

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YER HAREKETİ KAYDI ÖLÇEKLENDİRME
YÖNTEMLERİNİN ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BETONARME
BİNALARIN DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİ

Yasemin YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ

Temmuz, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YER HAREKETİ KAYDI ÖLÇEKLENDİRME YÖNTEMLERİNİN
ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BETONARME BİNALARIN DEPREM
PERFORMANSINA ETKİSİ

Yasemin YILDIZ tarafından hazırlanan tez çalışması 27.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Murat Serdar KIRÇIL, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Beyza TAŞKIN, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Yer Hareketi Kaydı Ölçeklendirme Yöntemlerinin Orta Yükseklikteki Betonarme Binaların Deprem Performansına Etkisi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yasemin YILDIZ

İmza



Sevgili Aileme,

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi, tecrübe ve yardımlarını benimle paylaşan, yüksek lisans tezimi hayata geçirebilmem konusunda en büyük paya sahip olan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ'ye; eğitim hayatıma ışık tutmuş tüm öğretmenlerime, akademisyenlere ve değerli bilim insanlarına; kariyerimde bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım yöneticilerim başta olmak üzere çalışma arkadaşlarıma; tez çalışmam esnasında karşılaştığım sorunların çözümünde fikirleriyle destek olan arkadaşım Sayın İnş. Müh. Batuhan BAYAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Almanya'daki eğitimim boyunca karşılaştığım her zorlukta bana desteklerini esirgemeyen, bu süreçte bana kattıkları her şey için Sayın Ali AKTİTİZ, Yasemin AKTİTİZ ve ailesine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haklarını asla ödeyemeyeceğim başta canım babama, anneme ve erkek kardeşim olmak üzere sevgili aileme her zaman sabırla ve sevgiyle yanımda oldukları için minnettarım.

Yasemin YILDIZ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xiv
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xviii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	5
2 PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME	6
2.1 Dayanıma Göre Tasarım (DGT)	7
2.2 Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT)	7
2.2.1 Performans Hedefleri	7
2.2.2 ŞGDT Yaklaşımında Kullanılan Analiz Yöntemleri	9
2.2.3 Doğrusal Olmama Durumunun Modellenmesi	14
2.2.4 Malzemenin Modelleri	16
2.2.5 Taşıyıcı Eleman Gevreklik ve Süneklik Tayini	20
2.2.6 Kesit Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi	23
2.2.7 Bina Performansının Belirlenmesi	26
3 DEPREM KAYITLARI SEÇİLMESİ VE ÖLÇEKLENDİRİLMESİ	29
3.1 Deprem Kayıtlarının Seçimi	29
3.2 Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi	31
3.2.1 Basit Ölçeklendirme Yöntemi	31
3.2.2 Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçeklendirme Yöntemi	31
4 YÖNTEM VE MATERYAL	33
4.1 Bina Bilgisi	33
4.2 Bina Analitik Modeli	37
4.2.1 Malzeme Bilgileri	39
4.2.2 Plastik Mafsal Tanımlama	44
4.3 Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi	45

4.3.1 ZTADOH Yönteminde Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçimi.....	45
4.3.2 ZTADOH Yönteminde Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi	50
4.4 Analiz Yöntemleri.....	52
4.4.1 Doğrusal Analiz Yöntemi	52
4.4.2 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	53
5 ANALİZ SONUÇLARI	57
5.1 Serbest Titreşim Analiz Sonuçları	57
5.2 Doğrusal Analiz Sonuçları	59
5.3 Yapısal Eleman Davranış (Gevreklik ve Süneklik) Kontrolü.....	60
5.3.1 Taşıma Gücü Momentlerinin Elde Edilmesi.....	61
5.3.2 Kirişlerde Davranış (Gevreklik ve Süneklik) Kontrolü	62
5.3.3 Kolonlarda Davranış (Gevreklik ve Süneklik) Kontrolü	63
5.4 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Sonuçları.....	65
5.4.1 Şekildeğiştirme Taleplerinin Elde Edilmesi	65
5.4.2 Hasar Sınır Değerlerinin Elde Edilmesi.....	66
5.4.3 Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi.....	70
5.4.4 BÖ Yöntemiyle Elde Edilen Depremler için Analiz Sonuçları	71
5.4.5 SUSŞÖ Yöntemiyle Elde Edilen Depremler için Analiz Sonuçları	79
5.4.6 Sonuçların Değerlendirilmesi	87
6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
6.1 Sonuçlar	91
6.2 Öneriler	92
KAYNAKÇA	93
A MANDER SARGILI BETON MODELİ HESABI	95
B ELEMANLARIN DAVRANIŞ (SÜNEKLİK-GEVREKLİK) KONTROLLERİ	96
C ELEMANLARIN HASAR SEVİYELERİ	106
TEZDEN TÜRETİLMİŞ YAYINLAR	120

SİMGE LİSTESİ

Φ_Y	Akma eğriliği
$S_{aR}(T)$	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]
$\mathcal{E}_c$	Beton basınç birim şekildeğiştirmesi
E_c	Betonun elastisite modülü
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{ce}	Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı
f_{cd}	Betonun tasarım basınç dayanımı
T_p	Binanın hâkim doğal titreşim periyodu
I	Bina önem katsayısı
m_T	Bina toplam kütlesi
H_N	Bina toplam yüksekliği
S_{D1}	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_1	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
A_s	Boyuna donatı alanı
d_b	Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama)
b_k	Çekirdek boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık)
$R_a(T)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
T	Doğal titreşim periyodu
f_c	Donatı çeliğindeki gerilme
$\mathcal{E}_{sy}$	Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
f_{sy}	Donatı çeliğinin akma dayanımı
E_s	Donatı çeliğinin elastisite modülü
f_{yk}	Donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı
$\mathcal{E}_{su}$	Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi
f_{su}	Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{ye}	Donatı çeliğinin ortalama (beklenen) akma dayanımı
$\mathcal{E}_s$	Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi
f_{yd}	Donatı çeliğinin tasarım akma dayanımı
$E_d^{(Z)}$	Düşey deprem etkisi
f_{yw}	Enine donatının akma dayanımı
A_{os}	Enine donatının alanı (dairesel kesit)

A_{sh}	Enine donatının alanı (dikdörtgen kesit)
f_{ywe}	Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı
ρ_x	Enine donatının x doğrultusundaki hacimsel oranı
ρ_y	Enine donatının y doğrultusundaki hacimsel oranı
f_e	Etkili sargılama basıncı
M_y	Etkin akma momenti
ω_{we}	Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
β_{tE}	Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
γ_E	Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısının belirlenmesinde kullanılan ampirik katsayı
R_{jb}	Fay kırığına en yakın yatay mesafe
R_{rub}	Fay kırığına en yakın mesafe
$S_a^{(gerçek)}$	Gerçek deprem kaydının ivme spektrumu
σ	Gerilme
b_o	Göbek betonunu sargılayan enine donatıların eksenleri arasında kalan kesit boyutu
h_o	Göbek betonunu sargılayan enine donatıların eksenleri arasında kalan kesit boyutu
$\theta_p^{(GÖ)}$	Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\mathcal{E}_s^{(GÖ)}$	Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
$\mathcal{E}_c^{(GÖ)}$	Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
ϕ_u	Göçme öncesi eğrilik
ρ_{sh}	Göz önüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranı
n	Hareketli yük katılım katsayısı
Q	Hareketli yük etkisi
$S_a^{(hedef)}$	Hedef ivme davranış spektrumu
G_i	i'nci katın sabit yük etkisi
Q_i	i'nci katın hareketli yük etkisi
m_i	i'nci katın toplam kütlesi
$\rho_{sh,min}$	İki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı
S	Kar yükü etkisi

k	Kaydın davranış spektrumu çizilirken kullanılan periyot adım sayısı
V_c	Kesitin kesmede çatlama dayanımı
L_s	Kesme açıklığı
V_{cr}	Kesme dayanımına beton katkısı
H	Kesit yüksekliği
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
b_w	Kirişin gövde genişliği
d	Kiriş ve kolonun faydalı yüksekliği
V_e	Kolon, kiriş ve perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti
M_a	Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
$M_{\bar{u}}$	Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
$\Theta_p^{(KH)}$	Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\varepsilon_s^{(KH)}$	Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirme sınırı
$\varepsilon_c^{(KH)}$	Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
β	Newmark sayısal integrasyon katsayısı (beta)
γ	Newmark sayısal integrasyon katsayısı (gama)
β	Ölçekleme katsayısı
T_1	Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı
T_2	Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırı
G	Ölü yük etkisi
ΔT	Periyot adım sayısı
L_p	Plastik mafsallık boyu
s	Sargı donatısı aralığı
k_e	Sargılama etkinlik katsayısı
α_{se}	Sargı donatısı etkinlik katsayısı
f_{cc}	Sargılı beton basınç dayanımı
f_c	Sargılı betonda basınç gerilmesi
ε_{cu}	Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirme
f_{co}	Sargısız beton basınç dayanımı

$\theta_p^{(SH)}$	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\varepsilon_s^{(SH)}$	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
$\varepsilon_c^{(SH)}$	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
D	Spiral/sargı donatısı eksenleri arasındaki uzaklık
$(V_s)_{30}$	Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı
$V_{tE}^{(X)}$	X deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$T_p^{(X)}$	X deprem doğrultusunda hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu
a_i	Yatayda bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
$E_D^{(H)}$	Yatay deprem etkisi
$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$V_{tE}^{(Y)}$	Y deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
g	Yerçekimi ivmesi

KISALTMA LİSTESİ

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BÖ	Basit Ölçeklendirme
BKS	Bina Kullanım Sınıfı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD-1	50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
DD-2	50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
DD-3	50 Yılda Aşılma Olasılığı %50 Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
DD-4	50 Yılda Aşılma Olasılığı %68 Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
DGT	Dayanıma Göre Tasarım
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
GÖ	Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
KH	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
NTHA	Nonlinear Time History Analysis
PEER	Pacific Earthquake Engineering Research Center
PGA	En Büyük Yer İvmesi
PGV	En Büyük Yer Hızı
SAP2000	Integrated Software for Structural Analysis and Design
SH	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
SUSŞÖ	Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçeklendirme
ŞGDT	Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TSD	Tek Serbestlik Dereceli
TSCB	Turkish Seismic Code for Buildings
TS500	Türk Standartı - Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
XTRACT	Cross Sectional X Structural Analysis Of Components
ZTADOH	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 (a) Pekleşmesiz, (b) pekleşmeli moment-eğrilik (DBYBHY, 2007)	15
Şekil 2.2 Perde kesiti için yayılı plastik davranış modeli	16
Şekil 2.3 Sargılı ve sargısız beton gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları (TBDY, 2018) .	17
Şekil 2.4 Kesitte ve boyuna doğrultuda etkin sargı alanının hesaplanması.....	18
Şekil 2.5 Donatı çeliği birim şekildeğiştirme gerilme eğrisi	19
Şekil 2.6 Deprem yönü ile uyumlu taşıma gücü momentleri	20
Şekil 2.7 Kolon alt ve üst momentlerin (M_a ve M_u) belirlenmesi.....	22
Şekil 2.8 Betonarme elamanlarda kesit hasar sınırları ve sınır bölgeleri (TBDY, 2018)	24
Şekil 4.1 Binanın tipik kat planı	34
Şekil 4.2 Binanın 3 boyutlu modeli	37
Şekil 4.3 Binanın kat planı	38
Şekil 4.4 Binanın X-Z doğrultusundaki plan görünüşü.....	38
Şekil 4.5 Binanın Y-Z doğrultusundaki plan görünüşü.....	39
Şekil 4.6 Beton malzeme (C16) tanımlanması	40
Şekil 4.7 Beton malzeme (C16) doğrusal olmamasının tanımlanması.....	40
Şekil 4.8 Beton malzeme (C16) gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.....	41
Şekil 4.9 Donatı çeliği (S220) tanımlanması.....	41
Şekil 4.10 Donatı çeliği malzemesi (S220) doğrusal olmamasının tanımlanması	42
Şekil 4.11 Donatı çeliği malzeme (S220) gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.....	42
Şekil 4.12 45/45 kolon kesitine ait gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi.....	43
Şekil 4.13 50/50 kolon kesitine ait gerilme - birim şekildeğiştirme eğrisi.....	44
Şekil 4.14 Kiriş elemanda plastik mafsalları tanımlanması.....	44
Şekil 4.15 Seçilen deprem kayıtlarına ait her iki doğrultu için zamana bağlı ivme grafikleri.....	47
Şekil 4.16 Basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiş depremlerin ortalaması ve hedef spektrum eğrisi.....	51
Şekil 4.17 Spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiş depremlerin ortalaması ve tasarım spektrum eğrisi	52
Şekil 4.18 Yatay elastik spektrumun tanımlanması.....	53
Şekil 4.19 ZTADOH yöntemi başlangıç adımının tanımlanması.....	54
Şekil 4.20 Basit ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen deprem kayıtlarının tanımlanması	54

Şekil 4.21 Spektral uyuşum sağlanacak şekilde ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen deprem kayıtlarının tanımlanması	55
Şekil 4.22 Newmark- β iterasyon yönteminin tanımlanması	55
Şekil 4.23 Rayleigh Sönüm matrisinin tanımlanması	56
Şekil 5.1 Binanın 1. mod şekli ($T= 1.009$ sn).....	58
Şekil 5.2 Binanın 2. mod şekli ($T= 1.009$ sn).....	58
Şekil 5.3 Binanın 3. mod şekli ($T= 0.875$ sn).....	59
Şekil 5.4 45/45 kolon kesitine ait karşılıklı etki diyagramı	61
Şekil 5.5 50/50 kolon kesitine ait karşılıklı etki diyagramı	62
Şekil 5.6 J102 noktasına birleşen kolon ve kirişler	63
Şekil 5.7 Sargısız beton malzeme tanımı.....	63
Şekil 5.8 Sargılı beton malzeme tanımı.....	67
Şekil 5.9 S220 donatı çeliği malzeme tanımı	67
Şekil 5.10 45/45 kolonuna ait eğrilik-eksenel yük diyagramı	69
Şekil 5.11 50/50 kolonuna ait eğrilik-eksenel yük diyagramı	70
Şekil 5.12 BÖ yöntemi sonuçlarına göre tepe noktası yatay yerdeğiştirme zaman geçmişi	72
Şekil 5.13 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre tepe noktası yatay yerdeğiştirme zaman geçmişi.....	80
Şekil 5.14 Zemin kat kirişlerin en büyük plastik dönme talepleri.....	88
Şekil 5.15 Zemin kat kirişlerin en büyük plastik dönme talepleri oranları	88
Şekil 5.16 Zemin kat kolonların Y eksenı etrafında oluşan en büyük plastik dönme talepleri	89
Şekil 5.17 Zemin kat kolonların X eksenı etrafında oluşan en büyük plastik dönme talepleri	89
Şekil 5.18 Zemin kat kolonların Y ve X eksenleri etrafında oluşan en büyük plastik dönme talepleri oranları	90
Şekil A.1 45/45 kolon kesitine ait Mander sargılı beton modeli hesabı.....	95
Şekil A.2 50/50 kolon kesitine ait Mander sargılı beton modeli hesabı.....	95

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak yerinde dökme betonarme binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları ..	8
Tablo 2.2 Deprem tasarım sınıflarına göre mevcut yerinde dökme betonarme binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları	9
Tablo 2.3 Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar	10
Tablo 2.4 Hareketli yük kütle katılım katsayısı (n).....	11
Tablo 2.5 Donatı çeliğine ait bilgiler (TBDY, 2018).....	19
Tablo 4.1 Yük değerleri	34
Tablo 4.2 Kolon kesit ve donatı bilgisi	35
Tablo 4.3 Bina parametreleri.....	36
Tablo 4.4 Sismik tehlike haritası yer hareketi verileri	36
Tablo 4.5 Donatı çeliğine ait birim şekildeğiştirme sınır değerleri	41
Tablo 4.6 Beton malzeme için birim şekildeğiştirme - basınç dayanımı değerleri.....	43
Tablo 4.7 Seçilen deprem kayıtlarının alfa ve oransal görelî hata değerleri.....	45
Tablo 4.8 Seçilen deprem kayıtları ve özellikleri	45
Tablo 5.1 Serbest titreşim periyotları ve kütle katılım oranları	57
Tablo 5.2 Modal kütle katılım oranları	59
Tablo 5.3 Düşey yükler	60
Tablo 5.4 Kirişlerde hasar sınır değerleri.....	68
Tablo 5.5 BÖ yöntemi sonuçlarına göre en büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri	71
Tablo 5.6 BÖ yöntemi sonuçlarına göre zemin kat kirişlerinin hasar seviyeleri	75
Tablo 5.7 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kiriş hasar bölgesi dağılımı.....	76
Tablo 5.8 BÖ yöntemi sonuçlarına göre zemin kat kolonların Y eksenî etrafında oluşan hasar seviyeleri	77
Tablo 5.9 BÖ yöntemi sonuçlarına göre zemin kat kolonların X eksenî etrafında oluşan hasar seviyeleri	77
Tablo 5.10 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kolon hasar bölgesi dağılımı.....	78
Tablo 5.11 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre en büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri	79
Tablo 5.12 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre zemin kat kirişlerinin hasar seviyeleri ..	83
Tablo 5.13 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kiriş hasar bölgesi dağılımı.....	84
Tablo 5.14 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre zemin kat kolonların Y eksenî etrafında oluşan hasar seviyeleri	85

Tablo 5.15 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre zemin kat kolonların X eksenı etrafında oluşan hasar seviyeleri.....	85
Tablo 5.16 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kolon hasar bölgesi dağılımı.....	86
Tablo 5.17 En büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri.....	87
Tablo B.1 Kirişlerde davranış (gevreklik ve süneklik) kontrolleri	96
Tablo B.2 Kolonlarda davranış (gevreklik ve süneklik) kontrolleri	102
Tablo C.1 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kirişlerinin hasar seviyeleri.....	106
Tablo C.2 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların Y eksenı etrafında oluşan hasar seviyeleri.....	109
Tablo C.3 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların X eksenı etrafında oluşan hasar seviyeleri.....	111
Tablo C.4 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kirişlerinin hasar seviyeleri.....	113
Tablo C.5 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların Y eksenı etrafında oluşan hasar seviyeleri.....	116
Tablo C.6 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların X eksenı etrafında oluşan hasar seviyeleri.....	119

Yer Hareketi Kaydı Ölçeklendirme Yöntemlerinin Orta Yükseklikteki Betonarme Binaların Deprem Performansına Etkisi

Yasemin YILDIZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ

Yıkıcı depremlerin yaşandığı ve sismisitesi yüksek bir bölgede bulunan ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımı ve mevcut yapıların deprem güvenilirliklerinin belirlenmesi önemli bir husustur. Büyük depremlerden dolayı yapılarda oluşan hasarların büyük yerdeğiştirmelerden kaynaklandığı bilinmektedir ve bu bağlamda ülkemizde kullanılan deprem yönetmeliği olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018’de şekildegıştırme esaslı değerlendirme yöntemleri önerilmiştir. Şekildegıştırme esaslı değerlendirmede doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerde statik ve dinamik analiz yöntemleri ile eleman hasar seviyeleri ve binanın genel olarak performans seviyeleri elde edilmektedir.

TBDY 2018’de, bir binanın deprem tepkilerinin elde edilmesinde önerilen yöntemler arasında “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap” (ZTADOH) yöntemi, yapının gerçek deprem davranışına en yakın davranışı verebilen yöntem olarak kabul edilebilmektedir. Dinamik bir analiz yöntemi olan ZTADOH, yer hareketi ivme kayıtlarının sisteme doğrudan etki ettirilerek hareket denkleminin çözülmesi esasına dayanmaktadır. TBDY 2018’de belirtilen kurallara göre seçilen ivme kayıtları, aynı yönetmeliğin önerdiği tasarım depremi ile aynı şiddeti verebilmesi açısından tasarım spektrumuna ölçeklenerek sisteme dış yük olarak etki ettirilmektedir. TBDY 2018’de, bir

yer hareketi kaydının tasarım spektrumuna ölçeklenmesi için “Basit Ölçeklendirme” ve “Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçeklendirme” yöntemleri önerilmektedir.

Bu çalışmada, bu iki yöntem ile ölçeklendirilmiş kayıtlar kullanılarak elde edilen deprem tepkileri ve bina performansları belirlenmiş ve ölçekleme yöntemlerinin performansa etkisi incelenmiştir. Betonarme çerçevelerden oluşan orta yükseklikteki mevcut bir binanın deprem performansı, TBDY 2018’de belirtilen kurallara göre seçilen ve iki farklı yöntem ile tasarım spektrumuna ölçeklenen 11 adet yer hareketi kaydı çifti kullanılarak ZTADOH ile belirlenmiştir. SAP2000 analiz programında modellenen binada doğrusal olmama durumu, kolon ve kiriş uçlarına plastik mafsalları tanımlanarak sağlanmıştır. Altı bölümden oluşan yüksek lisans tezinin birinci bölümü, konunun açıklanmasına ve konu ile ilgili çalışmaların gözden geçirilmesine ayrılmış, çalışmanın amacı ve hipotez hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme konusu açıklanmış ve konu hakkındaki TBDY 2018’de yer alan yaklaşımlara değinilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde, deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi konusu detaylı olarak ele alınırken, dördüncü bölümde, bina modellemesine ilişkin aşamalar anlatılmış, doğrusal analiz ve şekildeğiştirme esaslı Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz yöntem esasları açıklanmıştır. Beşinci bölümde ise analiz sonuçları paylaşılmış ve her iki ölçekleme yöntemi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Son bölümde de bu çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.

Bu tez kapsamında elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, genel olarak basit ölçeklendirme ile ölçeklendirilmiş depremler kullanılarak elde edilen plastik dönmelerin, spektral uyum sağlayacak şekilde ölçeklendirme yöntemi kullanılarak ölçeklendirilmiş depremler için elde edilen dönmelere göre daha küçük olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yer hareketi seçilmesi, yer hareketi ölçeklendirilmesi, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, betonarme binalar, performans analizi

The Effect of Scaling Methods of Ground Motion Records on Seismic Performance of Medium Height Reinforced Concrete Building

Yasemin YILDIZ

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Muzaffer BÖREKÇİ

In our country, which is located in a region with high seismicity where destructive earthquakes are experienced, earthquake-resistant design of structures and determination of earthquake reliability of existing structures are quite important. Since it is known that the damages to the structures due to severe earthquakes are the reason for large displacements. Displacement-based evaluation methods have been proposed in the Turkish Seismic Code for Buildings (TSCB) 2018. In the displacement-based evaluation, damage levels of the structural elements and overall performance levels of the building are obtained by using static and dynamic analysis methods for linear and non-linear systems.

Among the methods proposed in TSCB 2018, the "Nonlinear Time History Analysis" (NTHA) method can be considered as the method that can give the closest response to the real earthquake behavior of the building in the estimation of earthquake responses of a building. NTHA, which is a dynamic method, is based on solving the equation of motion by directly affecting the ground motion acceleration records on the system. Acceleration records selected according to the rules specified in TSCB 2018 are scaled to the design spectrum to give the same intensity as the design earthquake recommended by the same regulation and affect the system as an external load. Two methods have been proposed

by TSCB 2018 as “Geometric Means of Pairs of Ground Motions (simple scaling)” and “Spectrum-Matching of Ground Motions” for scaling a ground motion record to the design spectrum

In this study, earthquake responses and performance of the building were obtained by using scaled records and the effect of scaling methods on the performance was evaluated. For this purpose, 11 ground motion record pairs were selected in terms of TSCB 2018 and scaled to the design spectrum by using two different scaling methods. After that, seismic performance of a mid-rise reinforced concrete frame existing building was obtained by performing NTHA with 11 records scaled to the design spectrum by using two different scaling methods. The building was analytically modeled via SAP2000 and non-linearity in the building was provided by defining plastic hinges at the ends of columns and beams.

The first part of the master's thesis, which consists of six parts, aims to explain the subject, the review the studies on the subject, the purpose of the study, and information about the hypothesis. In the second part, the subject of performance-based design and evaluation are explained and the approaches in TSCB 2018 on the subject are mentioned. In the third part of the study, the selection and scaling of earthquake records are comprehensively discussed. In the fourth chapter, the stages of building modeling are explained, and the principles of linear analysis and displacement-based non-linear time history analysis are explained. The fifth section contains the results of the analyses and comparison of the plastic rotations of two different scaling techniques. The last part is the conclusion part of which the results are evaluated and feature suggestions are given.

As a result of this study, the plastic rotations obtained by using ground motion records scaled with the geometric mean technique are smaller than those of the records scaled with the spectral-matching technique.

