0007	1	K1704	0.0011	1	K1811	0.0004	1	K1918	0.0010	1
K1536	0.0013	1	K1705	0.0018	1	K1812	0.0003	1	K1919	0.0007	1
K1537	0.0007	1	K1706	0.0016	1	K1813	0.0017	1	K1920	0.0007	1
K1538	0.0009	1	K1707	0.0004	1	K1814	0.0016	1	K1921	0.0011	1
K1601	0.0014	1	K1708	0.0004	1	K1815	0.0015	1	K1922	0.0006	1
K1602	0.0012	1	K1709	0.0004	1	K1816	0.0011	1	K1923	0.0009	1
K1603	0.0011	1	K1710	0.0004	1	K1817	0.0010	1	K1924	0.0012	1
K1604	0.0015	1	K1711	0.0004	1	K1818	0.0013	1	K1925	0.0010	1
K1605	0.0019	1	K1712	0.0003	1	K1819	0.0009	1	K1926	0.0012	1
K1606	0.0017	1	K1713	0.0017	1	K1820	0.0011	1	K1927	0.0015	1
K1607	0.0004	1	K1714	0.0017	1	K1821	0.0011	1	K1928	0.0012	1
K1608	0.0004	1	K1715	0.0010	1	K1822	0.0010	1	K1929	0.0012	1
K1609	0.0004	1	K1716	0.0011	1	K1823	0.0010	1	K1930	0.0015	1
K1610	0.0004	1	K1717	0.0010	1	K1824	0.0014	1	K1931	0.0011	1
K1611	0.0004	1	K1718	0.0010	1	K1825	0.0010	1	K1932	0.0009	1
K1612	0.0004	1	K1719	0.0007	1	K1826	0.0014	1	K1933	0.0011	1
K1613	0.0018	1	K1720	0.0007	1	K1827	0.0015	1	K1934	0.0008	1
K1614	0.0019	1	K1721	0.0012	1	K1828	0.0012	1	K1935	0.0006	1
K1615	0.0015	1	K1722	0.0006	1	K1829	0.0011	1	K1936	0.0011	1

Model 3 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K1937	0.0006	1	K2106	0.0016	1	K2213	0.0019	1	K2320	0.0005	1
K1938	0.0008	1	K2107	0.0003	1	K2214	0.0020	1	K2321	0.0010	1
K2001	0.0013	1	K2108	0.0003	1	K2215	0.0014	1	K2322	0.0006	1
K2002	0.0009	1	K2109	0.0003	1	K2216	0.0010	1	K2323	0.0007	1
K2003	0.0010	1	K2110	0.0003	1	K2217	0.0010	1	K2324	0.0012	1
K2004	0.0013	1	K2111	0.0004	1	K2218	0.0015	1	K2325	0.0009	1
K2005	0.0017	1	K2112	0.0003	1	K2219	0.0009	1	K2326	0.0012	1
K2006	0.0017	1	K2113	0.0017	1	K2220	0.0011	1	K2327	0.0015	1
K2007	0.0003	1	K2114	0.0016	1	K2221	0.0009	1	K2328	0.0013	1
K2008	0.0003	1	K2115	0.0010	1	K2222	0.0011	1	K2329	0.0013	1
K2009	0.0003	1	K2116	0.0011	1	K2223	0.0009	1	K2330	0.0016	1
K2010	0.0003	1	K2117	0.0009	1	K2224	0.0017	1	K2331	0.0012	1
K2011	0.0004	1	K2118	0.0010	1	K2225	0.0009	1	K2332	0.0010	1
K2012	0.0003	1	K2119	0.0007	1	K2226	0.0014	1	K2333	0.0012	1
K2013	0.0016	1	K2120	0.0006	1	K2227	0.0014	1	K2334	0.0007	1
K2014	0.0016	1	K2121	0.0011	1	K2228	0.0011	1	K2335	0.0006	1
K2015	0.0014	1	K2122	0.0007	1	K2229	0.0011	1	K2336	0.0010	1
K2016	0.0011	1	K2123	0.0009	1	K2230	0.0015	1	K2337	0.0006	1
K2017	0.0011	1	K2124	0.0011	1	K2231	0.0016	1	K2338	0.0007	1
K2018	0.0013	1	K2125	0.0009	1	K2232	0.0009	1	K2401	0.0009	1
K2019	0.0008	1	K2126	0.0012	1	K2233	0.0015	1	K2402	0.0008	1
K2020	0.0010	1	K2127	0.0015	1	K2234	0.0010	1	K2403	0.0008	1
K2021	0.0010	1	K2128	0.0012	1	K2235	0.0010	1	K2404	0.0009	1
K2022	0.0011	1	K2129	0.0012	1	K2236	0.0009	1	K2405	0.0015	1
K2023	0.0009	1	K2130	0.0014	1	K2237	0.0012	1	K2406	0.0016	1
K2024	0.0013	1	K2131	0.0011	1	K2238	0.0009	1	K2407	0.0003	1
K2025	0.0010	1	K2132	0.0009	1	K2301	0.0009	1	K2408	0.0003	1
K2026	0.0013	1	K2133	0.0011	1	K2302	0.0007	1	K2409	0.0003	1
K2027	0.0015	1	K2134	0.0008	1	K2303	0.0007	1	K2410	0.0003	1
K2028	0.0011	1	K2135	0.0006	1	K2304	0.0009	1	K2411	0.0004	1
K2029	0.0011	1	K2136	0.0011	1	K2305	0.0012	1	K2412	0.0003	1
K2030	0.0014	1	K2137	0.0007	1	K2306	0.0014	1	K2413	0.0015	1
K2031	0.0013	1	K2138	0.0008	1	K2307	0.0003	1	K2414	0.0016	1
K2032	0.0009	1	K2201	0.0014	1	K2308	0.0004	1	K2415	0.0009	1
K2033	0.0013	1	K2202	0.0009	1	K2309	0.0003	1	K2416	0.0008	1
K2034	0.0009	1	K2203	0.0010	1	K2310	0.0003	1	K2417	0.0009	1
K2035	0.0010	1	K2204	0.0015	1	K2311	0.0004	1	K2418	0.0009	1
K2036	0.0009	1	K2205	0.0019	1	K2312	0.0003	1	K2419	0.0007	1
K2037	0.0010	1	K2206	0.0020	1	K2313	0.0012	1	K2420	0.0009	1
K2038	0.0009	1	K2207	0.0003	1	K2314	0.0014	1	K2421	0.0006	1
K2101	0.0011	1	K2208	0.0003	1	K2315	0.0009	1	K2422	0.0010	1
K2102	0.0009	1	K2209	0.0003	1	K2316	0.0007	1	K2423	0.0008	1
K2103	0.0010	1	K2210	0.0003	1	K2317	0.0008	1	K2424	0.0013	1
K2104	0.0010	1	K2211	0.0004	1	K2318	0.0009	1	K2425	0.0009	1
K2105	0.0016	1	K2212	0.0003	1	K2319	0.0006	1	K2426	0.0013	1