Keywords: Selection of ground motion, scaling of ground motion, nonlinear time history analysis, reinforced concrete buildings, performance analysis

Yerin hareketi ile oluşan deprem tehlikeli bir doğa olayıdır. Ancak sorunun kaynağı deprem olsa dahi, depremi tehlikeli kılan kendisi değil, depreme dayanıklı şekilde tasarlanmayan ve/veya inşa edilmeyen dayanıksız yapılardır. Ülkemiz aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Coğrafi konum itibari ile de üç aktif fay hattı ülke sınırlarımız içerisinde bulunmaktadır. Ülkemiz yüz ölçümünün yaklaşık %42'si ise birinci derece deprem bölgesi kategorisinde yer almaktadır (S. SOYDAN, 2019). Haliyle deprem bölgesinde yer alan ülkemizde, depreme dayanıklı yapı tasarlamak azami düzeyde önem taşımaktadır. Bir yapının depreme dayanıklı olarak tasarlanmasındaki amaç, öngörülen bir tasarım depreminde can kaybı ve yaralanmalar yaşanılmadan, içerisinde bulunan insanların yapıyı güvenli bir şekilde terk edebilmesini sağlamaktır. Bu tasarım felsefesinde, yapının belirli düzeyde hasar görmesine izin verilmektedir. Çünkü yapıların şiddetli deprem altında hasar görmeden geçirecek şekilde tasarlanması ekonomik değildir ve uygulanması zordur. Herhangi bir deprem sırasında yapıda oluşacak hasarın belirlenmesi için göreceli olarak yeni geliştirilen “performansa dayalı değerlendirme” kavramı önce mevcut yapıların deprem güvenilirliğinin belirlenmesi için kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde, performansa dayalı değerlendirme kavramı resmi olarak ilk kez, mevcut deprem yönetmeliğinden bir önceki yönetmelik olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) ile kullanılmaya başlanmıştır. Deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek tüm binaların ve bina türü yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen binaların güçlendirme tasarımı ilkeleri DBYBHY 2007 Bölüm 7’de tanımlanmıştır. DBYBHY 2007’den sonra yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 ile birlikte mevcut binaların deprem güvenilirliğinin belirlenmesinin yanı sıra yeni yapılacak binaların tasarımında da kullanılmaya başlanmıştır.

Yapı performansının belirlenmesinde kullanılmak üzere, ülkemizde kullanılan deprem yönetmeliği olan TBDY 2018’de şekildegıştırme esaslı değerlendirme yöntemleri önerilmiştir. Şekildegıştırme esaslı değerlendirmede doğrusal ve doğrusal olmayan

sistemlerde statik veya dinamik analiz yöntemleri ile eleman hasar seviyeleri ve binanın genel olarak performans seviyeleri elde edilmektedir. TBDY 2018’de, bir binanın deprem tepkilerinin elde edilmesinde önerilen yöntemler arasında “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap” (ZTADOH) yöntemi, yapının gerçek deprem davranışına en yakın davranışı verebilen yöntem olarak kabul edilebilmektedir. Bu yöntemde, belirli bir yer hareketi kaydı altında sistemin hareket denklemi çözülmekte ve yapı deprem tepkileri elde edilmektedir. TBDY 2018’de belirtilen kurallara göre seçilmiş yer hareketi kayıtları, TBDY 2018’de verilen tasarım depremi ile benzer şiddette olabilmeleri adına “tasarım spektrumuna” ölçeklenmektedir. Bu ölçekleme temelde “Basit Ölçeklendirme” ve “Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçeklendirme” yöntemlerinden biri kullanılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada, depremlerin ölçeklenmesinde iki farklı ölçekleme yöntemi kullanılmasının, elde edilen bina deprem performansına etkisi araştırılmıştır.

1.1 Literatür Özeti

Sismik yükler altında yapıda oluşan hasarın belirlenmesinde kullanılan analiz yöntemlerinden “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap” (ZTADOH) yöntemi, hem gerçek davranışa en yakın sonuçları veren hem de düzensizliği fazla olan veya yüksek katlı binalarda kullanılması gereken bir yöntemdir. ZTADOH yönteminde kullanılacak depremlerin seçimi ve seçilen depremlerin tasarım depremine ölçeklendirilmesi oldukça önemlidir.

Kayhan 2012 yılında yaptığı çalışmada ZTADOH yönteminde kullanılacak gerçek ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi amacıyla, sezgisel armoni araştırması optimizasyon tekniğine dayanan bir çözüm algoritması uygulamıştır. Deprem büyüklüğü, faya olan mesafe, zemin sınıfı gibi parametreler dikkate alınarak PEER Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı’ndan alınan 199 deprem kaydı arasından, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)’de yer alan farklı zemin sınıfları için tanımlanmış yatay elastik tasarım spektrumuyla uyumlu deprem kayıt çiftleri sezgisel armoni araştırması optimizasyon tekniğine göre seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir. Çalışma sonucunda, armoni araştırma optimizasyonu tekniğinin gerçek ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi için etkili bir yöntem olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Demir (2020), farklı ivme kaydı seçim stratejileri uygulanarak elde edilmiş deprem kayıtları ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde elde edilecek yapısal tepkilerin merkezi eğilimi ve saçılımı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada, farklı

periyot ve yatay dayanım oranına sahip 36 tane tek serbestlik dereceli (TSD) sistem ile farklı kat adetine sahip 6 tane betonarme binanın analizleri yapılmıştır. TBDY 2018’de tanımlı farklı zemin sınıflarına (ZB, ZC, ZD) ait hedef spektrumları kullanılmıştır.

İvme çiftine ait iki yöndeki ivme kaydının ortalaması ile hedef spektrum arasındaki uyuma ek olarak, deprem kaydı çiftine ait her iki yöndeki ivme kayıtlarının ayrı olarak hedef spektruma uygun seçilmesini esas alan stratejiler uygulanarak deprem kayıtları seçimi yapılmıştır. Bu deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Özdemir ve Fahjan, 2007 yılında yaptıkları çalışmada, gerçek deprem kayıtlarının tasarım spektrumlarına, zaman ve frekans tanım alanlarında ölçekleme yöntemleri ile ölçeklenmesini karşılaştırmışlardır. Zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi, en küçük kareler tekniği uygulanarak ölçeklenmiş hareketin davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasındaki farkın küçültülmesi esasına dayanmaktadır. Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığında her bir deprem kaydı için ölçekleme katsayısı belirlenmektedir. Ölçekleme katsayısı 0,25 ile 4 arasında olan kayıtların, analizde kullanılmak üzere seçilmesini önermişlerdir. Doğrusal olmayan analizlerde ise ölçekleme katsayısı 0.5 ile 2 arasında olan depremlerin kullanılmasının uygun olacağını belirtmişlerdir. Yer hareketinin frekans tanım alanında ölçeklendirilmesi ise gerçek deprem kayıtlarının tasarım ivme spektrumuyla çok iyi benzeştirilmesi esasına dayanır. Ölçeklemenin yapılacağı periyot sınırları içinde tasarım spektrumu ve gerçek kaydın davranış spektrumu arasındaki oran hesaba katılmaktadır. Her iki yöntem değerlendirildiğinde, frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak elde edilen deprem kayıtlarının hedef spektrum ile iyi uyum sağladığı görülmektedir. Ancak frekans tanım alanında ölçekleme yönteminde frekans içeriği değiştirildiğinden dolayı kaydın doğal özelliği kaybolacağından, zaman tanım alanlarında ölçekleme yöntemi ile elde edilen deprem kayıtlarının yapıların doğrusal olmayan deprem hesabında kullanılmasının daha doğru olacağını belirtmişlerdir.

Ergün (2013), yakın fay ve uzak fay etkisini dikkate alarak gerçek deprem kayıtları seçimi yapmış ve farklı deprem kayıtlarının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarına etkisini değerlendirmiştir. Çalışmada, Eurocode 8 yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumu ile uyumlu 10 adet yakın fay, 10 adet ise uzak fay depremleri seçilmiş ve ölçeklendirmesi yapılmıştır. Deprem kayıtları SESCAP programı ile ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirme işlemi sonucunda programdan elde edilen veriler

SAP2000 paket programında hem izolasyonlu hem de izolasyonsuz olarak oluşturulan verev köprüünün dinamik analizlerinde kullanılmıştır. Yakın fay yer hareketlerinin yapısal davranışa olan etkileri ile uzak fay yer hareketlerinin yapısal davranış üzerindeki etkileri karşılaştırılarak sunulmuştur.

Vatansever vd. (2011), yaptıkları çalışmada DBYBHY (2007)'ye göre 12 katlı betonarme bir yapıda, ölçeklendirilmiş 10 adet deprem kaydı kullanarak doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçlarını değerlendirmişlerdir. On adet doğrusal ve on adet doğrusal olmayan analizden, doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için ayrı ayrı olmak üzere, yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemesi için yedi deprem hareketinden elde edilen sonuçların ortalaması, rastgele üç yer hareketinden elde edilen sonuçların en büyüğü ve ilave olarak minimum üç sonucun en büyük değeri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, minimum üç sonucun en büyük değerleri yapının davranışının küçük çıkmasına neden olurken, doğrusal ve doğrusal olmayan her iki analiz sonucuna göre rastgele seçilen üç deprem kaydından elde edilen sonuçlar tasarımda daha güvenli tarafta kalmayı sağlamaktadır. Bu sebeple, zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri için en az yedi deprem kaydı kullanılarak analizden elde edilen sonuçların ortalamasının alınması daha doğru olacağı sonucu çıkmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Yaşanan son depremlerin önemli toplumsal ve ekonomik etkileri, deprem sonrası potansiyel sismik tehlikenin ve mevcut yapı stoğunun deprem güvenliğinin belirlenmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Sismik tehlikenin belirlenmesi için yapılması gereken en önemli çalışmalardan biri de mevcut yapı stoğunun, öngörülen depremler karşısında istenilen performans seviyesini sağlayıp sağlayamayacağının ve hasar seviyelerinin saptanmasıdır. (Börekçi, 2008)

Yapıda oluşacak hasarın belirlenmesinde kullanılan doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden yer hareketi kayıtları kullanılarak sonuçların elde edilmesine dayanan Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap (ZTADOH) yöntemi daha çok tercih edilmektedir. ZTADOH yönteminde kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi önemli bir husustur. TBDY 2018'de, "Basit Ölçeklendirme" ve "Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçeklendirme" olmak üzere iki farklı ölçekleme yöntemi önerilmektedir. İlki zaman alanında ikincisi ise frekans alanında olan bu ölçekleme yöntemleri ile ölçeklenmiş kayıtlar ile elde edilen yapı tepkileri farklılık

gösterebilecektir. Bu tezde, farklı ölçekleme yöntemleri kullanılarak ölçeklenmiş deprem kayıtları ile elde edilen eleman plastik dönmeleri ve bunlara bağlı olarak eleman hasar seviyeleri arasındaki farkların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, betonarme çerçevelerden oluşan 5 katlı mevcut bir binanın deprem performansı, TBDY 2018 esaslarına göre seçilen ve iki farklı ölçekleme yöntemi ile tasarım spektrumuna ölçeklenen 11 adet depremin binaya etki etki ettirilerek ZTADOH yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. ZTADOH yönteminde hareket denkleminin çözümü Newmark- β ile çözülmüştür.

Ayrıca seçilen ölçeklenmemiş depremin tasarım spektrumuna yakın ve benzer olması, ölçekleme sırasında yapılacak çarpım sonucu gereğinden büyük bir genlik elde edilmemesini sağlayacaktır. Bu bağlamda, ölçekleme yöntemi dışında, seçilen depremin tasarım spektrumuna yakın ve benzer bir deprem olması da önemli bir husustur.

ZTADOH yönteminde kullanılmak üzere, tasarım spektrumuna uyumlu depremlerin seçimi Özdemir ve Fahjan'ın 2007'de yaptıkları çalışmada önerilen yöntem kullanılarak, 66 adet deprem arasından tasarım spektrumuna uyumlu 11 adet deprem kaydı çifti seçilmiş ve ZTADOH için kullanılmıştır.

1.3 Hipotez

Deprem kayıtlarının seçimi için, Özdemir ve Fahjan'ın 2007'de yaptıkları çalışmada önerdiği yöntem, tasarım spektrumuna en uygun deprem kayıtlarının seçilmesine olanak sağlamaktadır. Seçilen deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi için TBDY 2018'de "basit ölçeklendirme" ve "spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirme" yöntemleri önerilmiştir. Her iki yöntem için amaç, depremleri hedef spektruma benzeştirerek TBDY 2018'de ön görülen şiddeti sağlamaktır. Farklı yöntemler kullanılarak ölçeklendirilmiş depremlerin kullanılması ile taşıyıcı eleman uçlarında elde edilen plastik dönmelerin ve dolayısıyla hasar seviyelerinin birbirlerinden farklı olacağı düşünülmektedir. Dolayısıyla, bu yöntemlerin hangisinin güvenli tarafta sonuçlar vereceği araştırılması gereken bir husustur.

PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

Yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı olarak tasarlanması ve mevcut binaların ise deprem güvenilirliklerinin belirlenmesi, depremselliği yüksek olan ülkemizde oldukça önemlidir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı uygulamasında kullanılan en klasik yöntem “Dayanıma Göre Tasarım” (DGT) yöntemidir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, deprem yüklerinden dolayı yapılarda oluşan hasarlar, büyük yerdeğiştirmelerden dolayısıyla da büyük şekildeğiştirmelerden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, kullanımı giderek yaygınlaşan ve ülkemiz mevcut deprem yönetmeliğinde de önerilen “Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım” (ŞGDT) yaklaşımı giderek artan oranda kullanılmaya başlanmıştır. ŞGDT yaklaşımında, herhangi bir deprem dolayısıyla yapı elemanlarında oluşan şekildeğiştirmeler elde edilmekte ve yönetmeliklerin tanımladığı sınırlar ile karşılaştırılarak elemanların hasar seviyeleri belirlenmektedir. Hasar durumları belirlenen elemanlardan yola çıkılarak ise tüm yapının deprem başarısını ifade eden deprem performansı belirlenmektedir. Performansın belirlenebilmesi için gerekli şekildeğiştirmelerin elde edilmesinde kullanılan analiz yöntemleri, bu bölümde ayrıntılı şekilde açıklanacaktır.

Deprem yükleri altında herhangi bir yapıda oluşacak şekildeğiştirmelerin elde edilmesinde kullanılan ve gerçek davranışa en yakın sonuçları verdiği kabul edilen yöntem “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap” (ZTADOH) yöntemidir. Ayrıntıları açıklanacak olan bu yöntemde yer hareketi ivme kaydı dış yük olarak sisteme etki ettirilerek yapı tepkileri elde edilmektedir. Yer hareketi kayıtları, mevcut yönetmeliğin ön gördüğü tasarım depremi şiddetini sağlayabilmeleri adına tasarım depremine ölçeklenmektedir. TBDY 2018’de iki farklı ölçekleme tekniği önerilmekte ve yöntem seçimi tasarımcıya bırakılmaktadır.

Deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı ve değerlendirmesi için TBDY 2018’de tanımlı iki ana yaklaşım vardır. Bunlar:

- I. Dayanıma Göre Tasarım (DGT)
- II. Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT)

2.1 Dayanıma Göre Tasarım (DGT)

Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yöntemi, doğrusal elastik malzemeye sahip kesitte ve taşıyıcı sistemde yeterli dayanım, rijitlik ve süneklik koşullarını sağlayacak şekilde tasarımı tarifler. TBDY’de dayanıma göre tasarım doğrusal hesap esaslarına karşılık gelmektedir. Yüksek Binaların Tasarımı, Deprem Yalıtımlı Binaların Tasarımı, Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi dışında tüm binalarda DGT hesap yöntemleri kullanılabilir.

Dayanıma Göre Tasarım Yaklaşımı’nda;

- Öngörülen belirli bir performans hedefi için tanımlanan taşıyıcı sistem süneklik kapasitesine karşı gelen azaltılmış deprem yükleri belirlenir. (TBDY,2018)
- Azaltılmış deprem yükleri kullanılarak doğrusal analiz yapılır, analiz sonucunda elde edilen içkuvvetler dikkate alınarak dayanım talepleri elde edilir.
- Eleman dayanım talepleri, öngörülen performans hedefi için tanımlanmış bulunan eleman iç kuvvet kapasiteleri (dayanım kapasiteleri) ile karşılaştırılır. (TBDY,2018)
- Eleman dayanım talepleri, dayanım kapasiteleri aşıyorsa tasarımda değişiklikler yapılır ve kontroller yinelenmelidir.

Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1a, DTS=2a ve Bina Yükseklik Sınıfı BYS=2, BYS=3 olan binalarda DGT yöntemi kullanılarak ön tasarımı yapılan binalarda, ŞGDT yöntemi kullanılarak performans değerlendirmesi yapılmalıdır.

2.2 Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT)

Yapı performansı, yapıda deprem veya aşırı yükleme sonrası oluşacak hasarın ölçüsüdür. Bu bağlamda, ülkemizde kullanılan deprem yönetmeliği olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018’de, herhangi bir binanın deprem performansının belirlenmesinde şekildeğiştirme esaslı değerlendirme yöntemleri önerilmiştir. Şekildeğiştirme esaslı değerlendirmede doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerde statik ve dinamik analiz yöntemleri ile sünek davranışa karşılık gelen şekildeğiştirmeler ile eleman hasar seviyeleri ve binanın genel olarak performans seviyeleri elde edilmektedir.

2.2.1 Performans Hedefleri

Sismik yükler altında, bina için öngörülen yapısal performans düzeyi, performans hedefi olarak tanımlanır.

TBDY2018’de yeni yapılacak veya mevcut binaların değerlendirilmesinde dört farklı performans hedefi tanımlanmaktadır.

Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Hedefi

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın oluşmadığı veya ihmal edilebilir derecede olduğu durumdur.

Sınırlı Hasar (SH) Performans Hedefi:

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği durumdur. Bu durum diğer bir şekilde doğrusal olmayan davranışın belirli bir sınırı aşmadığı durum olarak da ifade edilebilir. (TBDY,2018)

Kontrollü Hasar (KH) Performans Hedefi:

Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan hasar düzeyine karşılık gelmektedir.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Hedefi:

Bina taşıyıcı elemanlarında ağır hasarın meydana geldiği, göçme öncesi durumdur.

TBDY 2018’e göre yeni yapılacak veya halihazırda mevcut yapıların sağlamak zorunda oldukları performans hedefleri Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de yer almaktadır.

Tablo 2.1 Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak yerinde dökme betonarme binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS=1, 1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a		DTS=1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽⁵⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

Tablo 2.2 Deprem tasarım sınıflarına göre mevcut yerinde dökme betonarme binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları

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

(1) Bina Yükseklik Sınıfı > 3 olan yapılarda uygulanmalıdır.

(2) Bina Yükseklik Sınıfı = 2,3 olan binalarda uygulanmalıdır.

(3) Ön tasarım olması amacıyla uygulanacaktır.

(4) $I = 1.5$ kabul edilerek uygulanacaktır.

(5) Bkz. TBDY 2018 Bölüm 3.5.2.2.

2.2.2 ŞGDT Yaklaşımında Kullanılan Analiz Yöntemleri

TBDY 2018’de bir yapının deprem performansını belirlemek için doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemler tanımlanmıştır. Doğrusal hesap yöntemleri Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Modal Hesap Yöntemleridir. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri ise, statik esaslı İtme Yöntemleri ve dinamik esaslı Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleridir. Performans belirlenmesinde doğrusal hesap yöntemlerinden birinin kullanılabilmesi için TBDY 2018’de belirtilen gerekli koşulların sağlanması gerekmektedir. Doğrusal hesap yöntemleri, bina yükseklik sınıfının 5’ten küçük olmaması ($BYS < 5$) ve binada B3 türü düzensizliğin bulunmaması durumunda kullanılabilir. Ayrıca, TBDY 2018 Bölüm 15’te belirtilen EKO şartlarının sağlanması gerekir. Aksi takdirde doğrusal olmayan yöntemlerden birinin kullanılması gerekmektedir.

2.2.2.1 Doğrusal Analiz Yöntemleri

Binaların deprem performanslarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal hesap yöntemleri, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Modal Hesap Yöntemlerinden biri olan Mod Birleştirme Yöntemi'dir.

I. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Doğrusal hesap yöntemlerinden Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi görelî olarak düzensizlik etkilerinin az olduğu ve bina yükseklik sınıfının fazla olmadığı binalarda uygulanmaktadır. Yöntemin uygulanabilmesi için sağlanması gereken koşullar Tablo 2.3'te verilmektedir.

Tablo 2.3 Eşdeğer deprem yüğü yönteminin uygulanabileceğı binalar

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

Yukarıda belirtilen şartları sağlaması koşuluyla, şekildeğıştirmeye göre doğrusal hesap yöntemlerinin kullanılabilmesi için bina yükseklik sınıfının 5'ten küçük olmaması ($BYS < 5$) ve binada B3 türü düzensizliğinin bulunmaması gerekmektedir. Ayrıca TBDY 2018'de Etki Kapasite Oranı (EKO) için belirtilen şartlarının sağlanması gerekir.

Eşdeğer Deprem Yüğü yönteminde, birbirine dik X ve Y doğrultularında binanın tümüne etkiyen toplam yatay kuvvetler $V_{te}^{(X)}$ ve $V_{te}^{(Y)}$ yapıya yük kombinasyonları kullanılarak etkilir. Her iki deprem yönü için (2.1) eşitliğı kullanılarak toplam Eşdeğer deprem yüğü hesaplanır. Buradaki “ (X) ”, X deprem yönü için hesabı göstermektedir.

$$V_{te}^{(X)} = m_t S_{aR} (T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (2.1)$$

Burada $S_{aR}(T_p^{(X)})$ X deprem doğrultusunda hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu $T_p^{(X)}$ 'e karşılık gelen azaltılmış Tasarım Spektral İvmesini göstermektedir. Yapının deprem performansının belirlenmesinde azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi yerine $T_p^{(X)}$ 'e karşılık gelen Tasarım Spektral İvme değeri kullanılmalıdır. Bina toplam kütlesi m_t ve i'inci katın kütlesi olan m_i (2.2) eşitliğindeki gibi hesaplanır.

$$m_t = \sum_{i=1}^N m_i \quad ; \quad m_i = \frac{G_i + nQ_i}{g} \quad (2.2)$$

Buradaki G_i sabit yükleri, Q_i ise hareketli yükü göstermektedir. Deprem etkisi altında hareketli yükün tamamının bulunma olasılığı düşük olacağı düşünülerek hareketli yükler Tablo 2.4'te verilen n azaltma katsayısı ile çarpılır.

Tablo 2.4 Hareketli yük kütle katılım katsayısı (n)

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

Eşdeğer deprem yükü yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi ile deprem hesap yöntemlerinde azaltılmış deprem yüklerinin belirlenmesi için hesaplanan tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T)$ eşitlik (2.3) ile hesaplanmaktadır.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (2.3)$$

$R_a(T)$ ise deprem yükü azaltma katsayısını göstermektedir. Performans analizinde $R_a(T) = 1$ alınmaktadır. Bu durumda, yapının hâkim titreşim periyodu için azaltılmış tasarım spektral ivmesi, yatay elastik tasarım spektral ivmesine eşit alınmaktadır.

II. Modal Hesap Yöntemleri

Deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin modal davranışını esas alan Modal Hesap Yöntemleri deprem spektrumu ile hesaba dayalı Mod Birleştirme Yöntemi ve zaman tanım alanında hesaba dayalı Mod Toplama Yöntemidir (Darılmaz, 2019).

Herhangi bir (X) deprem doğrultusu için $V_{tx}^{(X)} < \gamma_E V_{tE}^{(X)}$ olması durumunda, modal hesap yöntemi ile elde edilen tüm azaltılmış iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri, (2.4) eşitliği ile verilen eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı β_{tE} ile çarpılarak büyütülecektir. Binada; A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin bulunması durumunda γ_E katsayısı 0.9 alınırken, bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda γ_E katsayısı 0.8 olarak alınmalıdır.

$$\beta_{tE} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(X)}}{V_{tx}^{(X)}} \geq 1 \quad (2.4)$$

Deprem etkileri altında lineer analiz yöntemi ile bulunan iç kuvvetlerin, düşey yüklerle birlikte birleştirilmesi aşağıdaki yük kombinasyonları kullanılarak yapılmalıdır.

$$G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (2.5)$$

$$0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (2.6)$$

Sismik yük etkisi altında taşıyıcı sistemin deprem hesabının doğrusal analiz yöntemlerinden biri ile yapılması durumu için $E_d^{(H)}$ yatayda birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki depremler eşitlik (2.7)'de tanımlandığı gibi birleştirilmektedir.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (2.7)$$

Deprem hesabında düşey deprem etkisini ($E_d^{(Z)}$) dikkate almak için düşey elastik tasarım spektrumu oluşturulmalıdır. Ancak aşağıda belirtilen elemanları içeren binalar dışındaki taşıyıcı sistem kısımlarında düşey deprem etkisi ($E_d^{(Z)}$) özel bir hesap yapılmaksızın, (2.8) ile yaklaşık olarak hesaplanacaktır.

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

$$Ed^Z = \frac{2}{3} S_{DS} G \quad (2.8)$$

2.2.2.2 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri

TBDY 2018’de binaların deprem performanslarının belirlenmesi için Şekildeğiştirmeye Göre Tasarım (ŞGT) ilkeleri ile tanımlı doğrusal olmayan hesap yöntemleri için Statik İtme Analiz Yöntemleri ve Zaman Tanım Alanında Çözüm Yöntemi kullanılmaktadır.

I. Statik İtme Analizi

Doğrusal olmayan statik itme analizinde Tek Modlu İtme Yöntemleri ve Çok Modlu İtme Yöntemleri kullanılmaktadır. Hesabın başlangıç adımında kütlelerle uyumlu düşey yükler altında doğrusal olmayan hesap yapılmaktadır.

a) Tek Modlu İtme Yöntemleri

Tek Modlu İtme Yöntemleri’nin uygulanabilmesi için aşağıdaki iki koşulun sağlanması gerekmektedir.

- Herhangi bir katta ek dışmerkezlilik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulu sağlanmalıdır. (Darılmaz, 2019)
- Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

b) Çok Modlu İtme Yöntemleri

Çok Modlu İtme Yöntemi, verilen tasarım spektrumuna göre her bir itme adımında oluşan plastik mafsallar ile uyumlu mod şekillerini gözönüne alındığı bir yöntemdir. Çok modlu itme analizinin tek modlu statik itme analizine nazaran standart bir hesabı bulunmamakta araştırmalar devam etmektedir.

II. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi belirli bir depremin yer hareketi ivme kaydının sisteme doğrudan etki ettirilerek hareket denkleminin çözülmesi sonucu yapı tepkilerinin elde edildiği bir yöntemdir. Sistemin hareket denklemlerinin zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonu, bu çözüme karşı gelmektedir (Celep, 2018). TBDY 2018’de, bir binanın deprem tepkilerinin elde edilmesinde önerilen yöntemler arasında “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap” (ZTADOH) yöntemi, yapının gerçek deprem davranışına en yakın davranışı verebilen yöntem olarak kabul edilebilmektedir.

Aynı depreme ait en fazla 3 adet olmak koşuluyla, 11 adet yer hareketi kaydı seçilerek sisteme etki ettirilmektedir. Her bir yer hareketi kaydının yatay bileşenlerinin aynı anda etki ettirilmesi ile elde edilen şekildeğiştirmelerin mutlak değerce en büyüklerinin ortalaması, TBDY 2018’de verilen sınırlar ile karşılaştırılarak eleman hasar seviyeleri ve bunlara bağlı olarak da sistemin deprem performansı belirlenmektedir. Hareket denkleminin çözümünde literatürde birçok doğrudan integrasyon yöntemi bulunmasına karşın, Newmark- β yöntemi en sık tercih edilenlerden olup, bu çalışmada da bu yöntem kullanılmıştır.

2.2.3 Doğrusal Olmama Durumunun Modellenmesi

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında (kolon, kiriş ve çubuk olarak modellenebilen perdelerde) oluşan eğilme momentinin küçük olduğu değerlerde elastik şekildeğiştirme, eğilme momentinin daha büyük değerlerinde ise elastik ve plastik şekildeğiştirmeler meydana gelir.

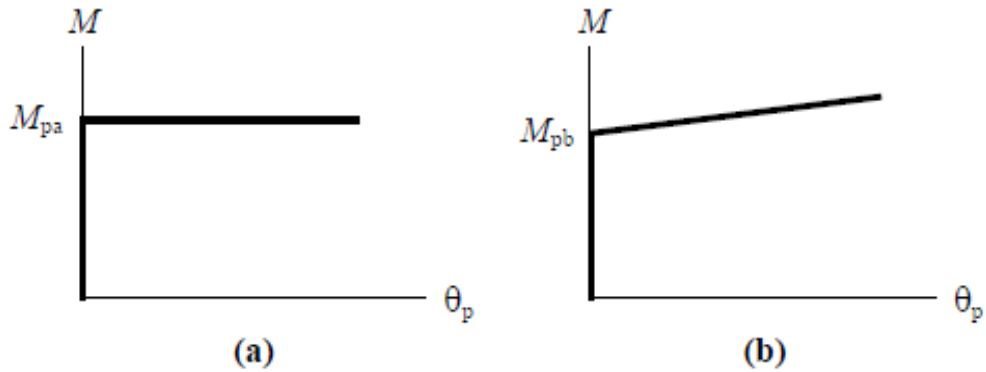
Malzeme bakımından doğrusal olmayan ve yeterli düzeyde sünek davranış gösteren taşıyıcı sistem elemanları kolon, kiriş ve perde gibi bina taşıyıcı sistem elemanlarında elastik ötesi şekildeğiştirmelerin olduğu kesitte doğrusal olmama durumunun tariflenmesinde “yayıllı plastik davranış modeli” veya “yığıllı plastik davranış modeli” kullanılmaktadır. Bu taşıyıcı sistem elemanlarının, yatay yükler altında en çok zorlanan kısımları uç bölgeleridir. Bu nedenle plastik mafsallar, taşıyıcı sistem elemanlarının uçlarına tanımlanmaktadır.

2.2.3.1 Yığıllı Plastik Davranış Modeli

Çubuk sonlu elemanları olarak modellenebilen kolon, kiriş ve perde elemanların eksen boyunda belirli bölgelerde yayıllı olarak oluşan plastik şekildeğiştirmelerin belirli bir

kesitte toplandığının kabul edilmesi “Yığılı Plastik Davranış” kabulü olarak adlandırılmaktadır. Deprem yükleri altında, kiriş ve kolonlarda en büyük moment uç bölgelerde olduğundan, plastikleşme de bu bölgelerde oluşmaktadır. Bu nedenle yığılı plastik şekildeğiştirmeyi temsil eden plastik mafsalları kiriş ve kolonlar için net açıklıkların uçlarına, perdelerde ise ilgili katta perde alt ucuna tanımlanmaktadır. TBDY 2018’de Yığılı Plastik Davranış Modeli’nde iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır ve bu bölgenin uzunluğu plastik mafsalları boyu L_p olarak adlandırılmaktadır. Plastik mafsalları boyunun, çalışan doğrultudaki kesit boyunun yarısı kadar olduğu kabul edilmektedir. ($L_p = 0.5h$)

Kirişlerde yığılı plastik mafsalları, kiriş uçlarına idealize edilmiş moment eğrilik ilişkisi tariflenerek tanımlanmaktadır. TBDY 2018 akmadan sonra pekleşmeli veya pekleşmesiz davranışın tariflenmesine olanak vermektedir. Şekil 2.1’de pekleşmeli ve pekleşmesiz durum için idealize edilmiş moment-eğrilik grafikleri verilmiştir.



Şekil 2.1 (a) Pekleşmesiz, (b) pekleşmeli moment-eğrilik (DBYBHY, 2007)

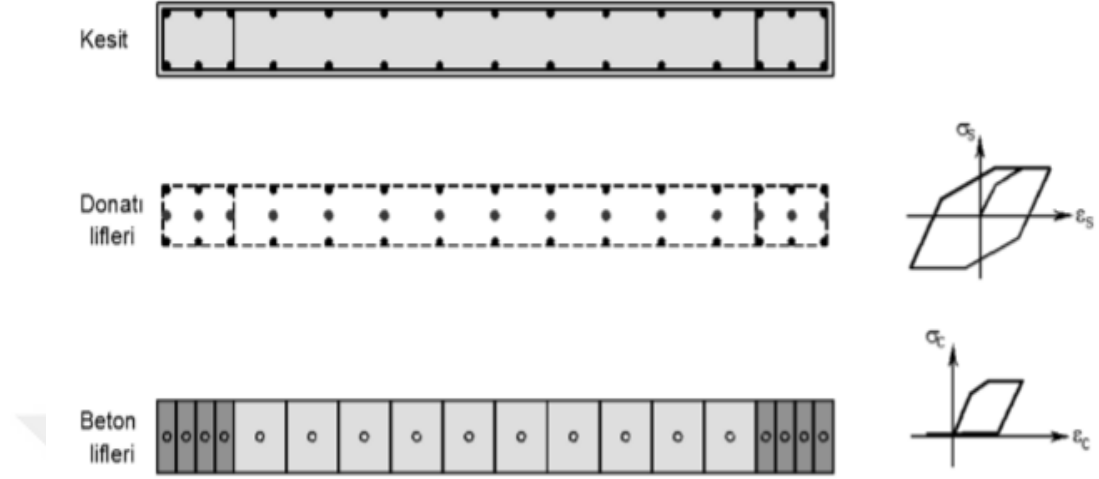
Kolonların taşıma gücü eksenel yük ile değiştiğinden dolayı, kolon uçlarına tariflenecek yığılı plastik mafsalları, karşılıklı etki diyagramı ile tanımlanmaktadır. Böylelikle, her bir akma yüzeyindeki moment-eğrilik ilişkisi tanımlanabilmektedir.

Bu çalışmada, doğrusal olmama durumu, taşıyıcı sistem elemanlarının uçlarına yığılı plastik mafsalları tariflenerek sağlanmıştır.

2.2.3.2 Yayılı Plastik Davranış Modeli

Çubuk sonlu elemanları olarak modellenebilen kolon, kiriş ve perde elemanlarda doğrusal olmayan davranış modeli olarak “Yayılı Plastik Davranış” modeli de kullanılmaktadır. Kesit içindeki sargılı (çekirdek) ve sargısız (kabuk) betonun küçük hücreler halinde, donatı çubuklarının ise tekil olarak modellenmesi esasına dayanmaktadır.

Her bir kesit hücresi fiber veya lif olarak isimlendirilmektedir. Şekil 2.2’de bir perde kesitinin yayılı plastik mafsal davranışının idealleştirilmesinde kullanılan fiberler gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Perde kesiti için yayılı plastik davranış modeli

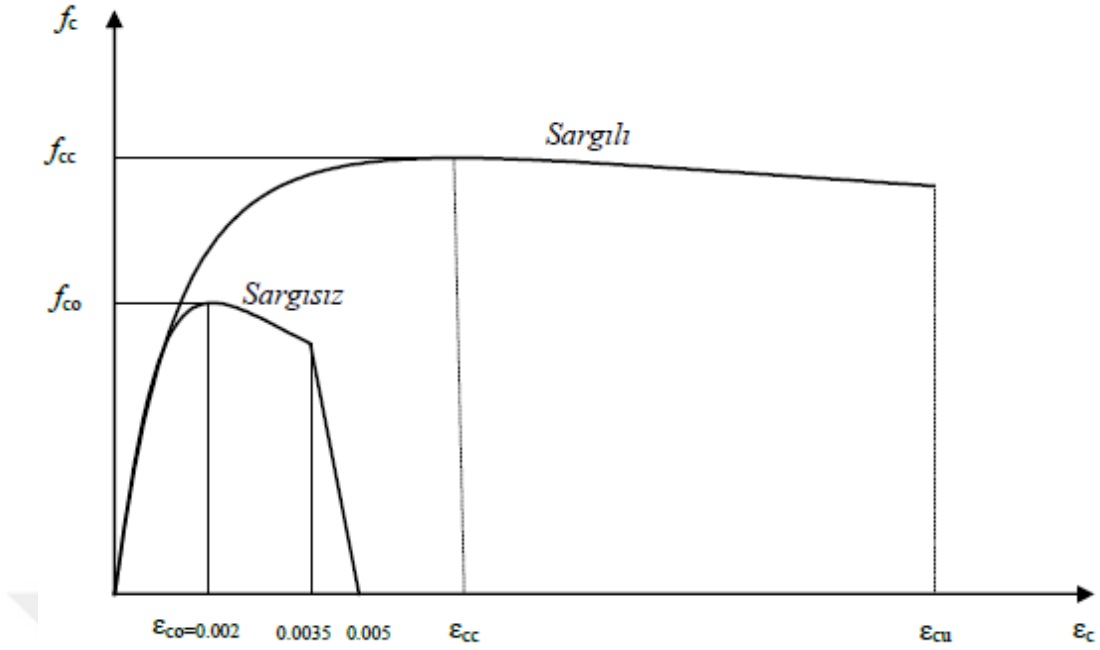
2.2.4 Malzemenin Modelleri

Deprem yükleri altında, bina taşıyıcı sistem elemanlarının hasar seviyelerinin elde edilmesinde gerekli şekildeğiştirmelerin belirlenmesi için, en temelde beton ve donatı çeliğinin davranışlarının tariflenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, beton ve donatı çeliği için gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları TBDY 2018 EK 5A’da verilmiştir. Buna göre, beton malzeme modeli olarak Mander beton modeli kullanılırken, donatı için ise gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi tanımlanmaktadır.

2.2.4.1 Beton Malzeme Modeli

Beton, basınçta çalışan bir malzemedir ve basınç dayanımına göre sınıflandırılır. Betonda dayanıma bağlı olmadan oluşan en büyük birim kısalma 0.002’dir. Betonun ezilerek kırılmasına neden olan birim kısalması sargısız betonda 0.0035 iken, sargılı betonda sargı donatısı (etriye) miktarına bağlı olarak önemli oranda artabilmektedir (Maltas, 2007). Sargı etkisini de gözönüne alan bir gerilme-şekildeğiştirme modeli olarak Mander beton modeli kullanılmaktadır.

Doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede TBDY 2018’de, betonun gerilme-şekildeğiştirme eğrisi olarak Mander Modeli esas alınmıştır. Şekil 2.3’te, kabuk betonu için sargısız ve çekirdek betonu için sargılı beton modelinin esas alındığı Mander’in gerilme-şekildeğiştirme eğrileri verilmiştir.



Şekil 2.3 Sargılı ve sargısız beton gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları (TBDY, 2018)

Sargılı betonda basınç gerilmesi f_c , basınç birim şekildeğiştirmesi ϵ_c 'nin fonksiyonu olarak (2.9) 'da verilmektedir.

$$f_c = \frac{f_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (2.9)$$

Bu bağıntıdaki sargılı beton dayanımı f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{co} arasındaki ilişki aşağıda gösterilmektedir.

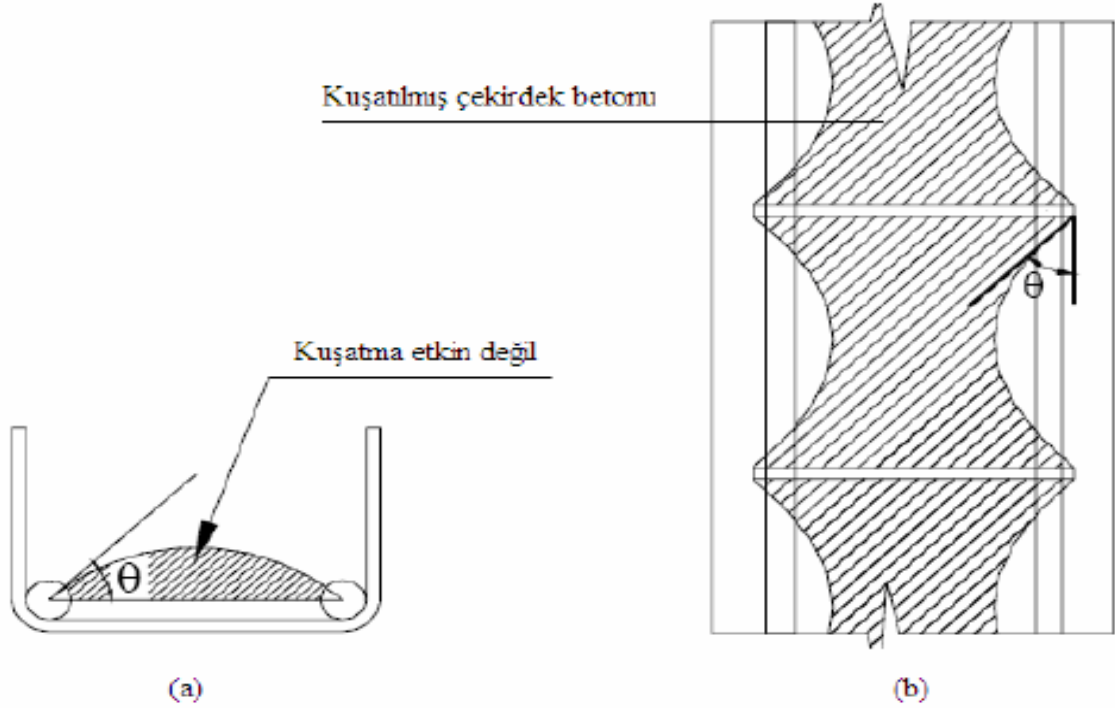
$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad ; \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (2.10)$$

Etkili sargılama basıncı f_e , dikdörtgen kesitlerde X ve Y doğrultuları için eşitlik (2.11)'de verilmiştir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (2.11)$$

Bu bağlantılarda f_{yw} enine donatı akma dayanımını, ρ ilgili doğrultudaki enine donatıların hacimsel oranını göstermektedir. k_e sargılama etkinlik katsayısıdır ve etkin sargılanmış çekirdek beton alanının, çevre etriye eksenleri arasında kalan boyuna donatı alanı içermeyen çekirdek betonu alanına oranını ifade etmektedir. Şekil 2.4'de kuşatmanın etkili olduğu ve olmadığı alanları gösteren bir kolon şekli Mander ikinci derece parabolünün başlangıç teğet eğimini $\theta = 45^\circ$ alarak, kuşatmanın etkin olmadığı parabol

alanlarını hesaplayarak bu değerleri çekirdek beton alanından çıkarmış ve etkin sargılanmış beton alanını bulmuştur. İlgili hesaplama (2.12) eşitliği ile tariflenmektedir.

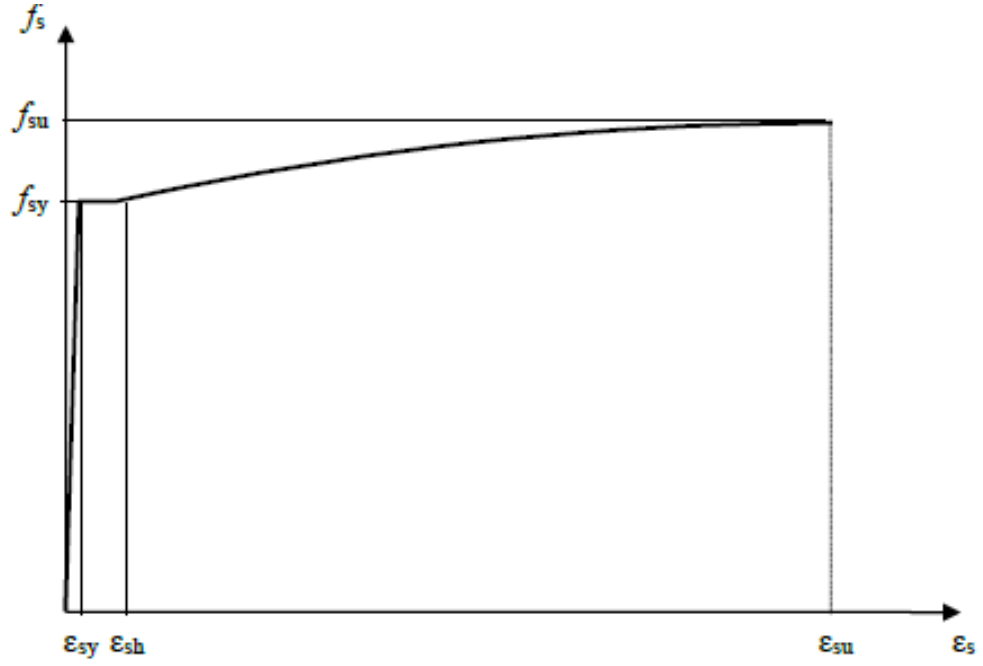


Şekil 2.4 Kesitte ve boyuna doğrultuda etkin sargı alanının hesaplanması

$$k_e = \left[1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o} \right] \left[1 - \frac{s}{2b_o} \right] \left[1 - \frac{s}{2h_o} \right] \left[1 - \frac{A_s}{b_o h_o} \right]^{-1} \quad (2.12)$$

2.2.4.2 Donatı Çeliği Malzeme Modeli

Çelik malzeme başlangıçta doğrusal elastik davranış gösterir. Elastik bölgenin sınırı akma gerilmesi f_{sy} olarak tanımlanır. Yüklemeye devam edildiği takdirde, donatı koparak dayanımını kaybetmektedir. Kopma gerilmesine karşı gelen gerilme f_{su} ve birim uzama ise ϵ_{su} ile gösterilmektedir. Akma gerilmesine kadar kalıcı bir şekilde şekil değiştirme meydana gelmezken, akma gerilmesinin üzerindeki gerilmelerde plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak şekil değiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmak üzere donatı çeliği için aşağıdaki gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılmaktadır. TBDY 2018’de verilen donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Donatı çeliği birim şekildeğiştirme gerilme eğrisi

$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \quad (2.13)$$

$$f_s = f_{sy} \quad (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \quad (2.14)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}) \quad (2.15)$$

Eğri üzerinde tariflenen değerler (2.13) (2.14) ve (2.15) eşitlikleri kullanılarak hesaplanır. Donatı çeliğinin elastik modülü $E_s=2 \times 10^5$ MPa'dır. Donatı çeliğine ait diğer bilgiler aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 2.5 Donatı çeliğine ait bilgiler (TBDY, 2018)

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su}/f_{sy}
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.2
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15-1.35

2.2.5 Taşıyıcı Eleman Gevreklik ve Süneklik Tayini

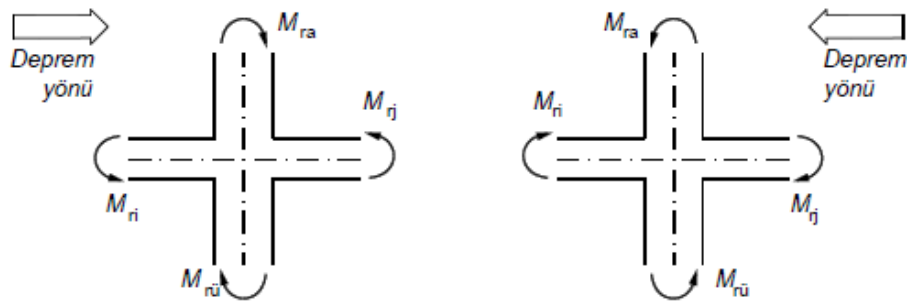
Dayanımda azalma olmaksızın elastik ötesi şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme yapabilen ve bu kapasitesi yüksek olan kesit, eleman veya sistemler, sünek olarak tanımlanmaktadır. Şekildeğiştirme veya yerdeğiştirme kapasitesi olmadan malzeme taşıma gücüne ulaşan sistemler ise gevrek olarak isimlendirilmektedirler. TBDY 2018’de şekildeğiştirmeye göre değerlendirmenin yapılabilmesi için kesitlere yayılı veya yığılı plastik mafsallar tanımlanmaktadır. Kesitlere bu mafsalların tanımlanması için ilk aşamada o elemanın sünek olduğu gösterilmelidir. Aksi takdirde, gevrek olduğu belirlenen elemanlarda doğrudan kuvvet esaslı bir değerlendirme yapılarak, kesme kapasitesinin aşılp aşılmadığı belirlenmektedir.

2.2.5.1 Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması

TBDY 2018’e göre 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 en az %20 daha büyük olması gerekir (2.16).

$$M_{ra} + M_{r\bar{u}} \geq 1.2 (M_{ri} + M_{rj}) \quad (2.16)$$

Burada M_{ra} ve $M_{r\bar{u}}$ kolonun serbest yüksekliğinin alt ve üst ucundaki betonun tasarım dayanımı (f_{cd}) ve donatı çeliğinin tasarım akma dayanımına (f_{yd}) göre hesaplanan taşıma gücü momentini, M_{ri} kirişin sol ucu i’deki kolon yüzünde ve M_{rj} kirişin sağ ucu j’deki kolon yüzündeki pozitif veya negatif taşıma momentini göstermektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Deprem yönü ile uyumlu taşıma gücü momentleri

Kolon taşıma gücü momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momenti en küçük yapan eksenel yük kuvvetleri hesaba katılmaktadır.

2.2.5.2 Kiriş Elemanların Gevreklik ve Süneklik Tayini

Kapasite tasarımı ilkesine uygun olarak, gevrek davranışa neden olan kesme kuvveti kapasitesinin sünek davranış sağlayan eğilme kapasitesinden yüksek olması sağlanmalı ve kesme kuvvetinden dolayı oluşabilecek dayanım kaybı hiçbir koşul altında eğilmeden dolayı oluşacak dayanım kaybından önce oluşmamalıdır (Darılmaz, 2019).

Süneklik düzeyi yüksek kirişler için kesme kuvveti V_e , kirişin iki ucunda depremin yönü de dikkate alınarak hesaplanan eğilme momenti kapasiteleri M_{pi} ve M_{pj} ile düşey yükler altında oluşan kesme kuvveti V_{dy} kullanılarak (2.17) eşitliği ile hesaplanmaktadır. Kesme kuvveti hesabında, depremin yönü dikkate alınarak en elverişsiz sonuç verecek şekilde değerlendirme yapılmaktadır.