Model 3 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K2427	0.0015	1	K2534	0.0007	1	K2703	0.0006	1	K2810	0.0002	1
K2428	0.0012	1	K2535	0.0005	1	K2704	0.0007	1	K2811	0.0003	1
K2429	0.0012	1	K2536	0.0009	1	K2705	0.0013	1	K2812	0.0002	1
K2430	0.0016	1	K2537	0.0005	1	K2706	0.0014	1	K2813	0.0014	1
K2431	0.0013	1	K2538	0.0006	1	K2707	0.0002	1	K2814	0.0014	1
K2432	0.0010	1	K2601	0.0007	1	K2708	0.0003	1	K2815	0.0005	1
K2433	0.0013	1	K2602	0.0007	1	K2709	0.0002	1	K2816	0.0006	1
K2434	0.0008	1	K2603	0.0007	1	K2710	0.0002	1	K2817	0.0006	1
K2435	0.0009	1	K2604	0.0007	1	K2711	0.0003	1	K2818	0.0006	1
K2436	0.0007	1	K2605	0.0015	1	K2712	0.0002	1	K2819	0.0005	1
K2437	0.0010	1	K2606	0.0015	1	K2713	0.0013	1	K2820	0.0005	1
K2438	0.0007	1	K2607	0.0003	1	K2714	0.0014	1	K2821	0.0005	1
K2501	0.0008	1	K2608	0.0003	1	K2715	0.0007	1	K2822	0.0005	1
K2502	0.0007	1	K2609	0.0003	1	K2716	0.0006	1	K2823	0.0006	1
K2503	0.0007	1	K2610	0.0003	1	K2717	0.0006	1	K2824	0.0012	1
K2504	0.0009	1	K2611	0.0003	1	K2718	0.0007	1	K2825	0.0005	1
K2505	0.0013	1	K2612	0.0003	1	K2719	0.0006	1	K2826	0.0012	1
K2506	0.0014	1	K2613	0.0015	1	K2720	0.0004	1	K2827	0.0010	1
K2507	0.0003	1	K2614	0.0015	1	K2721	0.0007	1	K2828	0.0011	1
K2508	0.0003	1	K2615	0.0007	1	K2722	0.0005	1	K2829	0.0011	1
K2509	0.0003	1	K2616	0.0008	1	K2723	0.0006	1	K2830	0.0010	1
K2510	0.0003	1	K2617	0.0007	1	K2724	0.0012	1	K2831	0.0012	1
K2511	0.0003	1	K2618	0.0008	1	K2725	0.0007	1	K2832	0.0006	1
K2512	0.0003	1	K2619	0.0006	1	K2726	0.0012	1	K2833	0.0012	1
K2513	0.0014	1	K2620	0.0008	1	K2727	0.0012	1	K2834	0.0006	1
K2514	0.0014	1	K2621	0.0006	1	K2728	0.0013	1	K2835	0.0005	1
K2515	0.0008	1	K2622	0.0008	1	K2729	0.0012	1	K2836	0.0005	1
K2516	0.0007	1	K2623	0.0007	1	K2730	0.0013	1	K2837	0.0005	1
K2517	0.0007	1	K2624	0.0013	1	K2731	0.0012	1	K2838	0.0005	1
K2518	0.0009	1	K2625	0.0008	1	K2732	0.0007	1	K2901	0.0005	1
K2519	0.0006	1	K2626	0.0012	1	K2733	0.0012	1	K2902	0.0005	1
K2520	0.0005	1	K2627	0.0013	1	K2734	0.0006	1	K2903	0.0005	1
K2521	0.0009	1	K2628	0.0012	1	K2735	0.0004	1	K2904	0.0005	1
K2522	0.0006	1	K2629	0.0012	1	K2736	0.0008	1	K2905	0.0012	1
K2523	0.0007	1	K2630	0.0014	1	K2737	0.0004	1	K2906	0.0013	1
K2524	0.0012	1	K2631	0.0013	1	K2738	0.0006	1	K2907	0.0001	1
K2525	0.0008	1	K2632	0.0008	1	K2801	0.0006	1	K2908	0.0003	1
K2526	0.0012	1	K2633	0.0013	1	K2802	0.0006	1	K2909	0.0001	1
K2527	0.0014	1	K2634	0.0008	1	K2803	0.0006	1	K2910	0.0001	1
K2528	0.0013	1	K2635	0.0008	1	K2804	0.0006	1	K2911	0.0003	1
K2529	0.0013	1	K2636	0.0006	1	K2805	0.0014	1	K2912	0.0001	1
K2530	0.0015	1	K2637	0.0009	1	K2806	0.0014	1	K2913	0.0012	1
K2531	0.0012	1	K2638	0.0007	1	K2807	0.0002	1	K2914	0.0012	1
K2532	0.0009	1	K2701	0.0007	1	K2808	0.0003	1	K2915	0.0004	1
K2533	0.0012	1	K2702	0.0006	1	K2809	0.0002	1	K2916	0.0005	1