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj})/l_n \quad (2.17)$$

Burada M_{pi} ve M_{pj} için daha kesin hesap yapılmadığı durumda, pekleşmenin dikkate alındığı taşıma gücü momenti, eğilme momentlerinin 1.4 katı olarak hesaba katılmaktadır ($M_{pi} \cong 1.4M_{ri}$ ve $M_{pj} \cong 1.4M_{rj}$). Kirişte kesme kuvveti sonucu meydana gelecek sünek kırılma türü için sağlanması gereken koşullar (2.18) ve (2.19)'da belirtilmektedir.

$$V_e \leq V_r \quad (2.18)$$

$$V_e \leq 0.85bh\sqrt{f_{ck}} \quad (2.19)$$

Buradaki V_r TS500'e göre hesaplanmaktadır. Kiriş sarılma bölgelerindeki enine donatının hesabında sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük ($V_e > 0.5V_d$) olması durumunda betonun kesme dayanımına katkısı V_c , dikkate alınmaz. Aksi durumda, $V_c = 0.8V_{cr}$ olarak hesaba katılmaktadır.

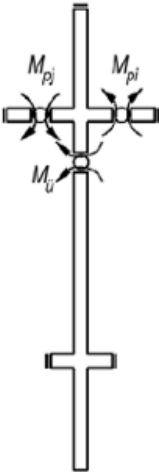
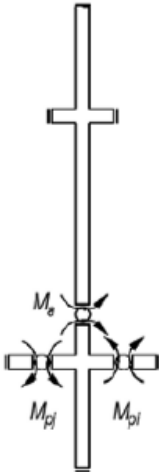
2.2.5.3 Kolon Elemanların Gevreklik ve Süneklik Tayini

Süneklik düzeyi yüksek kolonlar için kesme kuvveti V_e kapasite tasarımı kullanılarak denklem (2.20) ile hesaplanmaktadır.

$$V_e = \frac{(M_a + M_{\ddot{u}})}{l_n} \quad (2.20)$$

Süneklik düzeyi yüksek kolonlar için kesme kuvveti V_e 'nin belirlenmesinde kullanılan kolon uç momentlerin elde edilmesi, plastik mafsalların kolon veya kirişte oluşmasına

göre değişmektedir. Yani, kolonların kirişlerden güçlü olma şartının sağlanıp sağlanmamasına göre iki farklı yaklaşımla elde edilmektedir (Şekil 2.7).

M _ü 'nün hesaplanması		M _a 'nın hesaplanması	
Kolon üst ucunda kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun		Kolon alt ucunda kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun	
sağlanması durumu	sağlanamaması durumu	sağlanamaması durumu	sağlanması durumu
 $\sum M_p = M_{pi} + M_{pj}$ $M_u = \frac{M_{hü(i)}}{M_{hü(i)} + M_{ha(i+1)}} \sum M_p$	 $M_u = M_{pü}$	 $M_a = M_{pa}$	 $\sum M_p = M_{pi} + M_{pj}$ $M_a = \frac{M_{ha(i)}}{M_{ha(i)} + M_{hü(i+1)}} \sum M_p$

Şekil 2.7 Kolon alt ve üst momentlerin (M_a ve M_u) belirlenmesi

Kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunu sağlıyorsa, plastik mafsal ilk olarak kiriş uçlarında oluşmaktadır. Bu durumda kolonun tasarım kesme kuvveti hesabında, düğüm noktasına birleşen kirişlerin uçlarındaki eğilme momenti kapasitelerinin toplamı (2.21) kullanılmaktadır.

$$\sum M_p = M_{pi} + M_{pj} \quad (2.21)$$

Eğilme momenti hesabında donatının pekleşme etkisi dikkate alınmaktadır. Deprem yönetmeliği daha kesin hesap yapılmadığı durumda, pekleşmenin dikkate alındığı taşıma gücü momenti için eğilme momentlerinin 1.4 katı olarak ($M_{pi} \cong 1.4M_{ri}$ ve $M_{pj} \cong 1.4M_{rj}$) hesaba katılmasına olanak sağlamaktadır.

Ancak mevcut yapı için betonarme elemanların kırılma türünün belirlenmesinde kullanılan kesme kuvveti V_e 'nin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılmaktadır. $\sum M_p$ hesabı için depremin her iki yönü için ayrı ayrı uygulanacak ve her bir doğrultuda elde edilen en büyük değer dikkate alınmaktadır. Kolonun alt veya üst ucunda elde edilen M_{ra} ve $M_{r\bar{u}}$ momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en büyük yapan eksenel kuvvetler gözönüne alınmaktadır.

Kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu sağlandığında M_a ve $M_{\bar{u}}$ değerlerinin hesabı denklem 2.22 ve denklem 2.23'teki gibi yapılmaktadır.

$$M_a = \frac{M_{ha(i)}}{M_{ha(i)} + M_{h\bar{u}(i-1)}} \sum M_p \quad (2.22)$$

$$M_{\bar{u}} = \frac{M_{h\bar{u}(i)}}{M_{h\bar{u}(i)} + M_{h\bar{u}(i+1)}} \sum M_p \quad (2.23)$$

Kolonların kirişlerden güçlü olmadığı düğüm noktasına birleşen kolonların uçlarındaki moment değerleri olarak kolonların moment kapasiteleri hesaplanır. Temele bağlanan kolonların alt ucundaki M_a momenti ise, kolonların moment kapasiteleri olarak hesaba katılmaktadır. Kolonda kesme kuvveti sonucu meydana gelecek sünek kırılma türü için sağlanması gereken koşullar aşağıda verilmiştir.

$$V_e \leq V_r \quad (2.24)$$

$$V_e \leq 0.85bh\sqrt{f_{ck}} \quad (2.25)$$

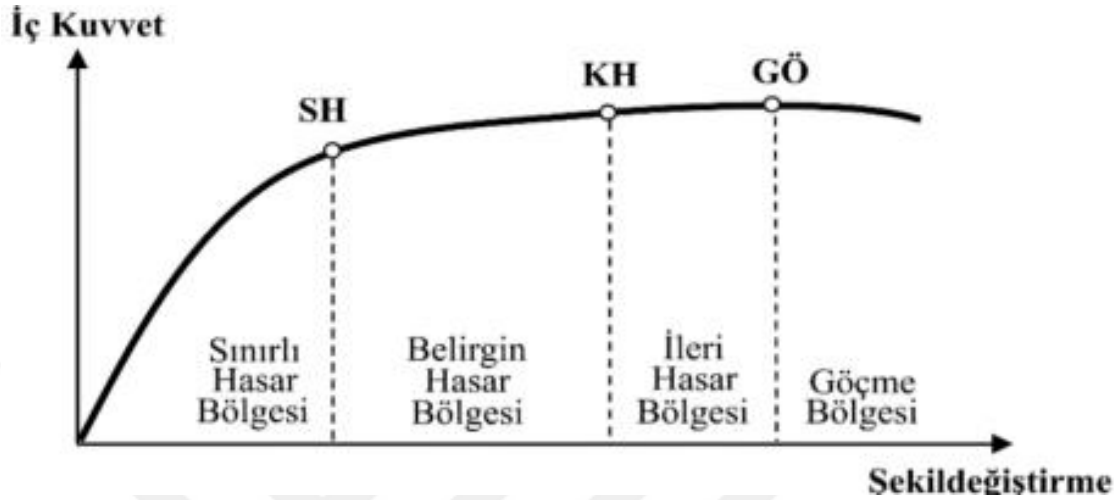
Buradaki V_r TS500'e göre hesaplanır. Kolon sarılma bölgelerinde aynı anda $V_e \geq 0.5V_d$ ve $N_d \leq 0.05A_c f_{ck}$ olması durumunda betonun kesme dayanımına katkısı V_c , dikkate alınmaz. Aksi durumda, $V_c = 0.8V_{cr}$ olarak hesaba katılır.

2.2.6 Kesit Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi

Bu bölümde bahsedilen analiz yöntemlerinden herhangi biri kullanılarak sünek elemanlar için elde edilen kesit plastik dönmeleri veya malzeme birim şekildeğiştirmeleri, TBDY 2018'de verilen hasar sınır değerleri ile karşılaştırılarak taşıyıcı eleman hasar seviyeleri elde edilmektedir. TBDY 2018'de, belirli bir deprem etkisi altında mevcut veya güçlendirilecek binaların taşıyıcı elemanlarında oluşabilecek dört farklı hasar durumu tanımlanmıştır.

2.2.6.1 Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Deprem yükleri altında taşıyıcı sistemin davranışı yapıda meydana gelen en büyük tepe yerdeğiştirme ve toplam taban kesme kuvveti (iç kuvvet) arasında çizilecek eğri ile tanımlanır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Betonarme elamanlarda kesit hasar sınırları ve sınır bölgeleri (TBDY, 2018)

Her hasar sınırına karşılık gelen sınır şekildeğiştirme değerleri aşağıda verilmiştir:

Göçmenin Önlenmesi Hasar Sınırı Değeri:

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Hasar Sınırını tanımlayan beton birim şekildeğiştirmesi $\epsilon_c^{(GÖ)}$ ve donatı birim şekildeğiştirmesi $\epsilon_s^{(GÖ)}$ sınır değerleri aşağıda (a) ve (b)'de tanımlanmıştır.

a) Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için beton birim kısalması:

Dikdörtgen kesite ait taşıyıcı elemanlar için:

$$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04 \sqrt{\omega_{we}} \leq 0.0018 \quad (2.26)$$

Dairesel kesite ait taşıyıcı elemanlar için:

$$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07 \sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (2.27)$$

Bu bağıntıda ω_{we} etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını göstermektedir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2.28)$$

Burada α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı, f_{ywe} enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımını göstermektedir.

Dikdörtgen kesite ait taşıyıcı elemanlar için:

$$\alpha_{se} = \left[1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o} \right] \left[1 - \frac{s}{2b_o} \right] \left[1 - \frac{s}{2h_o} \right] \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (2.29)$$

(2.29) eşitliğinde yer alan A_{sh} gözönüne alınan doğrultudaki enine donatının alanı, b_k dik doğrultudaki çekirdek boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık), s enine donatı aralığını, b_o ve h_o sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutları, a_i bir etriye veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığıdır.

Dairesel kesite ait taşıyıcı elemanlar için:

$$\alpha_{se} = \left[1 - \frac{s}{2D} \right]^n \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{os}}{D_s} \quad (2.30)$$

Burada A_{os} spiral/sargı donatısının alanı, s sargı donatısı aralığı, D ise spiral/sargı donatısı eksenleri arasındaki mesafedir. Dairesel enine donatı için $n=2$ ve spiral donatı için $n=1$ 'dir.

b) Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi:

$$\epsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4\epsilon_{su} \quad (2.31)$$

ϵ_{su} donatı çeliğinin çekme dayanımına karşılık gelmektedir.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) hasar sınırının elde edilmesinde kullanılmak üzere, yığılı plastik davranış modeline göre hesaplanan plastik dönme sınır değeri (2.32)'de verilen eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (2.32)$$

ϕ_u beton ve donatı çeliği birim şekildeğiştirmeleri dikkate alınarak, kolon elemanda oluşan eksenel yüke karşılık gelen göçme öncesi toplam eğriliği ifade eder. Buradaki son

terim, akma sonrası durum için akma uzaması penetrasyonuna bağlı donatı sıyrılması dönmesine karşı gelmektedir. GÖ performans durumu için hesaplanan iç kuvvet taleplerinin, ortalama(beklenen) malzeme dayanımları kullanılarak hesaplanan iç kuvvet kapasitelerinden küçük olması beklenir.

Kontrollü Hasar (KH) Sınır Değeri:

Kontrollü hasar sınırını belirleyen beton ve donatı çeliği için izin verilen maksimum birim şekildeğiştirmeler $\epsilon_c^{(KH)}$ ve $\epsilon_s^{(KH)}$ ile plastik dönme $\theta_p^{(KH)}$ sınırları aşağıda tanımlanmıştır.

$$\epsilon_c^{(KH)} = 0.75\epsilon_c^{(GÖ)} \quad ; \quad \epsilon_s^{(KH)} = 0.75\epsilon_s^{(GÖ)} \quad ; \quad \theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)} \quad (2.33)$$

Sınırlı Hasar (SH) Sınır Değeri:

Bir kesitin Sınır Hasar seviyesini aşmadığının kabul edilebilmesi için o kesitte plastikleşmeye izin verilmemektedir. Bu hasar sınırı için beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirme sınır değerleri (2.34)'te verilmiştir. Plastikleşmenin gerçekleşmediği durum söz konusu olduğundan, plastik dönmenin sıfır olması gerekmektedir.

$$\epsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad ; \quad \epsilon_s^{(KH)} = 0.0075 \quad ; \quad \theta_p^{(KH)} = 0 \quad (2.34)$$

2.2.7 Bina Performansının Belirlenmesi

Performans düzeyleri verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir (Özer, 2007).

Her kattaki taşıyıcı elemanın hasar seviyesi elde edildikten sonra, TBDY 2018'de verilen hasar seviyesi ve belirli hasar seviyesindeki eleman sayısına bağlı olarak binanın genel deprem performansı elde edilmektedir. TBDY 2018'de tanımlanan genel performans hedefleri aşağıda açıklanmıştır:

2.2.7.2 Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi

Herhangi bir katında, gözönüne alınan deprem doğrultusu için yapılan hesap ve değerlendirme sonucunda kiriş elemanların %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'nde bulunabilir, ancak diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'ndedir.

Yapıda gevrek kırılma oluşan taşıyıcı sistem elemanları güçlendirilerek sünek duruma getirilmesi koşuluyla, bu durumdaki bina Sınırlı Hasar Performans Düzeyi'nde kabul edilir. Çelik ve prefabrik betonarme yapılarda bu istisnalar geçerli değildir.

2.2.7.2 Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi

Yapıda gevrek kırılma oluşan taşıyıcı sistem elemanları güçlendirilerek sünek duruma getirilmesi koşuluyla, aşağıda belirtilen şartları sağlayan binaların Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

- Herhangi bir katta gözönüne alınan deprem doğrultusu için yapılan hesap ve değerlendirme sonucunda ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler dışında kalan kiriş elemanların en fazla %35'i, düşey elemanların (kolon, perde ve güçlendirilmiş bölme duvarlar) ise aşağıda tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- TBDY 2018'e göre 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 Sınırlı Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir.

Hasar durumu kirişler için oran olarak verilmiştir. Ancak kolonlarda oran kolon kesme kuvvetine ölçekli olarak verilmiştir. En üst katın, taşıyıcı sistemin kararlılığındaki daha az etkili durumu da oran %20'den %40'a arttırılarak belirginleştirilmiştir. Ayrıca kolonun iki ucunun da hasar bölgesine erişmesi anlamlı bir şekilde olumsuz bir durum olarak kabul edilmiştir (Celep,2018).

2.2.7.3 Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi

Yapıda gevrek kırılma oluşan taşıyıcı elamanların tümü Göçme Bölgesi'nde yer alır. Aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

- Herhangi bir katında, gözönüne alınan deprem doğrultusu için yapılan hesap ve değerlendirme sonucunda ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler dışında kalan kiriş elemanların en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.

- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir.

Sünek elemanlar için çeşitli hasar durumları tanımlanırken, gevrek elemanların taşıma gücüne eriştikten sonra doğrudan göçme durumuna geldiği kabul edilir. Burada da hasar durumu kırışlarda oran olarak verilirken, zorlanan kolonları daha etkili kılmak için oranı kolon kesme kuvvetine ölçekli olarak verilmiştir. Ayrıca, kolonun iki ucunun da hasar bölgesine erişmesi olumsuz ve güçlü kolon kavramının sağlanması olumlu bir durum olarak kabul edilmektedir (Celep,2018).

2.2.7.4 Göçme Durumu

Yapı Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'ni sağlamıyorsa Göçme Durumu'nda olduğu kabul edilir. Binanın kullanımı can güvenliği açısından sakıncalıdır.

DEPREM KAYITLARI SEÇİLMESİ VE ÖLÇEKLENDİRİLMESİ

3.1 Deprem Kayıtlarının Seçimi

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap (ZTADOH) için belirli kriterlere göre elde edilmiş yer hareketi kayıtları kullanılmalıdır. TBDY 2018’de ZTADOH için en az 11 adet yer hareketi kaydının kullanılması gerektiği, bu kayıtların da en fazla 3 tanesinin aynı depremden elde edilmiş kayıt olabileceği belirtilmiştir. Kullanılacak bu 11 adet yer hareketi kaydının seçiminde 3 farklı yol izlenebilmektedir:

- Geçmiş depremlerden kaydedilmiş kayıtlar
- Sentetik olarak üretilmiş kayıtlar
- Benzeştirilmiş kayıtlar

Yapay olarak elde edilen kayıtları kullanmadaki temel zorluk, çok sayıda deprem hareketinin ortalamasını simgeleyen tasarım spektrumuna uygun tek bir kayıt elde etmeye çalışılmasıdır (Kayhan, 2012). Gerçek ivme kayıtlarının çevrim sayısı yapay kayıtlardaki çevrim sayısından az olmaktadır bu da yapay kayıtların enerji içeriğinin gerçeğe aykırı olacak derece büyük olmasına neden olmaktadır (Bommer, 2004).

Deprem dalgalarının yayılım ortam ve zemin özellikleri dikkate alınarak tanımlanan sismolojik kaynak modelleri ile benzeştirilmiş kayıtlar da elde edilmektedir. Benzetim yolu ile elde edilen kayıtlar için, deprem dalgalarının yayılım ortamı ve zemin özellikleri dikkate alınarak tanımlanan sismolojik kaynak modelleri kullanılmaktadır. İvme kaydı, sismolojik modeller için kullanılacak kaynak, yayılım ortamı ve zemin özellikleri ile doğrudan ilişkilidir ve özellikle tasarım yönetmeliklerinin kullanıldığı durumlarda bu bilgiler çoğunlukla mevcut değildir (Bommer, 2004; Kayhan, 2012; Ozdemir ve Fahjan, 2007). Gerçek ivme kayıtları, genlik, süre, faz ve frekans içeriği, yerel zemin özelliği gibi özellikleri hakkında daha sağlıklı bilgiler içermesi nedeniyle, gerçek ivme kayıtlarının kullanılması daha uygun olmaktadır.

Bu tezde geçmiş depremlerden kaydedilmiş kayıtlar kullanılacağından, bu yöntem ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Gerçek deprem kayıtlarının seçimi aşağıdaki parametrelere göre yapılmaktadır:

- binanın bulunduğu bölgenin faya olan uzaklığı,
- sismik özellikler (atım tipi, genlik, frekans),
- yerel zemin özellikleri
- magnitüd.

Ayrıca seçilen depremler, TBDY 2018’de belirtilen tasarım depremi şiddetini sağlayabilmeleri açısından, Tasarım Spektrumu’na ölçeklenmektedirler. TBDY 2018’de, “basit ölçeklendirme” ve “spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirme” olmak üzere 2 farklı ölçekleme yöntemi önerilmektedir. Tasarım spektrumuna ölçeklenecek yer hareketi kaydının seçiminde, spektrum ile uyumlu depremlerin seçimi, ölçekleme sırasında yapılan uygulamalar sonucu orijinal kaydın içeriğinin istenmeyen mertebelerde değişmesini önleyecektir. Özdemir ve Fahjan 2007’de yaptıkları çalışmada, deprem kaydının spektrumu ve tasarım spektrumu arasında bir katsayı elde ederek; fay uzaklığı, faylanma tipi, yerel zemin sınıfı ve magnitüd gibi kriterlere göre seçilmiş birçok deprem arasından, bu katsayının ve hata oranının belirli değerleri çerçevesinde TBDY 2018 Tasarım Spektrumu’na uygun 11 adet deprem belirlenmesini sağlayan bir yöntem önermişlerdir.

Bu yöntemde, seçilen her bir deprem kayıt takımının iki yatay bileşenine ait spektrumlarının karelerinin toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrumları oluşturulmaktadır. Tasarım spektrumu ile uyumlu deprem yer hareketlerinin seçilebilmesi için denklem (3.1)’de verilen “alfa” değeri hesaplanmaktadır.

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_1}^{T_2} (S_a^{\text{gerçek}}(T) S_a^{\text{hedef}}(T))}{\sum_{T=T_1}^{T_2} (S_a^{\text{gerçek}}(T))^2} \quad (3.1)$$

Denklemden T_1 ve T_2 ölçeklemenin yapılacağı periyot sınırlarını göstermektedir. Ölçeklenmiş kayda ait davranış spektrumu ve tasarım spektrumuna bağlı olarak “Toplam Göreceli Hata” ve “Oransal Göreceli Hata” sırasıyla eşitlik (3.2) ve eşitlik (3.3)’e göre belirlenmektedir.

$$|\text{Toplam Göreceli Hata}| = \sum_{T=T_1}^{T_2} |[(\alpha S_a^{\text{gerçek}}(T) - S_a^{\text{hedef}}(T)) / S_a^{\text{hedef}}(T)]| \quad (3.2)$$

$$|\text{Oransal Göreceli Hata (\%)}| = \frac{1}{k} |\text{Toplam Göreceli Hata}| \times 100 \quad (3.3)$$

Oransal Göreceli Hata hesabında kullanılan “k” değeri kaydın davranış spektrumu çizilirken kullanılan periyot adım (ΔT) sayısıdır. Denklem (3.4) ile hesaplanmaktadır.

$$k = \frac{(T_2 - T_1)}{\Delta T} \quad (3.4)$$

TBDY 2018’de belirtilen kriterlere uygun olarak seçilen tüm kayıtlar arasından (Özdemir ve Fahjan bu sayıyı 50 olarak belirtmektedir) “alfa” ve “Oransal Göreceli Hatası” en küçük olan kayıtlar seçilerek ZTADOH’de kullanılmaktadır. Özdemir ve Fahjan (2007), doğrusal olmayan analizde kullanılacak depremlerin α değerinin 0.5 ile 2 arasında olmasını önermişlerdir.

3.2 Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

ZTADOH yönteminde kullanılan ve binanın bulunduğu konumun faya olan uzaklığı, sismik özellikler (atım tipi, genlik, frekans), yerel zemin özellikleri ve magnitüd gibi parametreler dikkate alınarak seçilen ivme kayıtları, tasarım depreminde ön görülen şiddeti sağlaması açısından, tasarım spektrumuna ölçeklenmelidir. TBDY 2018’de, “basit ölçeklendirme” ve “spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirme” olmak üzere iki farklı yöntem mevcuttur.

3.2.1 Basit Ölçeklendirme Yöntemi

Bu yöntemde, yer hareketi kaydı aynı miktarda yukarı veya aşağı yönde ölçeklenerek (1’den büyük veya 1’den küçük ve sabit bir katsayı ile çarpılarak), istenilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirme yapılır (Özdemir ve Fahjan, 2007). Deprem kayıtlarının bu yöntemle ölçeklendirilmesi amacıyla, her bir deprem kaydı için ayrı ölçeklendirme katsayısı belirlenebildiği gibi, tüm kayıtların bileşkelerinin ortalaması için tek bir ölçeklendirme katsayısı da kullanılabilir.

Yöntemin TBDY 2018’de önerilen uygulama şekli aşağıda özetlenmiştir:

- Ölçeklendirme katsayısı, deprem yer hareketine ait iki yatay bileşenin kareleri toplamının karekökü alınarak elde edilen bileşke spektrumları kullanılarak hesaplanmaktadır.
- Her iki yatay birleşeni tek bir ölçeklendirme katsayısı ile ölçeklendirilmektedir.
- Tüm depremlere ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ile $1.5T_p$ periyot aralığında tasarım spektrumunun ivme değerlerinin 1.3 katından küçük olmaması gerekmektedir. Buradaki T_p yapının doğal titreşim periyodudur.

3.2.2 Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçeklendirme Yöntemi

Ölçekleme yöntemlerinden bir diğeri, deprem kayıtlarının spektral uyum sağlanacak şekilde frekans alanında benzeştirilmesi esasına dayanmaktadır. Yöntem gereği, gerçek kaydın frekans aralığı değiştiğinden dolayı kaydın doğal özelliği değişmekte, bazı durumlarda yüksek mertebeleri bulan enerji ve hız içerikleri meydana gelmektedir. TBDY 2018’ye göre tüm periyotlar için benzeştirilmiş deprem kaydının spektrumlarının ortalamaları tasarım spektrumunkinden daha küçük olmaması gerekmektedir.

Bu tez kapsamında, orta yükseklikteki betonarme çerçevelerden oluşan mevcut bir binanın TBDY 2018 esaslarına göre deprem performansının elde edilmesi aşamasında, ZTADOH yöntemi kullanılması durumunda seçilen deprem kayıtlarının tasarım spektrumuna ölçeklenmesinde kullanılan yöntemlerin etkileri araştırılmıştır. Bu bölümde, çalışmada dikkate alınan bina analitik modelinin hazırlanması ve analiz yöntemi açıklanmıştır. Bu bölüm sırasıyla;

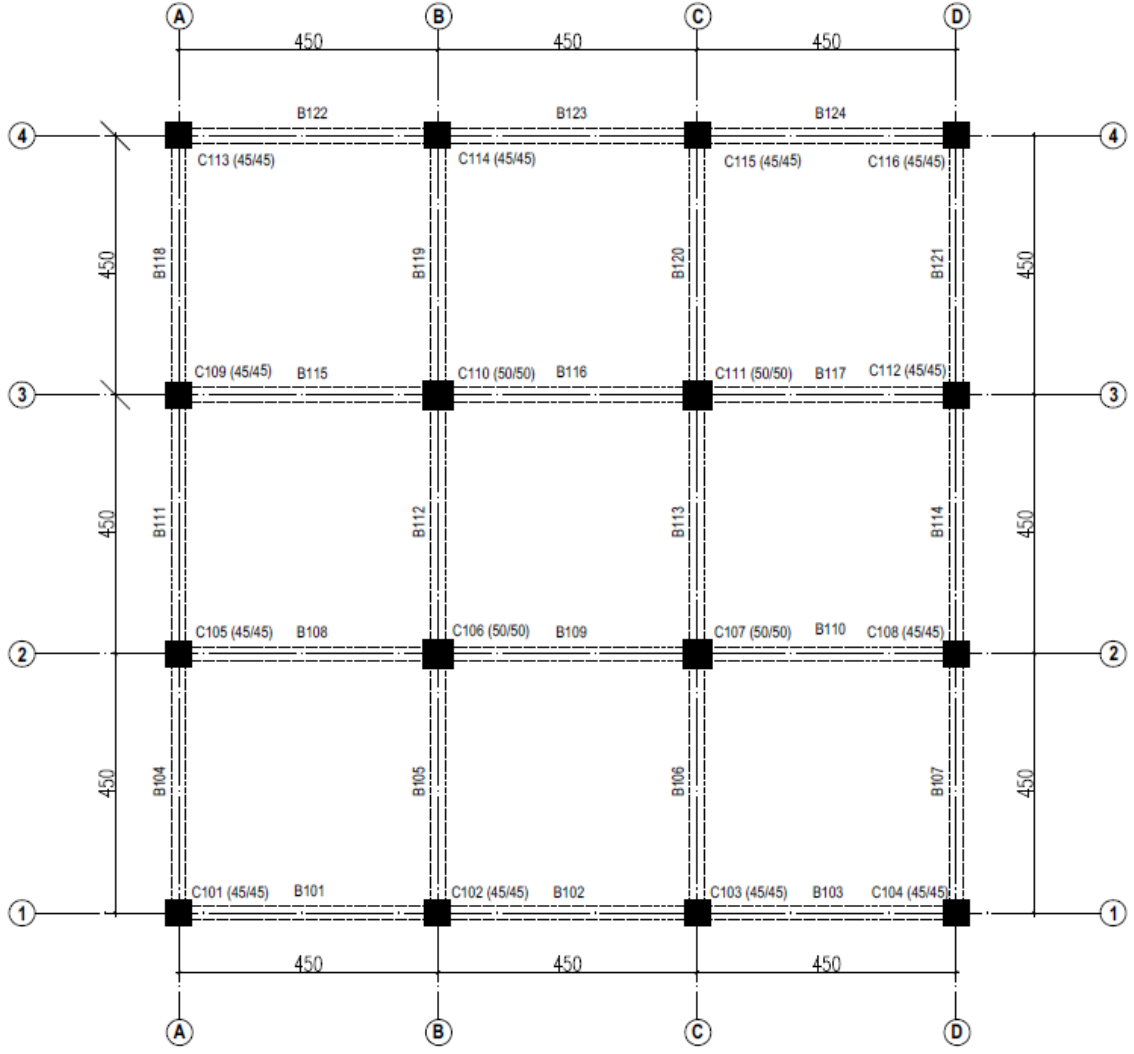
- Bina analitik modelinin oluşturulması
- Deprem kayıtlarının tasarım spektrumuna uygun seçilmesi
- Seçilen deprem kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi
- Seçilen deprem kayıtlarının spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirilmesi
- Doğrusal analiz yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemi
- Her iki ölçekleme yöntemi ile elde edilmiş ivme kayıtlarıyla ZTADOH yöntemi

konularını ve uygulama esaslarını kapsamaktadır.

4.1 Bina Bilgisi

Bu çalışmada, beş katlı betonarme çerçevelerden oluşan hipotetik bir mevcut bina kullanılmıştır. Dikkate alınan binanın beton sınıfı C16 ve donatı çeliği sınıfı ise S220'dir. Çalışmada, farklı ölçekleme yöntemlerinin performansa etkisinin araştırılması amaçlandığından bina modeli simetrik ve basit tutulmuş, düzensizlikler minimize edilerek bu faktörlerin yaratacağı etkiler ortadan kaldırılmıştır.

Zemin + 4 normal kat ile 5 katlı olan betonarme çerçeveli bina, planda her iki doğrultuda 3 açıklığa sahiptir ve tüm açıklıklar 4.5 m'dir. Konut binası olarak kullanılan yapının, kat yükseklikleri her katta aynı ve 3 m'dir. Bina kalıp planı Şekil 4.1'de verilmiştir. Tablo 4.1'de analizde dikkate alınan yükler verilmektedir.



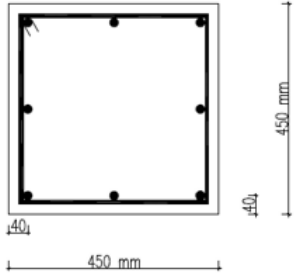
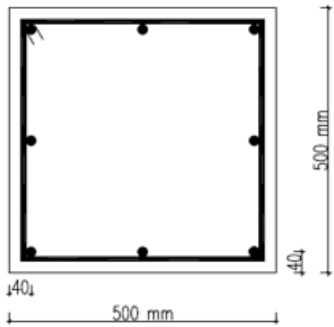
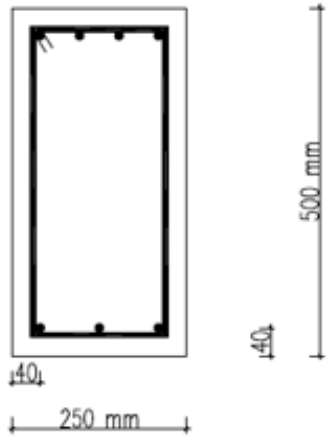
Şekil 4.1 Bina tipik kat planı

Tablo 4.1 Yük değerleri

Yük	SAP2000 İsmi	Değer
Sıva + kaplama yükü	SD	1.5 kN/m ²
Döşeme hareketli yük	Q	2.0 kN/m ²
Dış duvar yükü	SD	4.425 kN/m
İç duvar yükü	SD	6.125 kN/m

Taşıyıcı sistem elemanları kolon ve kiriş kesitlerinin eleman boyutları ve donatı detayları Tablo 4.2’de yer almaktadır.

Tablo 4.2 Kolon kesit ve donatı bilgisi

Kesit Görselleri	Donatı Bilgisi
	<u>45/45 Kolon Kesiti</u> Düşey donatı: 8Φ20 Etriye: Φ8/250mm
	<u>50/50 Kolon Kesiti</u> Düşey donatı: 8Φ20 Etriye: Φ8/250mm
	<u>25/50 Kiriş Kesiti</u> Üst donatı: 4Φ12 Alt donatı: 3Φ12 Etriye: Φ8/250mm

TBDY 2018’de Bölüm 3-Deprem Etkisi Altında Binaların Değerlendirilmesi ve Tasarımı için Genel Esaslar başlığı altında bina için tanımlanan genel parametreler aşağıda Tablo 4.3’te yer almaktadır.

Tablo 4.3 Bina parametreleri

Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	2
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	6
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	1

Binanın, Samsun İli İlk Yardım İlçesi'nde bulunduğu varsayılmıştır. 41.290772° enlem ve 36.331598° boylamında bulunan binanın bulunduğu lokasyona ait mevcut zemin raporunda zeminin ZD sınıfında olduğu belirtilmiştir. Zemin raporundan alınan zemin sınıfı ve yapının bulunduğu konum bilgilerine göre Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından hazırlanan “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması” üzerinden alınan Sismik Tehlike Haritası Yer Hareketi Verileri Tablo 4.4'te yer almaktadır.

Tablo 4.4 Sismik tehlike haritası yer hareketi verileri

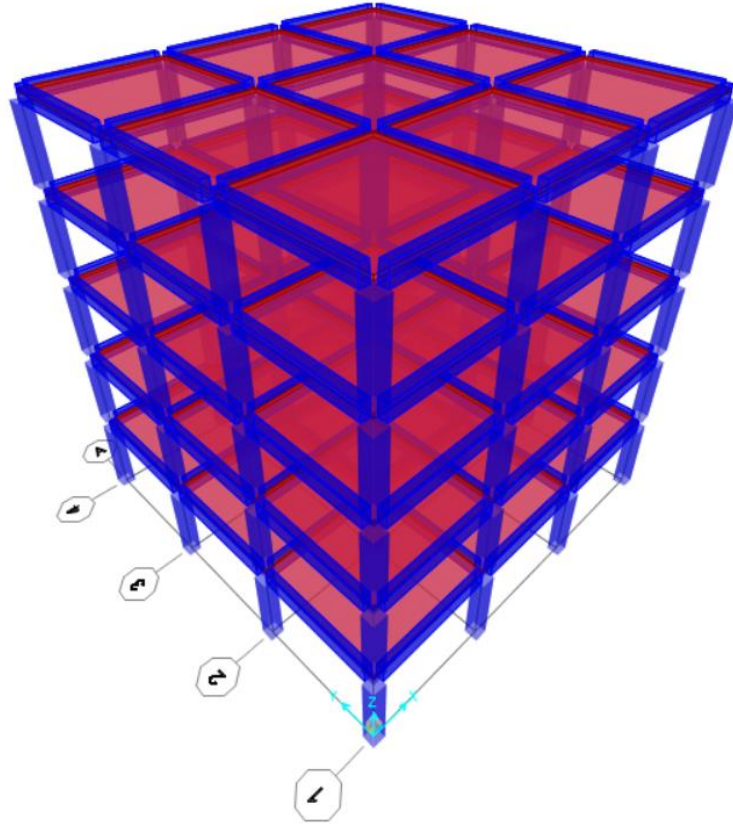
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S)	0.518 (g)
1.0 sn periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0.183 (g)
S_{DS}	0.718 (g)
S_{D1}	0.409 (g)
En büyük yer ivmesi (PGA)	0.220 (g)
En büyük yer hızı (PGV)	15.331 (g)

4.2 Bina Analitik Modeli

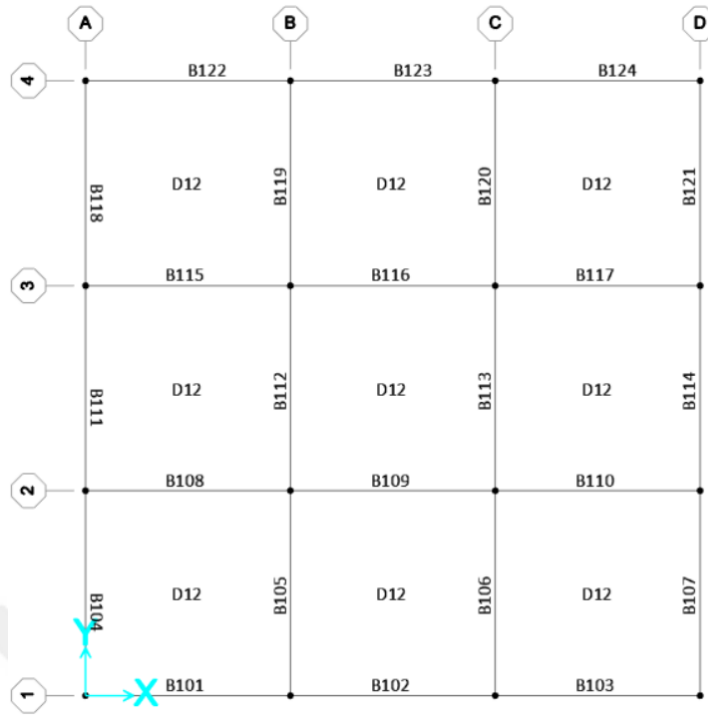
Binanın analitik modeli SAP2000 V21.0 programında üç boyutlu olarak oluşturulmuştur. Modellemede esas alınan durumlar aşağıda belirtilmiştir:

- Kolon ve kiriş elemanlar çubuk eleman olarak modellenmiş, kesit tanımlamaları SAP2000 programında Section Designer ara yüzünde oluşturulmuştur.
- Taşıyıcı sistemin düğüm noktaları rijit kabul edilmiş (kiriş-kolon birleşim bölgesi güvenliği kontrolü yapılarak bu durumun sağlandığı araştırılmıştır), kolonların temele bağlantısını tanımlamak için kolon alt uçuna ankastre mesnet ataması yapılmıştır.
- Kolon, kiriş ve döşeme elemanlarında çatlamış kesit rijitlikleri dikkate alınmıştır.

Şekil 4.2’de, binanın SAP2000 programında hazırlanan modelinin 3 boyutlu görünüşü verilmektedir. Plan görünüşleri Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Binanın 3 boyutlu modeli



Şekil 4.3 Binanın kat planı



Şekil 4.4 Binanın X-Z doğrultusundaki plan görünüşü



Şekil 4.5 Binanın Y-Z doğrultusundaki plan görünüşü

4.2.1 Malzeme Bilgileri

Analiz modeline beton sınıfı C16, donatı çeliği sınıfı S220 için beton ve çelik malzemenin mevcut dayanımları dikkate alınarak tanımlanmıştır. 16 MPa basınç dayanımına sahip betonun elastisite modülü TBDY 2018’de belirtilen eşitlik (4.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_c = 5000\sqrt{f_{ck}} \quad (4.1)$$

Sargılı ve sargısız beton modelleri ile donatı çeliği modelinin tanımlanması sırasında TBDY 2018 EK 5A kapsamında belirtilen dayanım ve birim şekildeğiştirme değerleri dikkate alınmıştır.

SAP2000 programına beton malzeme bilgileri Şekil 4.6’da gösterildiği gibi tanımlanmıştır. Betonun doğrusal olmama durumu dikkate alınarak beton birim şekildeğiştirme değerleri Mander (Sargılı) beton modeline göre, Şekil 4.7’deki gibi programa tanımlanmıştır. Sonucunda oluşan gerilme birim şekildeğiştirme eğrisi Şekil 4.8’de verilmiştir.

Material Property Data

Material Name: C16

Material Type: Concrete

Symmetry Type: Isotropic

Modulus of Elasticity: E = 20000

Poisson: U = 0.2

Coeff of Thermal Expansion: A = 9.900E-06

Shear Modulus: G = 8333.3333

Weight and Mass: Weight per Unit Volume = 2.500E-05, Mass per Unit Volume = 2.550E-09

Units: N, mm, C

Other Properties For Concrete Materials: Specified Concrete Compressive Strength, f_c = 16, Expected Concrete Compressive Strength = 16, ☐ Lightweight Concrete, Shear Strength Reduction Factor =

Advanced Material Property Data: Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties...

OK Cancel

Şekil 4.6 Beton malzeme (C16) tanımlanması

Nonlinear Material Data

Edit

Material Name: C16

Material Type: Concrete

Hysteresis Type: Takeda

Drucker-Prager Parameters: Friction Angle = 0, Dilatational Angle = 0

Units: N, mm, C

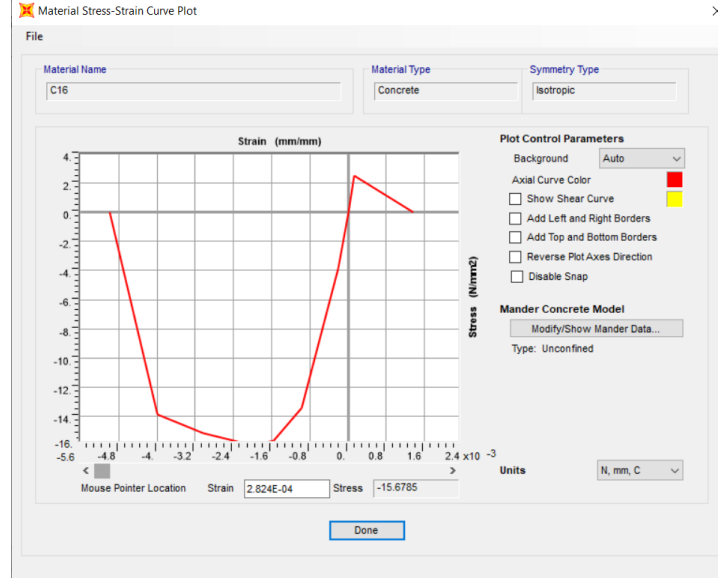
Stress-Strain Curve Definition Options: ☒ Parametric, ☐ User Defined, Mander, Convert To User Defined

Parametric Strain Data: Strain At Unconfined Compressive Strength, f_c = 2.000E-03, Ultimate Unconfined Strain Capacity = 5.000E-03, Final Compression Slope (Multiplier on E) = -0.1

Show Stress-Strain Plot...

OK Cancel

Şekil 4.7 Beton malzeme (C16) doğrusal olmamasının tanımlanması



Şekil 4.8 Beton malzeme (C16) gerilme-şekildeğiştirme eğrisi

Donatı çeliği malzeme bilgileri ise Şekil 4.9'daki gibi tanımlanmıştır. Donatı çeliğine ait şekildeğiştirme sınır değerleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

Şekil 4.9 Donatı çeliği (S220) tanımlanması

Tablo 4.5 Donatı çeliğine ait birim şekildeğiştirme sınır değerleri

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}
S220	220	0.0011	0.011	0.12

Buradaki ϵ_{su} donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesidir. Bu değerler, analiz modeline aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Şekil 4.10). Donatı çeliği için gerilme birim şekildeğiştirme eğrisi Şekil 4.11’deki gibi oluşmaktadır.

Şekil 4.10 Donatı çeliği malzemesi (S220) doğrusal olmamasının tanımlanması



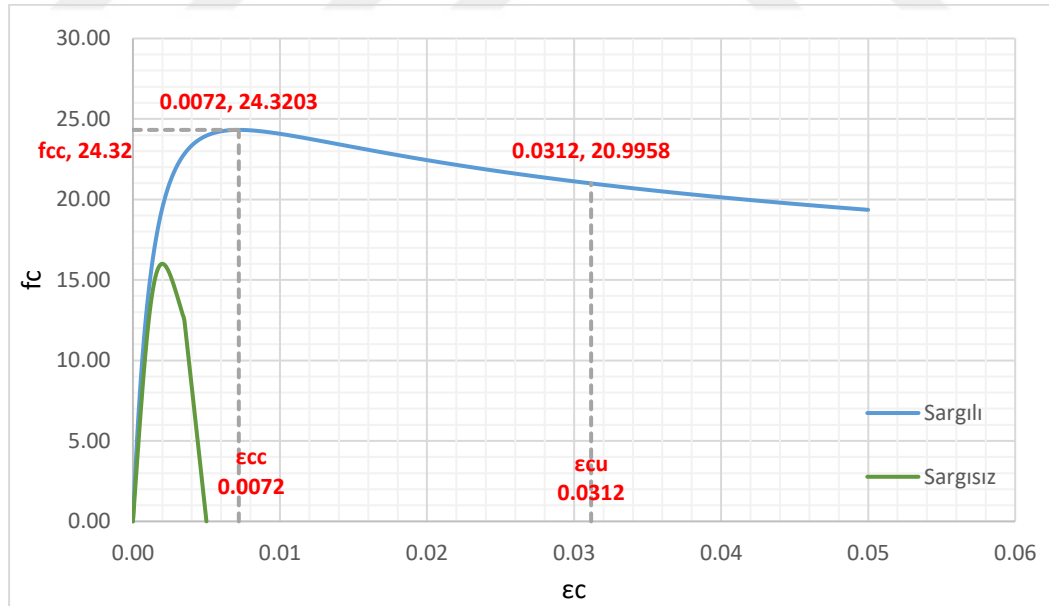
Şekil 4.11 Donatı çeliği malzeme (S220) gerilme-şekildeğiştirme eğrisi

Sargılı (çekirdek) beton için basınç birim şekildeğiştirme değeri ϵ_{cc} , ve sargılı beton dayanımı f_{cc} Mander Modeline göre hesaplanmıştır. Hesapta kullanılan parametreler EK A 'da yer almaktadır. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 4.6'da verilmiştir.

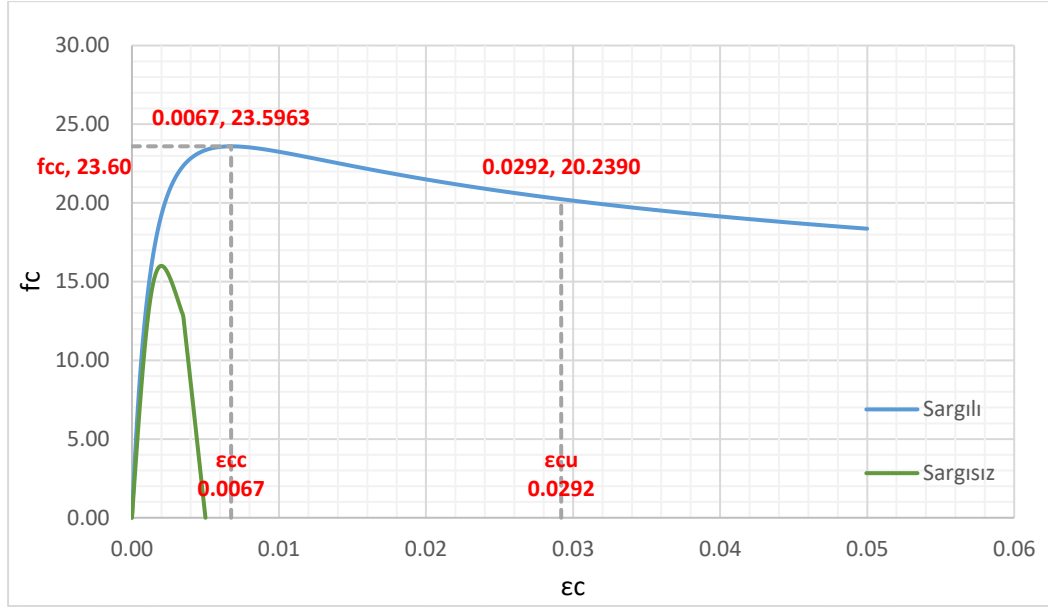
Tablo 4.6 Beton malzeme için birim şekildeğiştirme- basınç dayanımı değerleri

Kesit	Sargısız (Kabuk) Beton		Sargılı (Çekirdek) Beton	
	ϵ_{co}	f_{co} (Mpa)	ϵ_{cc}	f_{cc} (Mpa)
C45/45	0.002	16	0.0072	24.32
C50/50	0.002	16	0.0067	23.60

Doğrusal olmayan yöntemler ile şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede sargılı-sargısız beton için gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı elde edilmiştir. 45/45 ve 50/50 kolon kesitine ait Mander modeline göre elde edilen sargılı ve sargısız beton için gerilme birim şekildeğiştirme eğrisi sırasıyla Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te gösterilmektedir.



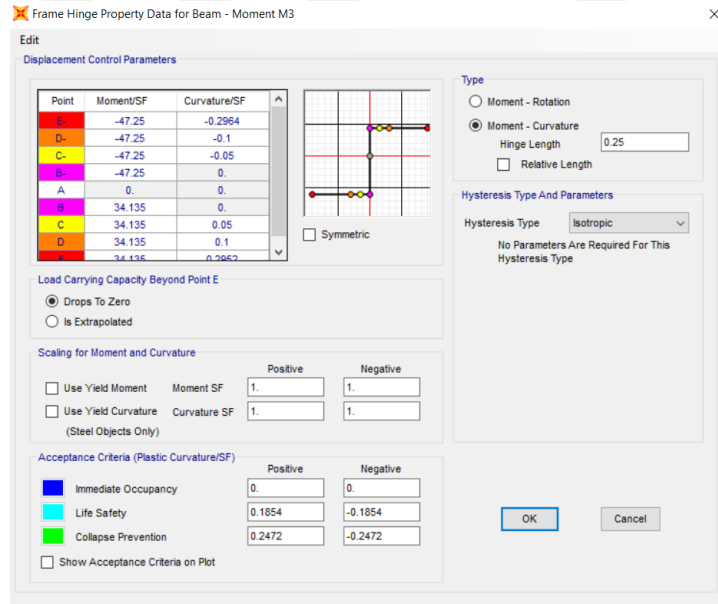
Şekil 4.12 45/45 kolon kesitine ait gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi



Şekil 4.13 50/50 kolon kesitine ait gerilme - birim şekildeğiştirme eğrisi

4.2.2 Plastik Mafsal Tanımlama

Binanın analitik modelinde doğrusal olmama durumu, kolon ve kiriş uçlarına “Yığılı Plastik Davranış Modeli” tanımlanarak sağlanmıştır. Kiriş uçlarına plastik mafsal olarak atanacak moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.14’te verilmiştir.