Model 3 Kiriş Elemanların Hasar Sonuçları											
Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.	Eleman	Birim Şek.Değ	Hasar Sev.
K2917	0.0005	1	K2935	0.0002	1	K3015	0.0003	1	K3033	0.0010	1
K2918	0.0005	1	K2936	0.0005	1	K3016	0.0005	1	K3034	0.0003	1
K2919	0.0005	1	K2937	0.0002	1	K3017	0.0006	1	K3035	0.0003	1
K2920	0.0002	1	K2938	0.0004	1	K3018	0.0003	1	K3036	0.0007	1
K2921	0.0005	1	K3001	0.0004	1	K3019	0.0003	1	K3037	0.0003	1
K2922	0.0002	1	K3002	0.0006	1	K3020	0.0003	1	K3038	0.0003	1
K2923	0.0004	1	K3003	0.0005	1	K3021	0.0006	1	K3107	0.0001	1
K2924	0.0011	1	K3004	0.0003	1	K3022	0.0003	1	K3108	0.0002	1
K2925	0.0004	1	K3005	0.0014	1	K3023	0.0003	1	K3109	0.0001	1
K2926	0.0011	1	K3006	0.0014	1	K3024	0.0010	1	K3110	0.0003	1
K2927	0.0007	1	K3007	0.0001	1	K3025	0.0003	1	K3111	0.0001	1
K2928	0.0012	1	K3008	0.0003	1	K3026	0.0010	1	K3112	0.0003	1
K2929	0.0012	1	K3009	0.0001	1	K3027	0.0006	1	K3125	0.0007	1
K2930	0.0008	1	K3010	0.0001	1	K3028	0.0007	1	K3127	0.0006	1
K2931	0.0011	1	K3011	0.0003	1	K3029	0.0007	1	K3130	0.0007	1
K2932	0.0004	1	K3012	0.0001	1	K3030	0.0007	1	K3132	0.0007	1
K2933	0.0011	1	K3013	0.0014	1	K3031	0.0010	1			
K2934	0.0004	1	K3014	0.0014	1	K3032	0.0004	1			

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Faruk DADAŞ

Doğum Tarihi ve Yeri : 10.06.1992-KARS/Arpaçay

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : farukdadas92@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Müh	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	İnşaat Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Kazım Karabekir A. Ö. L.	2010

YAYINLARI

Bildiri

Dadaş, F., Sevim, B., (2017). “Seismic Performance Evaluation of Tall Buildings with Different Structural Systems”, 2nd International Conference on Civil And Environmental Engineering, 10 Mayıs 2017, Nevşehir, 1022-1030.