Şekil 4.14 Kiriş elemanda plastik mafsal tanımlanması

Kolon kapasiteleri eksenel yüke bağlı olduğundan, kolonların uçlarına plastik mafsal atanması karşılıklı etki diyagramı tanımlanarak yapılmaktadır. Akma yüzeylerindeki eğrilik ilişkisi elastoplastik olarak kabul edilmiştir.

4.3 Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

TBDY 2018’de belirtilen kurallara göre seçilen ve iki farklı yöntem ile tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilen 11 adet deprem kayıt çifti elde edilmiştir.

4.3.1 ZTADOH Yönteminde Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçimi

Artan deprem etkisini ve yer hareketindeki rastgeleliği temsil etmek üzere her istasyonda iki yatay bileşen ve 6.5 ile 9 arasında değişen büyüklüğe sahip, faya olan uzaklığı 30 km ile 60 km arasında olan 66 tane deprem ivme kaydı arasından deprem seçimi yapılmıştır. Binanın bulunduğu konumdaki zemin sınıfının ZD olmasından dolayı, bu zemin sınıfı ile uyumlu olan kayma dalgası hızı 180 m/s ile 360 m/s arasında olan depremler seçilmiştir. Yakın alan etkisini azaltabilmek adına uzaklıkların en az 30 km olmasına dikkat edilmiştir. Bu sayede yakın alan etkisi taşıyan yer hareketlerinin kısmen de olsa ayıklandığı düşünülmektedir.

Tasarım spektrumuna en yakın olacak şekilde deprem kayıtlarının seçimi için ayrıntıları Bölüm 3’te verilen Özdemir ve Fahjan’ın 2007’de yaptıkları çalışmada önerilen yöntem kullanılmıştır. Özdemir ve Fahjan’ın önerdiği yönteme göre elde edilen “alfa” ve “Oransal Görelî Hata” değerlerine bağlı olarak uygun depremler seçilmiştir. Alfa değeri 0.5 ile 2 arasında olan depremler arasından, “alfa” ve “Oransal Görelî Hata” değerleri en küçük olacak şekilde 11 adet deprem, ZTADOH yönteminde kullanılmak üzere seçilmiştir. Böylece, 66 adet deprem kaydı arasından, en uygun 11 yer hareketi kaydı çalışmada kullanılmıştır. Seçilen yer hareketi kayıtlarına ait alfa ve oransal görelî hata değerleri Tablo 4.7’de verilirken, bu kayıtlara ait özellikler ise Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.7 Seçilen deprem kayıtlarının alfa ve oransal görelî hata değerleri

Deprem Adı	Yıl	PEER Numarası	Alfa	Oransal Görelî Hata
Imperial Valley	1979	166	1.680	46.01
Trinidad	1980	281	1.478	39.56
Trinidad	1980	282	1.297	50.36
Kobe Japan	1995	1118	0.875	40.38
Kocaeli	1999	1149	1.601	24.69

Tablo 4.7 Seçilen deprem kayıtlarının alfa ve oransal görelî hata değeri (devamı)

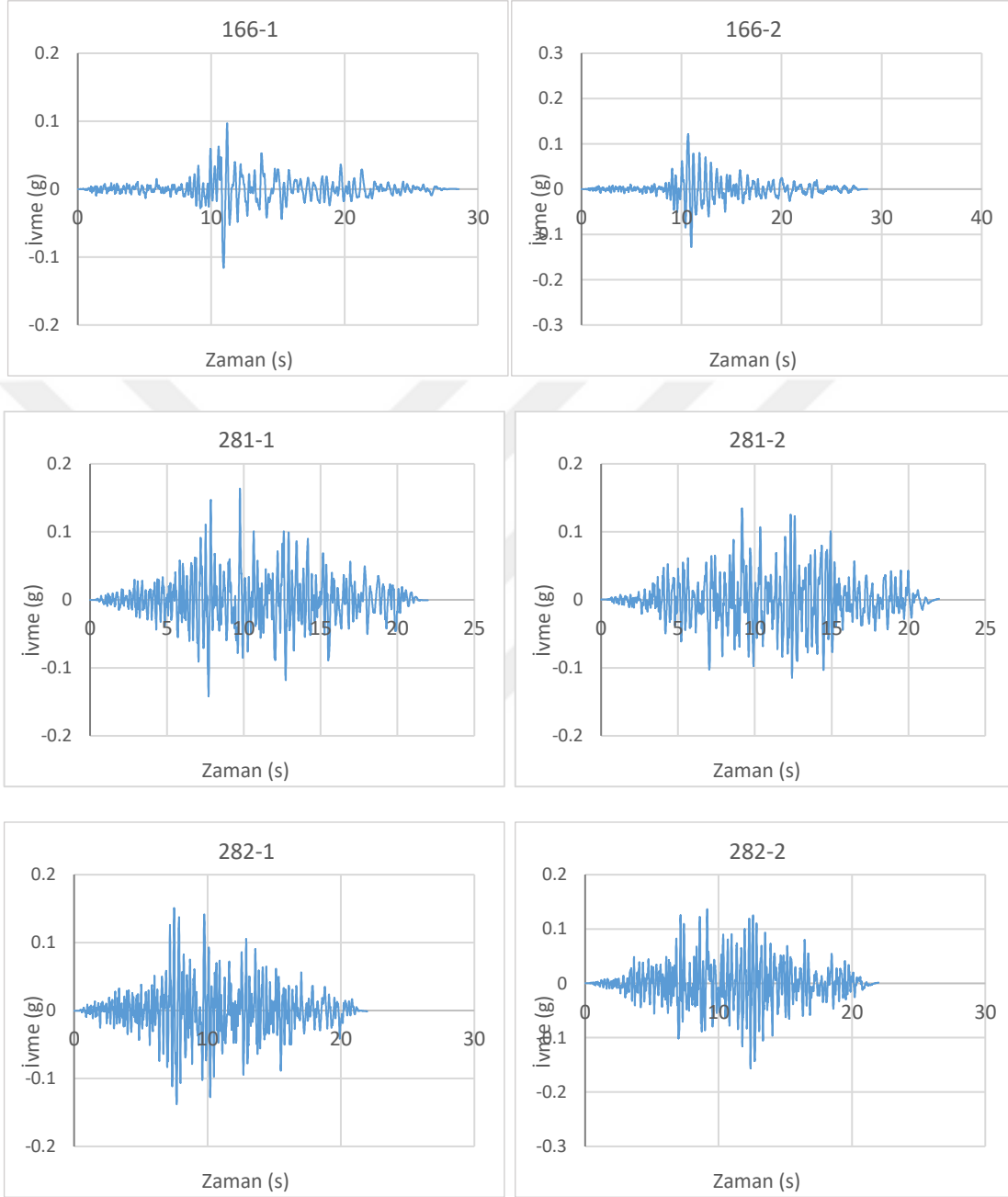
Deprem Adı	Yıl	PEER Numarası	Alfa	Oransal Görelî Hata
Kocaeli	1999	1155	1.552	26.90
Kocaeli	1999	1162	1.735	27.13
Manjil Iran	1990	1634	0.986	16.21
Manjil Iran	1990	1636	1.376	35.47
Landers	1992	3754	0.767	22.29
Darfield New Zealand	2010	6923	0.665	26.00

Tablo 4.8 Seçilen deprem kayıtları ve özellikleri

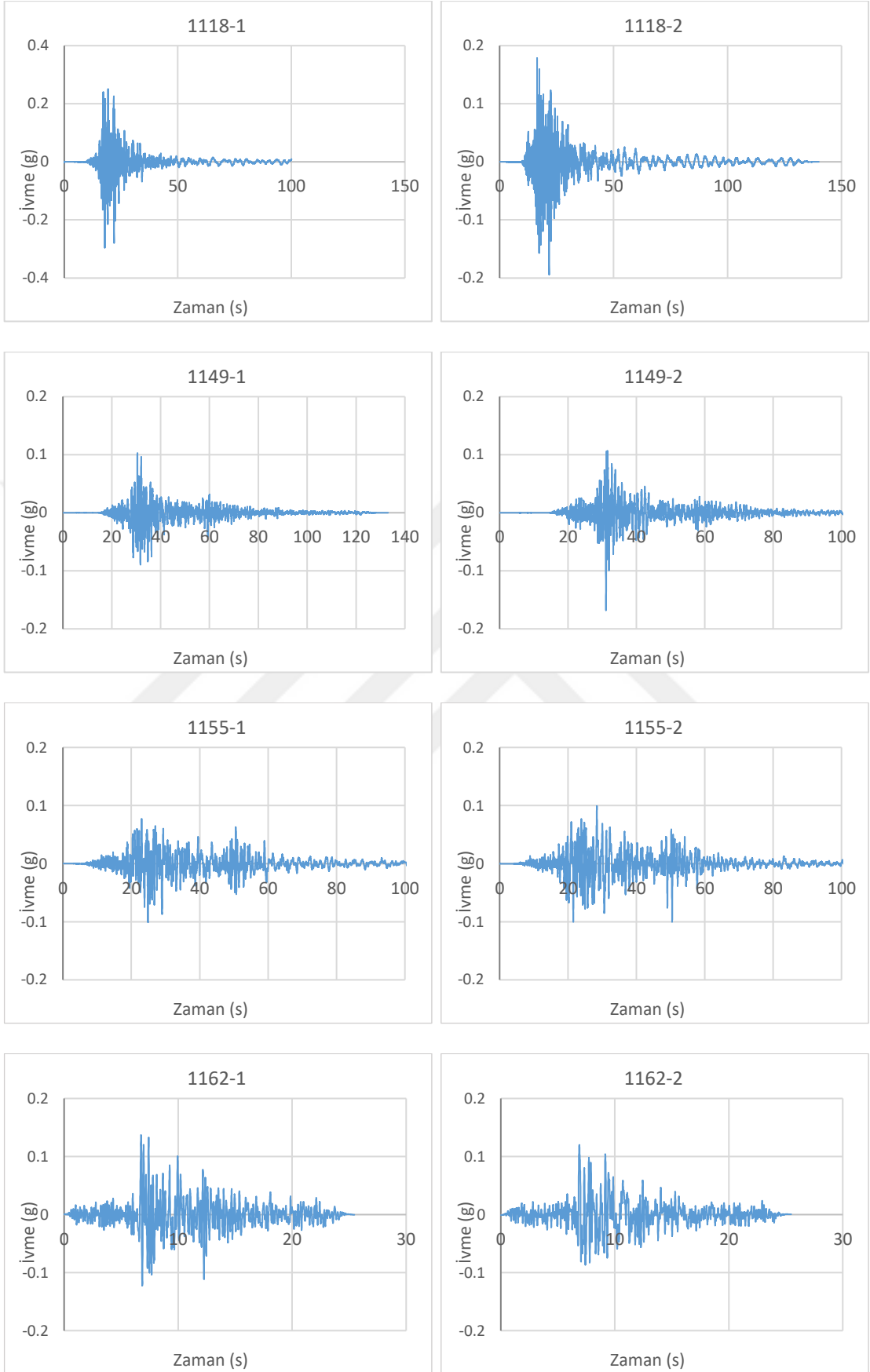
Deprem Adı	Yıl	PEER Numarası	Deprem Şiddeti	Rjb (km)	Rrub (km)	Vs30 (m/s)
Imperial Valley	1979	166	6.53	49.1	50.1	336.5
Trinidad	1980	281	7.20	76.1	76.3	311.8
Trinidad	1980	282	7.20	76.1	76.3	331.8
Kobe Japan	1995	1118	6.90	31.7	31.7	312.0
Kocaeli	1999	1149	7.51	56.5	58.3	310.0
Kocaeli	1999	1155	7.51	60.4	60.4	289.7
Kocaeli	1999	1162	7.51	31.7	31.7	347.6
Manjil Iran	1990	1634	7.37	75.6	75.6	302.6
Manjil Iran	1990	1636	7.37	50.0	50.0	302.6
Landers	1992	3754	7.28	48.8	48.8	292.1
Darfield New Zealand	2010	6923	7.00	30.5	30.5	255.0

11 adet depremin birbirine dik iki doğrultudaki ivme-zaman grafikleri Şekil 4.15'te yer almaktadır.

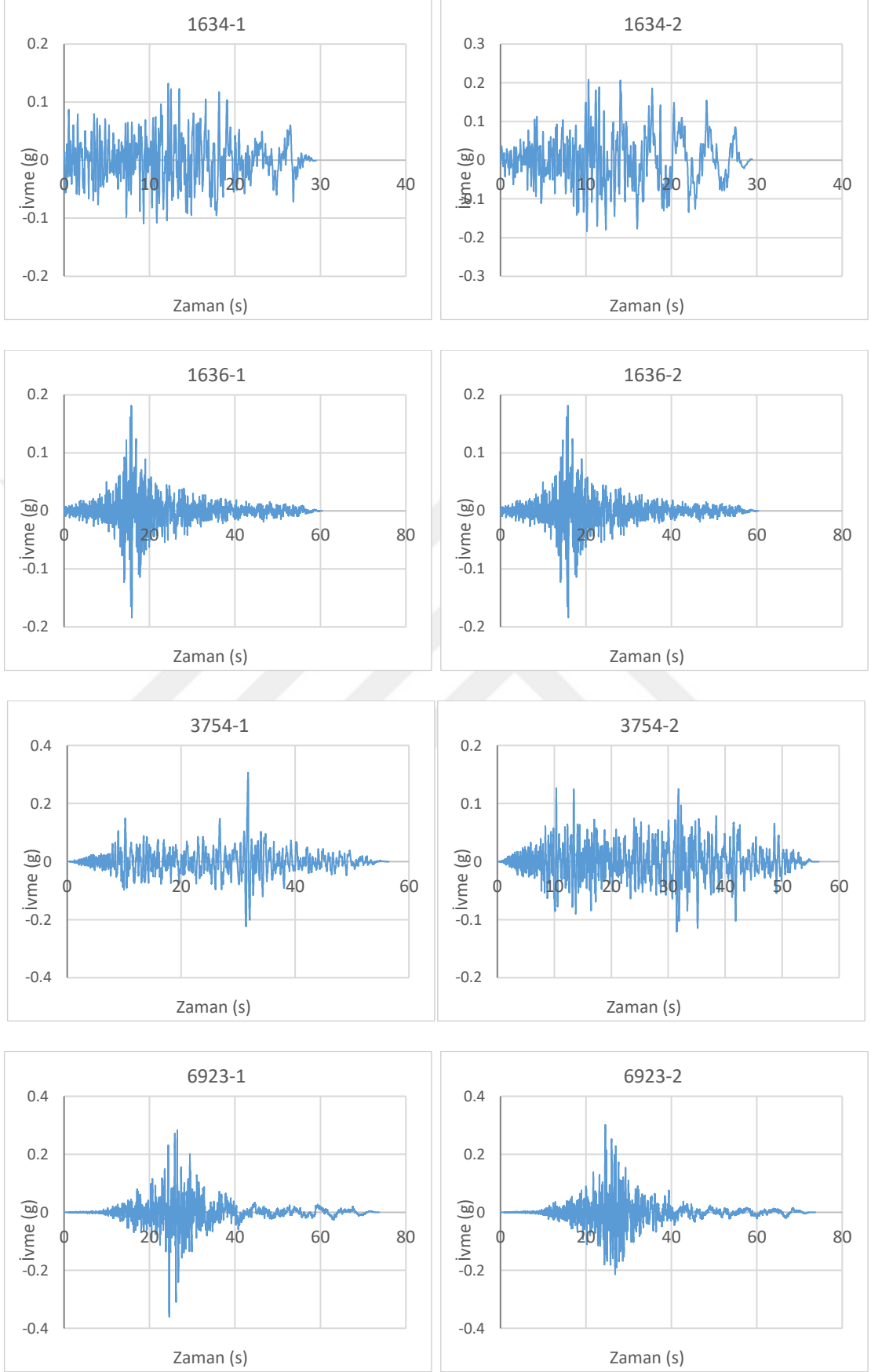
Deprem kayıtları PEER numaralarına göre isimlendirilmiştir.



Şekil 4.15 Seçilen deprem kayıtlarına ait her iki doğrultu için zamana bağlı ivme grafikleri



Şekil 4.15 Seçilen deprem kayıtlarına ait her iki doğrultu için zamana bağlı ivme grafikleri (devamı)



Şekil 4.15 Seçilen deprem kayıtlarına ait her iki doğrultu için zamana bağlı ivme grafikleri (devamı)

4.3.2 ZTADOH Yönteminde Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

Bu çalışmada, TBDY 2018’de önerilen, “basit ölçeklendirme” ve “spektral uyuşum sağlanacak şekilde ölçeklendirme” olmak üzere 2 farklı ölçekleme yöntemi kullanılmıştır.

4.3.2.1 Basit Ölçeklendirme Yöntemi

Basit ölçeklendirme yönteminin uygulanmasında izlenen adımlar aşağıda belirtilmiştir.

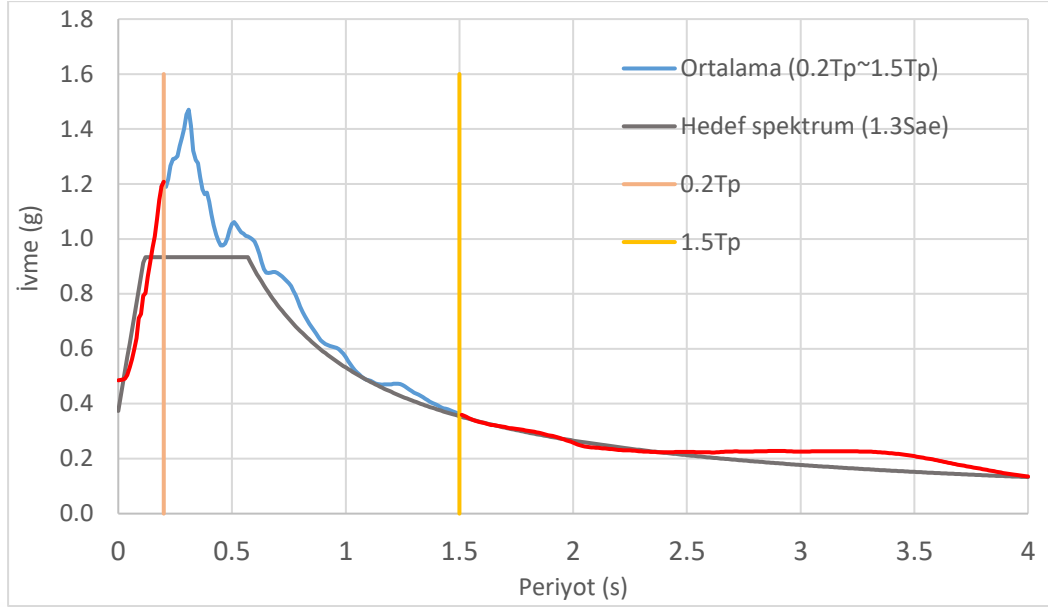
- Her bir deprem yer hareketinin birbirine dik iki yatay bileşenine ait ivme kayıtları SeismoSignal programı ile %5 sönüm oranı için elastik davranış spektrumuna dönüştürülmüştür.
- Seçilen 11 adet depremin her birinin ayrı ayrı iki yatay bileşenine ait spektrumlarının karelerinin toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrumları oluşturulmuştur.
- TBDY 2018’de belirtildiği şekilde, benzeştirilmiş deprem kayıtlarının bileşke spektrumları ortalamasının $0.2T_p$ ile $1.5T_p$ arasındaki periyoda karşılık gelen spektrumlarının, aynı periyot aralığındaki yatay elastik tasarım spektrumuna oranı 1.3’ten küçük olmayacak şekilde ölçeklendirilmesi amacıyla, ölçekleme katsayısı belirlenmiştir. Yapılan çalışmanın daha net anlaşılabilir olması için “hedef spektrum” (4.2) eşitliği ve ölçekleme katsayısı “beta” (4.3) eşitliği ile tanımlanmıştır.

$$S_a^{\text{hedef}}(T) = 1.3S_{ae}(T) \quad (4.2)$$

$$\beta = \text{maksimum} \left(\frac{S_a^{\text{hedef}}(T)}{\frac{\sum_{i=1}^{11} (S_{a_i}^{\text{gerçek}}(T))}{11}} \right) \quad (4.3)$$

- 11 ivme kaydı için tek bir ölçeklendirme katsayısı $\beta = 1.976$ olarak hesaplanmıştır. Bu katsayı ile çarpılarak elde edilmiş kayıtların yatay elastik spektrumların ortalamasının, $0.2T_p$ ile $1.5T_p$ periyot aralığında hedef spektrumun altında kalmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.16).

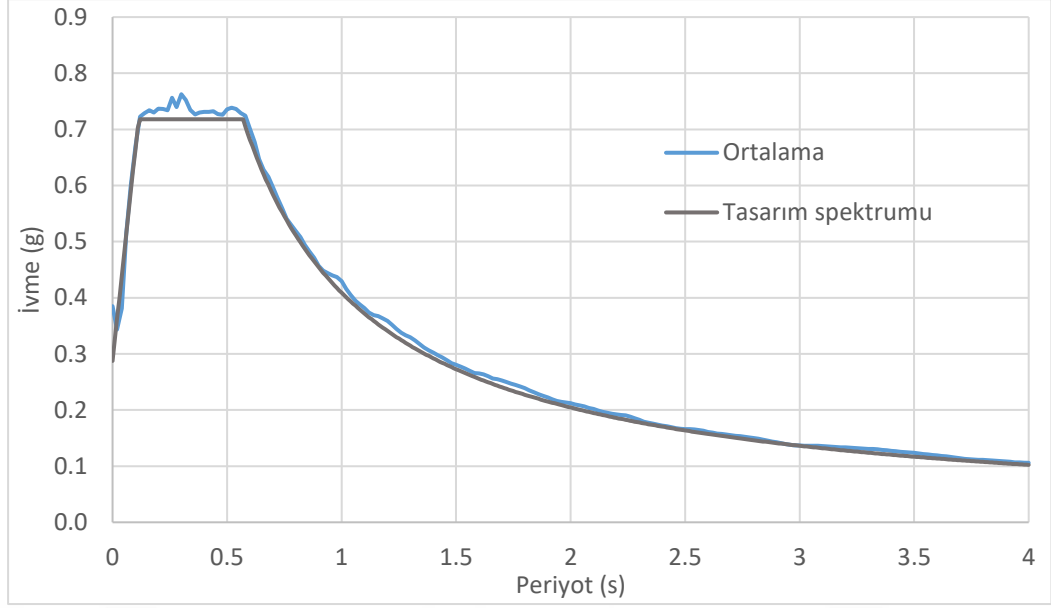
Binanın hakim titreşim periyodu ($T_p = 1.009$ saniye) için, ölçeklenmiş deprem kayıtların yatay elastik spektrumların ortalamasının, tasarım spektrumunun 1.3 katından küçük olmadığı durumun kontrolünün yapılacağı aralık, 0.2 saniye ile 1.5 saniye aralığında olacak şekilde sınır çizgileri ile Şekil 4.16’da belirtilmiştir.



Şekil 4.16 Basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiş depremlerin ortalaması ve hedef spektrum eğrisi

4.3.2.2 Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçeklendirme Yöntemi

Bu çalışmada, seçilen 11 adet ivme kaydı takımının her birinin iki yatay bileşeni ayrı ayrı tasarım spektrumu ile spektral uyum sağlanacak şekilde frekans alanında ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirme işlemi için Seismomatch programı kullanılmıştır. Programa yatay elastik tasarım spektrum eğrisi tanımlanmıştır. Spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülen ivme kayıtlarının, tasarım spektrum eğrisinin altında kalmayacak şekilde ölçeklendirilme işlemi yapılmıştır. Sonucunda, 11 adet ivme kaydı için her bir ivme kaydına ait birbirine dik iki doğrultuda olmak üzere toplamda 22 adet benzeştirilmiş spektrumlar elde edilmiştir. Dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektral ivme değerlerinin ortalamaları, tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordinat değerlerinden daha küçük olmadığı görülmektedir (Şekil 4.17). Bu yöntemde, basit ölçeklendirme yönteminden farklı olarak tüm periyot aralığında tasarım spektrumu ile uyumlu deprem kayıtlarının elde edilmesi koşuluna göre Şekil 4.17’de yatay elastik tasarım spektrumu çizdirilmiştir.



Şekil 4.17 Spektral uyumu sağlanacak şekilde ölçeklendirme yöntemiyle ölçeklendirilmiş depremlerin ortalaması ve tasarım spektrum eğrisi

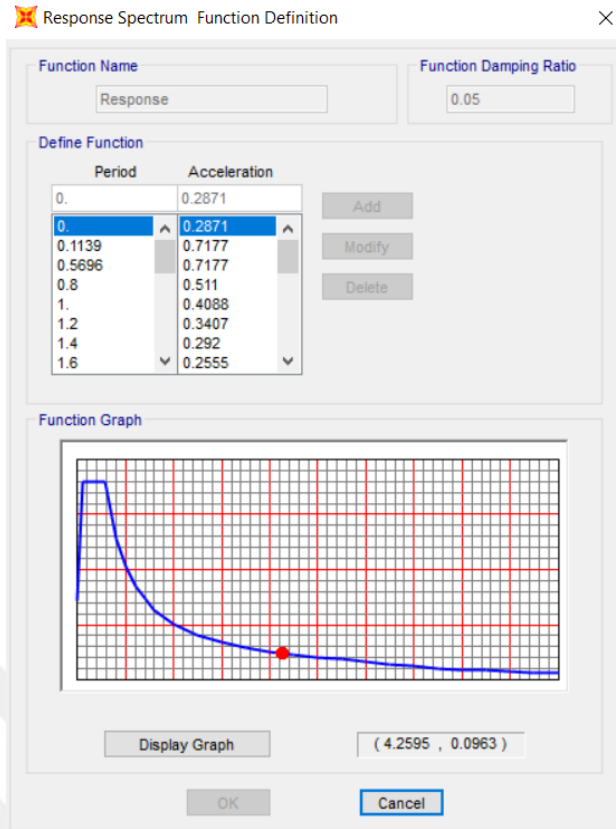
4.4 Analiz Yöntemleri

Şekildeğiştirme esaslı değerlendirmede doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerde statik ve dinamik analiz yöntemleri ile eleman hasar seviyeleri ve binanın genel olarak performans seviyeleri elde edilmektedir. Bir taşıyıcı elemana plastik mafsalları tanımlanabilmesi için, elemanın sünek olduğu gösterilmelidir. Gevrek davranan elemanlarda eğilme türü kırılma olmadan doğrudan kesme kırılması oluşacaktır. Bu bağlamda, Bölüm 2’de ayrıntıları verilen yöntem ile gevreklik – süneklik kontrolleri yapılmıştır. Bu amaçla, doğrusal bir yöntem olan “Mod Birleştirme Yöntemi” ile deprem hesabı yapılmış ve taşıyıcı eleman süneklik kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

4.4.1 Doğrusal Analiz Yöntemi

Bu çalışmada, doğrusal analiz yöntemlerinden biri olan Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak, düşey yükler ve sismik yükler altında iç kuvvetler elde edilmiştir. Yapı, malzeme ve geometrik olarak doğrusal modellenmiştir.

Bina konut türünde olduğu için hareketli yük kütle katılım katsayısı $n=0.3$ olarak hesaba katılmıştır. Binada düşey yükleri, kolon kiriş ve döşemenin zati ağırlıkları, döşeme yükleri (kaplama yükü ile hareketli yük) ve duvar yükleri oluşturur. Sismik etki için yatay elastik tasarım spektrumu SAP2000 programına Şekil 4.18’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.



Şekil 4.18 Yatay elastik spektrumun tanımlanması

Yük kombinasyonları TBDY 2018'e göre oluşturulmuştur. Çalışmada, düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)} = \frac{2}{3} S_{DS} G$ ile hesaba katılmıştır.

TBDY 2018'de tanımlı yük kombinasyonları tanımlanarak elde edilen iç kuvvetler taşıyıcı elemanların davranış kontrolünün belirlenmesinde kullanılmaktadır.

4.4.2 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Yapıda sünek davranış gösteren kolon ve kiriş olmak üzere betonarme taşıyıcı sistem eleman uçlarında oluşacak elastoplastik davranışı tariflemek, dolayısıyla yapısal elemanlarda oluşacak hasar seviyelerini belirlemek için ZTADOH yöntemi kullanılmıştır. Kütlelerle uyumlu düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analiz ile elde edilen iç kuvvetler, ZTADOH yönteminin başlangıç adımı olarak dikkate alınmıştır (Şekil 4.19).

ZTADOH yönteminde, basit ölçeklendirme yöntemi kullanılarak ölçeklendirilmiş deprem kayıtları ve spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirilmiş deprem kayıtları kullanılmıştır.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: G+0.3Q Set Def Name Modify/Show...

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case

All Modal Loads Applied Use Modes from Case MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	D	1.
Load Pattern	D	1.
Load Pattern	SD	1.
Load Pattern	Q	0.3

Add Modify Delete

Other Parameters

Load Application: Full Load Modify/Show...

Results Saved: Final State Only Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

Load Case Type: Static Design...

Analysis Type: ☐ Linear ☒ Nonlinear

Geometric Nonlinearity Parameters: ☒ None ☐ P-Delta ☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: G+nQ

OK Cancel

Şekil 4.19 ZTADOH yöntemi başlangıç adımının tanımlanması

Bu çalışmada, basit ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen deprem kayıtları kayda ait PEER Veritabanı'ndan alınan istasyon numaralarına göre, spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiş deprem kayıtları ise istasyon numaralarının başına "M" harfi getirilerek isimlendirilmiştir. Birbirine dik iki yatay doğrultudaki ivme kaydı bileşenleri sisteme aynı anda etki ettirilmiştir (Şekil 4.20, Şekil 4.21).

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: 281 Set Def Name Modify/Show...

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case G+0.3Q

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case

Use Modes from Case MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	281-1	19.3846
Accel	U1	281-1	19.3846
Accel	U2	281-2	19.3846

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data

Number of Output Time Steps: 4400

Output Time Step Size: 5.000E-03

Other Parameters

Damping: Proportional Modify/Show...

Time Integration: Newmark Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

Load Case Type: Time History Design...

Analysis Type: ☐ Linear ☒ Nonlinear

Solution Type: ☐ Modal ☒ Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters: ☒ None ☐ P-Delta ☐ P-Delta plus Large Displacements

History Type: ☒ Transient ☐ Consider Collapse ☐ Periodic

Mass Source: G+nQ

OK Cancel

Şekil 4.20 Basit ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen deprem kayıtlarının tanımlanması

Load Case Name: M281

Initial Conditions:

- ☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- ☒ Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case:

Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	M281-1	9.81
Accel	U2	M281-2	9.81

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 4400

Output Time Step Size: 5.000E-03

Other Parameters:

Damping: Proportional

Time Integration: Newmark

Nonlinear Parameters: Default

Analysis Type: Nonlinear

Solution Type: Direct Integration

History Type: Transient

Mass Source: Previous

Şekil 4.21 Spektral uyuşum sağlanacak şekilde ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen deprem kayıtlarının tanımlanması

Bu çalışmada literatürde numerik integrasyon metodu olarak bilinen Newmark- β yöntemi kullanılarak “gama” ve “beta” değerleri; $\gamma = 0.5$; $\beta = 0.25$ olarak alınmıştır. Sönüm oranının ve modelinin gerçeğe yakın tayin edilmesi yapı modelinin gerçekçiliğini doğrudan etkilemektedir. Analiz modelinde dinamik enerji kaybı Rayleigh Orantılı Sönüm Matrisi ile oluşturulmuştur.

Newmark- β yöntemi için katsayılar ve Rayleigh sönüm matrisi için yapının periyotları ve sönüm oranı SAP2000 programına Şekil 4.22, Şekil 4.23’teki gibi tanımlanmıştır.

Time Integration Parameters

Method:

- ☒ Newmark
- ☐ Wilson
- ☐ Collocation
- ☐ Hilber - Hughes - Taylor

Gamma: 0.5

Beta: 0.25

Theta:

Gamma:

Beta:

Theta:

Gamma:

Şekil 4.22 Newmark- β iterasyon yönteminin tanımlanması

Direct Integration Damping

Viscous Proportional Damping

☐ Direct Specification

☒ Specify Damping by Period

☐ Specify Damping by Frequency

Mass Proportional Coefficient: 0.4789 1/sec

Stiffness Proportional Coefficient: 3.709E-03 sec

Period: First 1.009 sec, Second 0.303 sec

Frequency: cyc/sec

Damping: 0.05

Recalculate Coefficients

Additional Modal Damping

☐ Include Additional Modal Damping

Modal Load Case

☐ Maximum Considered Modal Frequency

Modify/Show Modal Damping Parameters...

OK Cancel

Şekil 4.23 Rayleigh Sönüm matrisinin tanımlanması

5

ANALİZ SONUÇLARI

Bu bölümde, serbest titreşim analiz sonuçları, Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen doğrusal analiz sonuçları ve basit ölçeklendirme ve spektral uyum sağlayacak şekilde ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen deprem kayıtları kullanılarak ZTADOH yöntemi sonuçlarına yer verilmiştir. Her iki ölçeklendirme yöntemi ile bulunan ZTADOH yöntemi sonuçların elemanlarda oluşan plastik dönme talepleri, tepe yerdeğiştirmeleri ve kesit hasar bölgeleri açılarından karşılaştırılmasını içerir. Gözönüne alınan taşıyıcı sistem modeli için bulunan sonuçlar tablolar ve grafikler şeklinde sunulmuştur.

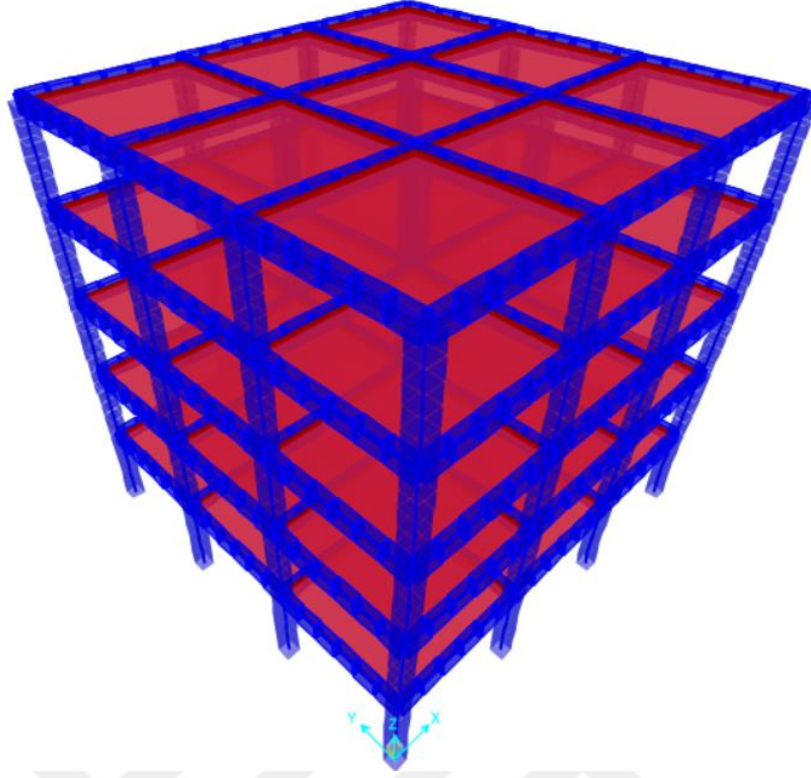
5.1 Serbest Titreşim Analiz Sonuçları

Serbest titreşim analiz sonuçlarına göre elde edilen ilk 3 moda ait modal parametreler Tablo 5.1’de verilmiştir. Buna göre, binanın 1. öteleme modu Y-Y doğrultusunda iken 2. öteleme modu ise X-X doğrultusundadır. 3. Mod ise burulma modudur.

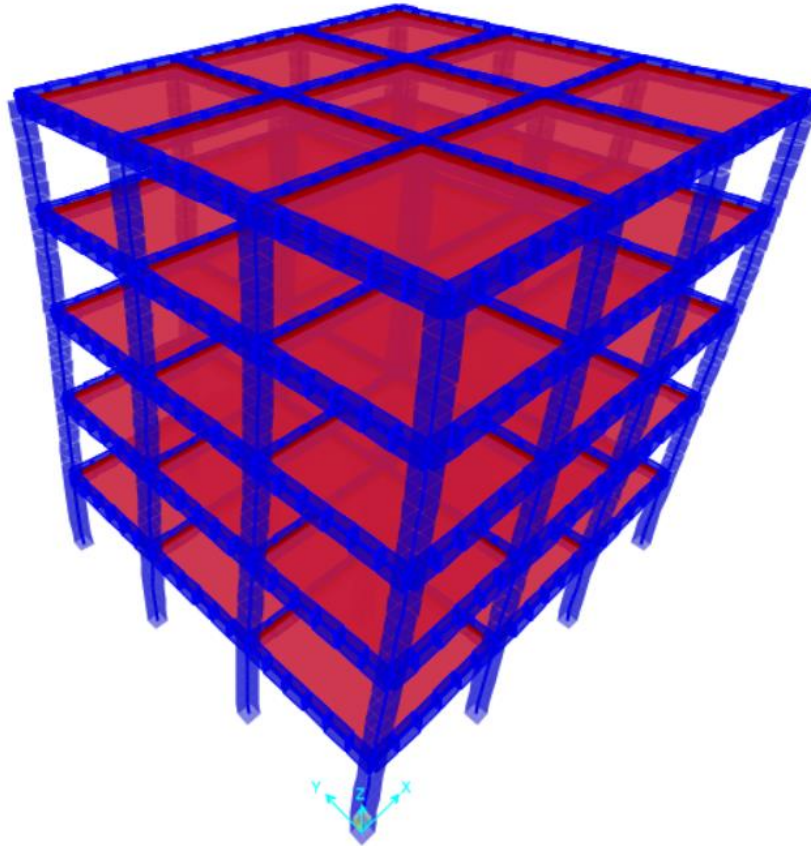
Tablo 5.1 Serbest titreşim periyotları ve kütle katılım oranları

Mod Sayısı	Periyot (sn)	U_x	U_y	U_z	ΣU_x	ΣU_y	ΣU_z
1	1.009	0.151	0.668	1.42E-18	0.1508	0.6680	1.42E-18
2	1.009	0.668	0.151	1.52E-18	0.8188	0.8188	2.94E-18
3	0.875	0.000	0.000	3.20E-19	0.8188	0.8188	3.26E-18

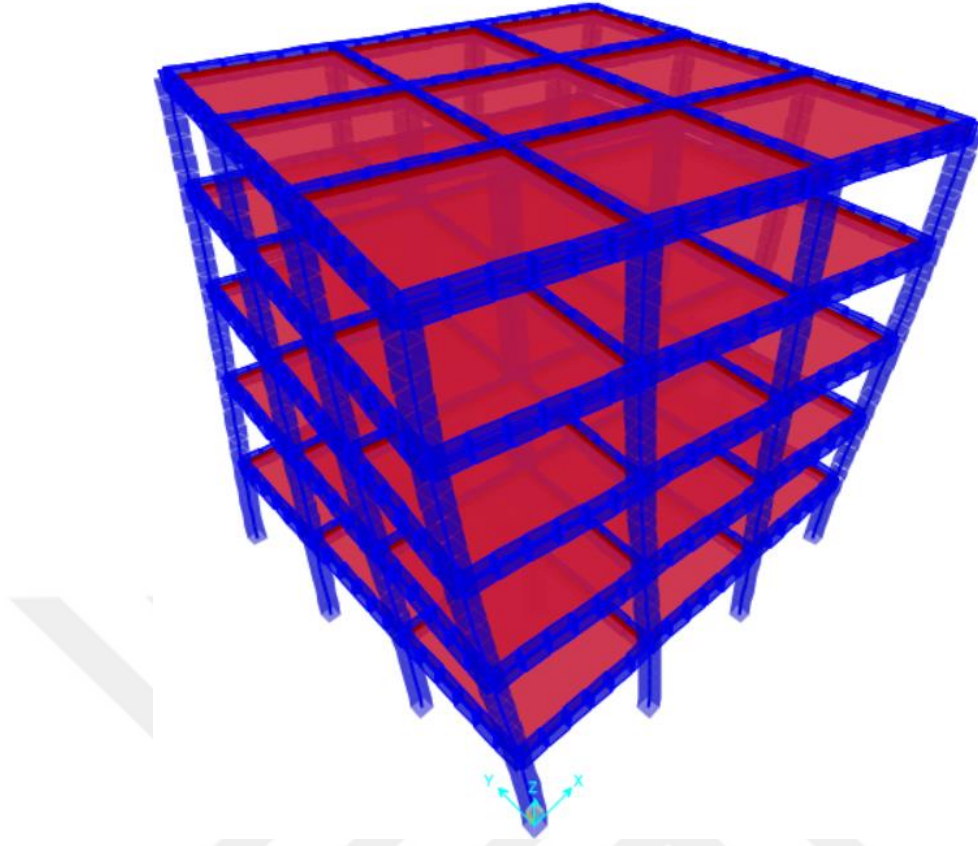
Yapıda oluşan mod şekilleri sırasıyla Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’te verilmiştir. Modal hesap yöntemlerinde, hesaba katılması gereken yeterli titreşim mod sayısı, (X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütleleri’nin toplamının bina kütlelerine oranı 0.95’ten küçük olmaması kuralına göre bulunmuştur (Tablo 5.2).



Şekil 5.1 Binanın 1. mod şekli ($T= 1.009$ sn)



Şekil 5.2 Binanın 2. mod şekli ($T= 1.009$ sn)



Şekil 5.3 Binanın 3. mod şekli ($T= 0.875$ sn)

Tablo 5.2 Modal kütle katılım oranları

Deprem Doğrultusu	Statik Katılım	Dinamik Katılım
U_x	99.997	99.39
U_y	99.997	99.39
U_z	3.47E-13	9.27E-14

5.2 Doğrusal Analiz Sonuçları

Bu çalışmada doğrusal analiz yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak, eleman iç kuvvetleri elde edilmiştir. Düşey yükler için programdan elde edilen değerler Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3 Düşey yükler

Yük	SAP2000 İsmi	Katsayı (n)	Değer (kN)
Eleman yükü	D	1.0	5707.5
Sıva+Kaplama ve Duvar Yükleri	SD	1.0	4216.7
Hareketli Yük	SD	0.3	1822.5
Toplam Yük	G+nQ	1.0	10471.0

Yapı modeli her iki yönde simetrik geometriye sahip olduğu için X ve Y yönü için etkiyen taban kesme kuvveti aynı olacaktır. Serbest Titreşim Analizi'ne göre yapının 1. modu Y yönündedir. Bu nedenle, hesaplamalar Y yönü deprem için gösterilecektir. Yapının hâkim titreşim periyodu $T_p^{(Y)}=1.009$ (s)'ye denk gelen yatay elastik tasarım spektrumu $S_{ae}^{(Y)}=0.405$ (g) olarak bulunmuştur. Bu durumda eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvveti her iki doğrultuda aynı olmak üzere 4243.7 kN olarak elde edilmiştir. Yapıda A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden hiçbiri bulunmadığı için γ_E katsayısı 0.8 olarak alınmıştır. Bu durumda Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvveti değeri γ_E katsayısı ile çarpılarak, Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre hesaplanan bina deprem yükü $V_{tx}^{(X)}=3395$ kN olarak elde edilmiştir.

5.3 Yapısal Eleman Davranış (Gevreklik ve Süneklik) Kontrolü

Betonarme taşıyıcı elemanlar, kırılma türü eğilme ise “sünek”, kesme ise “gevrek” kabul edilmektedirler. Mevcut yapıların deprem etkisi altında yapısal performansının belirlenmesinde, kesitte gevrek kırılma türü oluşuyorsa, o kesitte plastik şekildeğiştirme veya dönme durumuna bakılmaksızın doğrudan kesme kapasitesinin aşılp aşılmadığı kontrol edilmektedir. Eleman kesitlerinin birim şekildeğiştirme ve plastik dönme kontrolleri sünek elemanlar için yapılmaktadır. Bu nedenle, bu bölümde taşıyıcı sistemin sünek davranış gösterip göstermediği kontrol edilmiştir. Kolon ve kirişlerde V_e 'nin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine pekleşmesiz taşıma gücü momentleri kullanılmıştır.

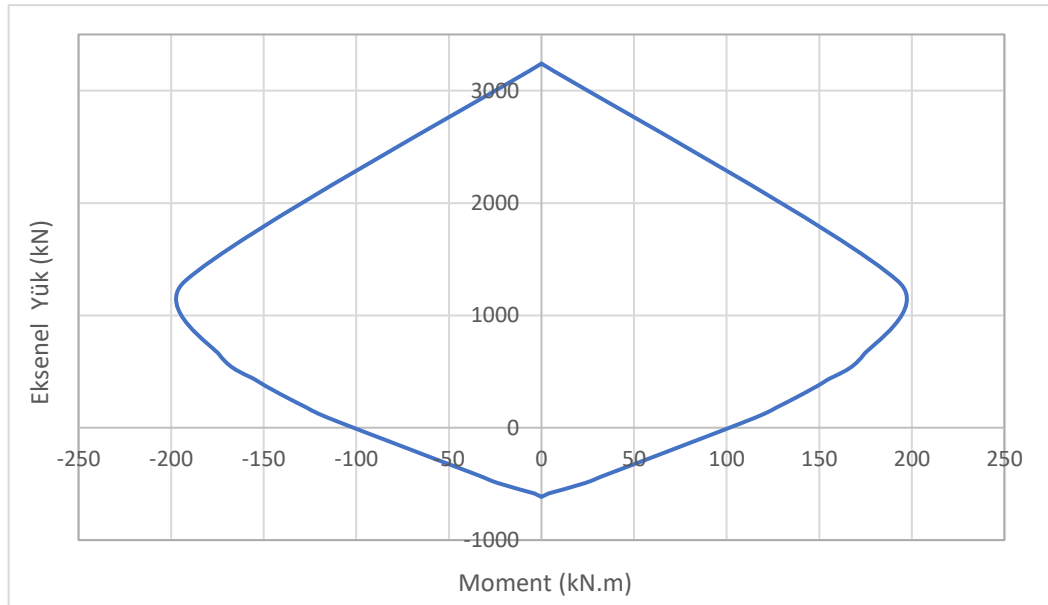
5.3.1 Taşıma Gücü Momentlerinin Elde Edilmesi

Taşıyıcı sistem elemanlarının hesaplarda kullanılmak üzere beton ve donatı çeliğinin mevcut dayanımları dikkate alınarak, pekleşme etkisinin dikkate alınmadığı taşıma gücü momenti bulunmuştur.

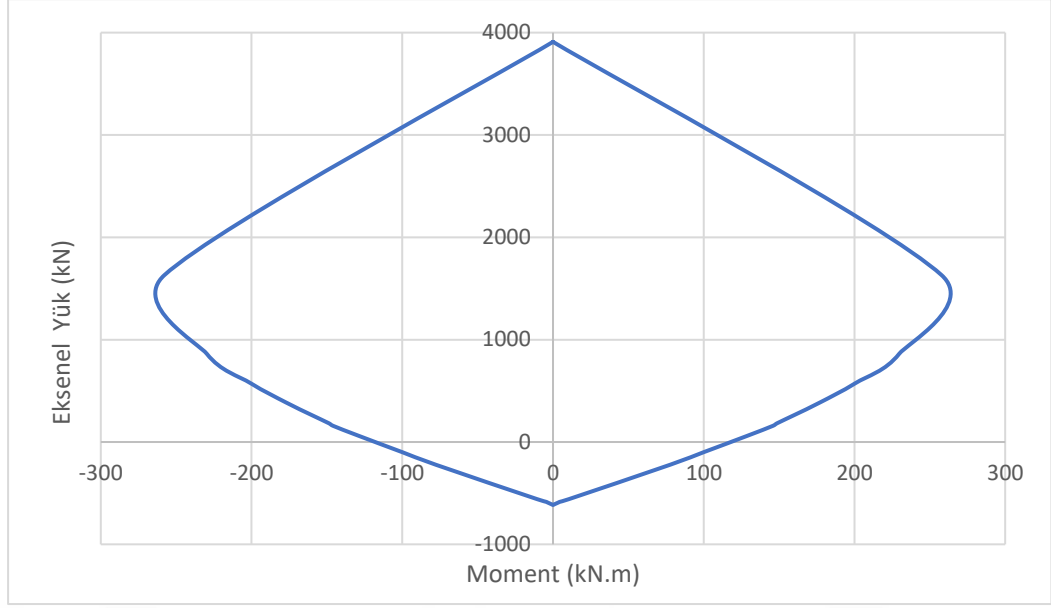
Kiriş elemanlar için taşıma gücü momenti SAP2000 programındaki Section Designer ara yüzünden elde edilmiştir. Akma yüzeylerinin oluşturulmasında betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003'e karşılık gelen moment değeri olarak dikkate alınmıştır. Bu durumda kiriş taşıma gücü momenti aşağıda belirtildiği gibidir.

- Negatif eğilme momenti (üstte çekme) $M_r = 47.95 \text{ kN.m}$
- Pozitif eğilme momenti (altta çekme) $M_r = 36.55 \text{ kN.m}$

Eksenel yük ve eğilmeye çalışan kolon elemanlar için sabit bir taşıma gücü momenti yoktur, taşıma gücü momenti eksenel yüke göre değişmektedir. Bu nedenle, her bir kolon kesiti için XTRACT kesit analiz programı ile karşılıklı etki diyagramı elde edilmiştir (Şekil 5.4, Şekil 5.5). Sargısız (kabuk) betonunda Mander sargısız beton modeli, etriyelerle çevrili sargılı (çekirdek) betonunda ise Mander sargılı beton modeli kullanılmıştır. Donatı çeliğinde pekleşme gözönüne alınmamaktadır. Beton maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi ve donatı çeliği maksimum birim şekildeğiştirmesi sınır değerleri programa veri olarak girilmiştir.



Şekil 5.4 45/45 kolon kesitine ait karşılıklı etki diyagramı



Şekil 5.5 50/50 kolon kesitine ait karşılıklı etki diyagramı

Kolon elemanlarda taşıma gücü momenti, doğrusal analiz sonucunda elde edilen her bir kolon elemandaki eksenel yüke karşılık gelen moment değeri olarak Şekil 5.4 ile Şekil 5.5'teki karşılıklı etki diyagramlarından elde edilmiştir.

5.3.2 Kirişlerde Davranış (Gevreklik ve Süneklik) Kontrolü

Düşey yükler ve deprem etkisi altında oluşan kesme kuvveti V_e 'nin kontrolü için Bölüm 2'de belirtilen TS500'e göre sınır değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca TBDY 2018'e göre sınır değerleri hesaplanmış ve sınırlayıcı olan durum dikkate alınarak kesme güvenliğinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. Yapıdaki bütün kirişler 250 mm genişliğinde 500 mm yüksekliğindedir dolayısıyla sınır değerleri bütün kiriş kesitleri için aynı olacaktır. Buna göre, B101 kirişi için örnek çözüm yapılmıştır.

B101 kirişi için örnek hesap:

TS500'e göre sınır değeri hesabı: $V_r = 0.8V_{cr} + V_w = 111.9 \text{ kN}$

TBDY 2018'e göre sınır değeri hesabı: $0.85b_w d \sqrt{f_{ck}} = 391.0 \text{ kN}$

Kritik sınır değeri: $\text{Min. } (110.9 \text{ kN}; 391.0 \text{ kN}) = 110.9 \text{ kN}$

$V_{dy(B101)} = 24.17 \text{ kN}$

$\sum M_p = 84.5 \text{ kN.m}$

$V_e = 24.17 + \frac{84.5}{4.275} = 43.93 \text{ kN} \leq 110.9 \text{ kN}$

Binadaki tüm kiriş elemanlar için bu adımlar tekrarlanmıştır. Tüm kirişlerde davranış kontrolü sonuçları EK B’de yer almaktadır. Buna göre, kiriş elemanların tümü “sünek” davranış göstermektedir.

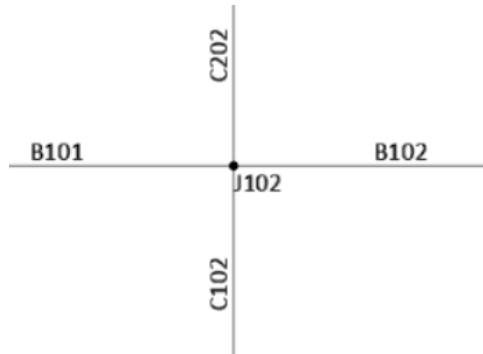
5.3.3 Kolonlarda Davranış (Gevreklik ve Süneklik) Kontrolü

Kolonlarda davranış kontrolü hesabında kullanılacak V_e kirişlerdekine benzer şekilde kapasite tasarımı kullanılarak (2.20) eşitliği ile elde edilmektedir.

Buradaki kolon uç momentleri ($M_a, M_{\bar{u}}$) plastik mafsalların kolon ve kirişlerde oluşmasına göre değişmektedir. Kolonların kirişlerden güçlü olma koşulu, bir düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentleri toplamının, aynı düğüm noktasına birleşen kirişlerin o düğüm noktasındaki kolonlara bağlandığı uçtaki taşıma gücü momentleri toplamına oranı 1.2’den büyük olmasıdır. Her bir deprem doğrultusunda en elverişsiz sonucu verecek şekilde hesap yapılmıştır. J102 düğüm noktası için örnek hesap yapılmıştır.

J102 düğüm noktası için örnek hesap:

Şekil 5.6’da gösterilen J102 düğüm noktasında yapılacak hesapta, C101 kolonu üst ucundaki, C202 kolonu alt ucundaki taşıma gücü momentini minimum yapacak eksenel kuvvetler dikkate alınmıştır. Deprem doğrultusu ile uyumlu B101 kirişin sağ ucundaki ve B102 kirişin sol ucundaki taşıma gücü momentleri toplamının en büyük değeri hesaba katılmıştır.



Şekil 5.6 J102 noktasına birleşen kolon ve kirişler

C102 kolonu için: $M_{r\bar{u}} = 129.1 \text{ kN}$

C202 kolonu için: $M_{ra} = 129.2 \text{ kN}$

B101 kirişi için: $M_{rl} = 47.95 \text{ kN}$

B102 kirişi için: $M_{rj} = 36.55 \text{ kN}$

$$M_{ra} + M_{r\ddot{u}} \geq 1.2 (M_{ri} + M_{rj})$$

$$129.1 + 129.2 \geq 1.2 (47.95 + 36.55)$$

$$258.3 \text{ kN.m} \geq 101.4 \text{ kN.m}$$

Bu çalışmadaki taşıyıcı sistem elemanları için güçlü kolon zayıf kiriş kontrolü yapılarak, kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun sağladığı görülmüştür. Bu durumda kolonlarda davranış kontrolü için hesaplarda kullanılmak üzere kolon uç momentleri ($M_a, M_{\ddot{u}}$) güçlü kolon-zayıf kiriş prensibine göre Bölüm 2’de belirtildiği gibi bulunmuştur. Ayrıca depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en büyük yapan eksenel kuvvetler gözönüne alınmaktadır. Kolonların temele bağlandığı noktadaki M_a momentleri pekleşmesiz moment kapasiteleri olarak dikkate alınmıştır.

Örnek olması açısından C202 kolonuna ait kesme güvenliği kontrolü aşağıda verilmiştir.

C202 kolonu için örnek hesap:

TS500’e göre sınır değeri hesabı: $V_r = 0.8V_{cr} + V_w = 111.9 \text{ kN}$

TBDY 2018’e göre sınır değeri hesabı: $0.85b_w d \sqrt{f_{ck}} = 688.5 \text{ kN}$

Kritik sınır değeri: $\text{Min. } (111.9 \text{ kN}; 688.5 \text{ kN}) = 111.9 \text{ kN}$

$$M_a = \frac{M_{ha(i)}}{M_{ha(i)} + M_{h\ddot{u}(i-1)}} \sum M_p = \frac{316.3}{316.3 + 153.0} 84.5 = 56.95 \text{ kN.m}$$

$$M_{\ddot{u}} = \frac{M_{h\ddot{u}(i)}}{M_{h\ddot{u}(i)} + M_{ha(i+1)}} \sum M_p = \frac{291.6}{291.6 + 230.1} 84.5 = 47.23 \text{ kN.m}$$

$$V_e = \frac{M_a + M_{\ddot{u}}}{l_n} = \frac{56.95 + 47.23}{2.50} = 41.7 \text{ kN}$$

$$41.7 \text{ kN} \leq 111.9 \text{ kN}$$

Yapıda kolon elemanların tamamı izin verilen kesme kuvveti sınır değerlerini aşmadığı ve “sünek” davranış gösterdiği görülmektedir. Tüm kolonlarda davranış kontrolü sonuçları EK B’de tablolar halinde yer almaktadır.

5.4 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Sonuçları

Bu alt başlıkta, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nde “basit ölçeklendirme” ve “spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirme” olmak üzere iki farklı yöntem ile elde edilen ivme kayıtları kullanılarak gerçekleştirilen iki farklı analizden elde edilen sonuçlar sırasıyla verilmiştir. Tezin bundan sonraki kısmında, sadelik ve anlaşılır olması açısından “basit ölçeklendirme” yerine “BÖ”, “spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirme” yerine “SUSŞÖ” kısaltması kullanılacaktır.

Analiz sonuçları olarak, eleman bazında değerlendirme yapılırken kiriş ve kolon çubuk elemanlara atanan plastik mafsallardaki plastik dönme talepleri, yapı bazında değerlendirme yapılırken ise en büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirme değerleri incelenmiştir. Elemanların hasar seviyeleri ile yapı deprem performansı belirlenmiştir.

Bu çalışmada, yapının simetrik olması nedeniyle ivme kayıtların 90 derece döndürülerek yapıya etkilmesine gerek duyulmamıştır. Bu nedenle ZTADOH Yöntemi kullanılarak 11 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri (X) ve (Y) yönü için verilmiştir ancak ivme kayıtlarını 90 derece çevirerek gerçekleştirilecek analiz sonucunda (X) ve (Y) yönü için elde edilecek tepe noktası yatay yerdeğiştirme değerleri mevcut analizler sonucunda bulunan değerlerin her iki doğrultu için doğrultu yönü değiştirmiş hali olacaktır. Ayrıca yatayda birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki deprem bileşenleri birlikte eş zamanlı olarak tanımlandığından herhangi bir ivme kayıt çifti ile yapılan analiz sonucunda ivme kaydı bileşenlerinin farklı büyüklükte olması durumu için (X) ve (Y) doğrultusundaki maksimum tepe noktası yer değiştirme değerleri farklı olacaktır.

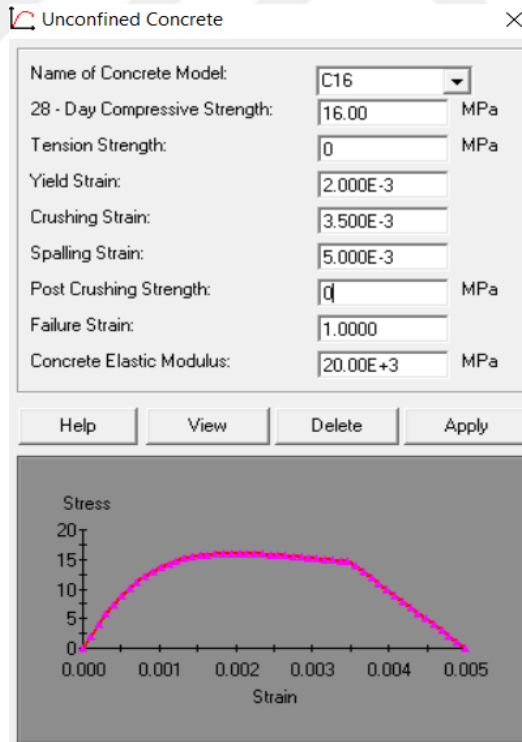
5.4.1 Şekildeğiştirme Taleplerinin Elde Edilmesi

Taşıyıcı sistem elemanları kolon ve kirişlerin hangi hasar seviyelerinde olduğunun belirlenebilmesi için şekildeğiştirme taleplerinin hasar sınır değerleri ile karşılaştırılması gerekir. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile 11 deprem için elde edilen plastik dönme değerlerinin ortalamaları alınarak elemanların şekildeğiştirme talepleri belirlenmektedir.

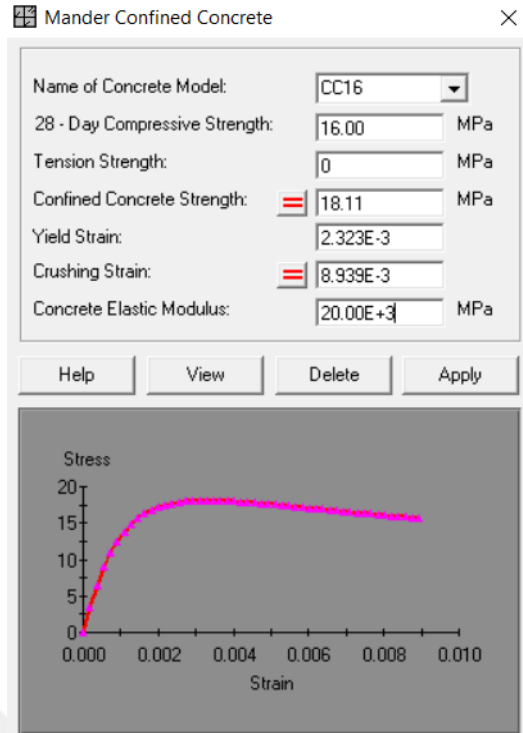
5.4.2 Hasar Sınır Değerlerinin Elde Edilmesi

Taşıyıcı sistem modelinin, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de öngörülen ZTADOH yöntemi ile, kesit hasar bölgelerinin belirlenmesinde izlenen hesap adımları aşağıda açıklanmıştır.

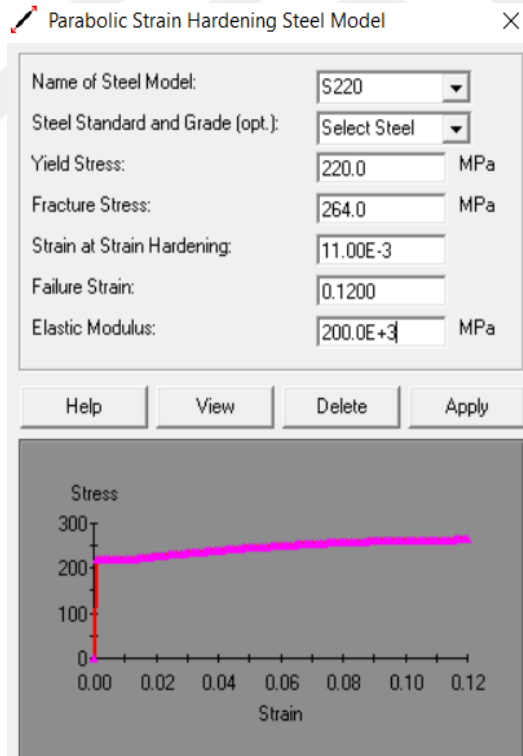
Taşıyıcı sistem elemanları kolon ve kirişlerin hangi hasar seviyelerinde olduğunun belirlenebilmesi için öncelikle elemanların hasar sınırları belirlenmelidir. Bu doğrultuda, TBDY 2018 kapsamında belirtilen kurallar gözönüne alınarak elemanların hasar sınırları belirlenmiştir. Sınır değerinin hesaplanmasında akma eğriliği ve göçme öncesi eğrilik değerlerinin doğru şekilde hesaplanması önemlidir. Bu nedenle, kesitin akma eğriliği ϕ_y ve göçme öncesi eğriliği ϕ_u değerlerinin elde edilmesi için kolon ve kiriş kesitleri XTRACT kesit analiz programında modellenmiştir. Programa, beton ve donatı çeliği malzeme bilgileri TBDY 2018’de ŞGDT hesap yöntemlerine uygun olarak girilmiştir. Plastik kesitlerin akma yüzeylerinin belirlenmesinde betonarme betonu ve beton çeliğinin mevcut dayanımları kullanılır. Beton malzeme tanımı sargısız ve sargılı beton olarak ayrı ayrı tanımlanmıştır (Şekil 5.7, Şekil 5.8). Donatı çeliği malzemesi ise Şekil 5.9’daki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 5.7 Sargısız beton malzeme tanımı



Şekil 5.8 Sargılı beton malzeme tanımı



Şekil 5.9 S220 donatı çeliği malzeme tanımı

5.4.2.1 Kiriş Elemanlar için Sınır Değerlerinin Elde Edilmesi

Yapıda bulunan 25/50 kesit ölçülerine sahip kiriş eleman XTRACT programında modellenerek hem pozitif moment yüklemesi altında hem de negatif moment yüklemesi altında moment-eğrilik analizleri gerçekleştirilmiştir. XTRACT programındaki kesit analizi sonucunda, akma eğriliği ve göçme öncesi eğrilik değerleri aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

- Negatif moment yüklemesi etkisi altında: $\phi_y = 0.00342$ $\phi_u = 0.286$
- Pozitif moment yüklemesi etkisi altında: $\phi_y = 0.00338$ $\phi_u = 0.285$

Elde edilen eğrilik değerleri (5.1) eşitliğinde verilen “Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı $\Theta_p^{(G\ddot{O})}$ ” ‘nın hesabında kullanılmıştır.

$$\Theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (5.1)$$

(5.1) eşitliğinde kullanılan parametreler ve plastik dönme sınır değerleri pozitif ve negatif moment etkisi altındaki durumlar için Tablo 5.4’te verilmiştir.

Tablo 5.4 Kirişlerde hasar sınır değerleri

	Pozitif M_{xx}	Negatif M_{xx}
d_b	0.012 m	0.012 m
L_p	0.25 m	0.25 m
L_s	2.25 m	2.25 m
ϕ_u	0.285 m-1	0.286 m-1
ϕ_y	0.00338 m-1	0.00342 m-1
$\Theta_p^{(G\ddot{O})}$	0.0546 rad	0.0548 rad
$\Theta_p^{(KH)}$	0.0409 rad	0.0411 rad
$\Theta_p^{(SH)}$	0 rad	0 rad

5.4.2.2 Kolon Elemanlar için Sınır Değerlerinin Elde Edilmesi

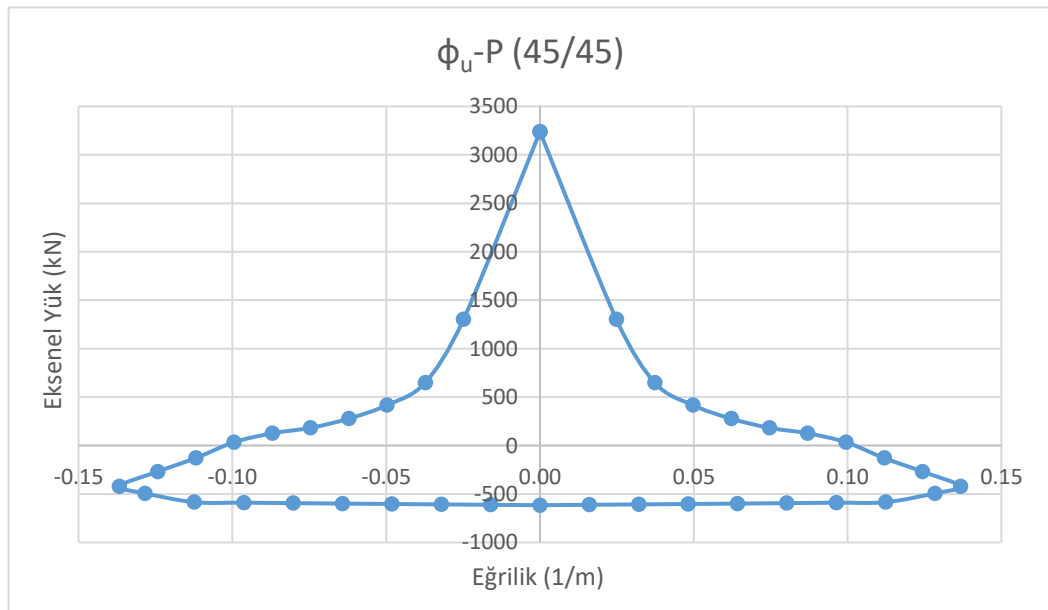
Yapıda bulunan 45/45 ve 50/50 kesit ölçülerine sahip kolon elemanlar için sınır değerlerinin elde edilmesi amacıyla eğrilik değerleri hesaplanmalıdır.

Bu çalışmada, akma eğriliği hesabı için Priestly vd. (2007) tarafından önerilen yöntem kullanılmaktadır. Yönteme göre dikdörtgen kolonlarda akma eğriliği değeri yaklaşık olarak (5.2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

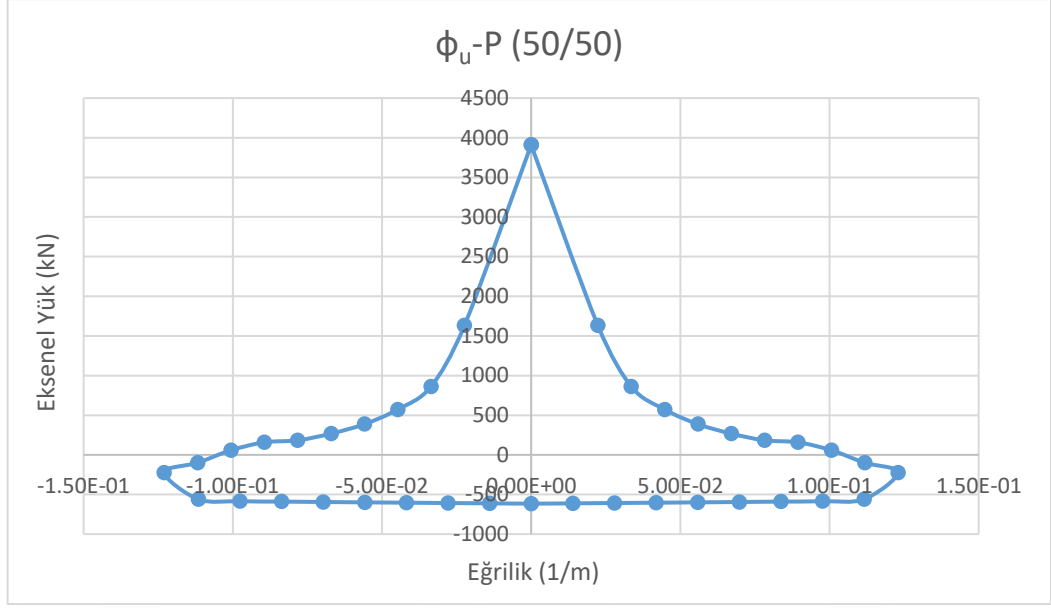
$$\phi_y = \frac{2.10\epsilon_{sy}}{h} \quad (5.2)$$

Buradaki ϵ_{sy} donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirme değerine karşılık gelirken, h hesabı yapılan doğrultudaki kesit yüksekliğini ifade etmektedir.

Kolon elemanlarda, göçme öncesi eğriliği ϕ_u değerleri eksenel yüke göre değişmektedir. Bu nedenle, ilgili kesit XTRACT programında modellenerek eksenel yük eğrilik analizi yapılmıştır. Analizlerde XTRACT programına tanımlanması gereken birim şekildeğiştirme değerleri TBDY 2018’de belirtilen göçmenin önlenmesi performans düzeyi için beton birim kısalması ve donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi değerleri Bölüm 2’de verilen (2.24) ve (2.29) eşitlikleri ile hesaplanmıştır. Kesit analizi sonucunda elde edilen 45/45 ve 50/50 kolon kesitleri için eğrilik- eksenel yük diyagramları sırasıyla Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.10 45/45 kolonuna ait eğrilik-eksenel yük diyagramı



Şekil 5.11 50/50 kolonuna ait eğrilik-eksenel yük diyagramı

Göçme öncesi eğriliği ϕ_u hesabı için ilk olarak her bir deprem etkisi altında oluşan eksenel yüke karşılık gelen eğrilik değeri hesaplanmaktadır 11 adet deprem için elde edilen göçme öncesi eğrilik değerlerinin ortalaması alınarak tek bir değer elde edilmiştir. Bu şekilde hesaplanan ortalama göçme öncesi eğrilik değeri ve (5.2) eşitliğinden elde edilen akma eğriliği kullanılarak her eleman için sınır değerleri belirlenmiştir.

5.4.3 Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi

11 adet deprem ivme kaydı takımı ile yapılan analizin her birinden elde edilen θ_p plastik dönme taleplerinin ortalaması alınarak taşıyıcı elemanların dönme talepleri elde edilmiştir. Elemanların dönme talepleri ile hasar sınır değerleri karşılaştırılarak her bir elemanın hangi hasar bölgesinde olduğu belirlenmiştir.

Plastik dönmeler kolon ve kiriş uçlarında oluşmaktadır. Bu nedenle, plastik mafsal ataması kirişlerin mesnet bölgelerine, kolonların alt ve üst ucuna yapılmıştır. Her bir kirişin mesnet bölgelerindeki mafsal ismi soldan sağa olacak şekilde, kolonların ise alt ve üst ucundaki mafsal ismi, eleman isimlerine “H1 ve “H2” eklenerek adlandırılmıştır. Örneğin, B101 kirişinin sol uç mesnet bölgesinde bulunan mafsal B101H1 olarak isimlendirilir. Bu şekilde isimlendirme, kiriş ve kolon ucunda oluşacak en elverişsiz durumun hangi uç noktasında olduğunu anlamaya olanak sağlamaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde, daha sade olması açısından yalnızca zemin kat kiriş ve kolonlarının hasar seviyeleri verilmiş olup tüm kiriş ve kolonlara ait hasar seviyeleri EK C’de tablolar halinde verilmektedir.

5.4.4 BÖ Yöntemiyle Elde Edilen Depremler için Analiz Sonuçları

Bu bölümde basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen 11 deprem kaydı kullanılarak ZTADOH yöntemi ile elde edilen sonuçlar verilmektedir.

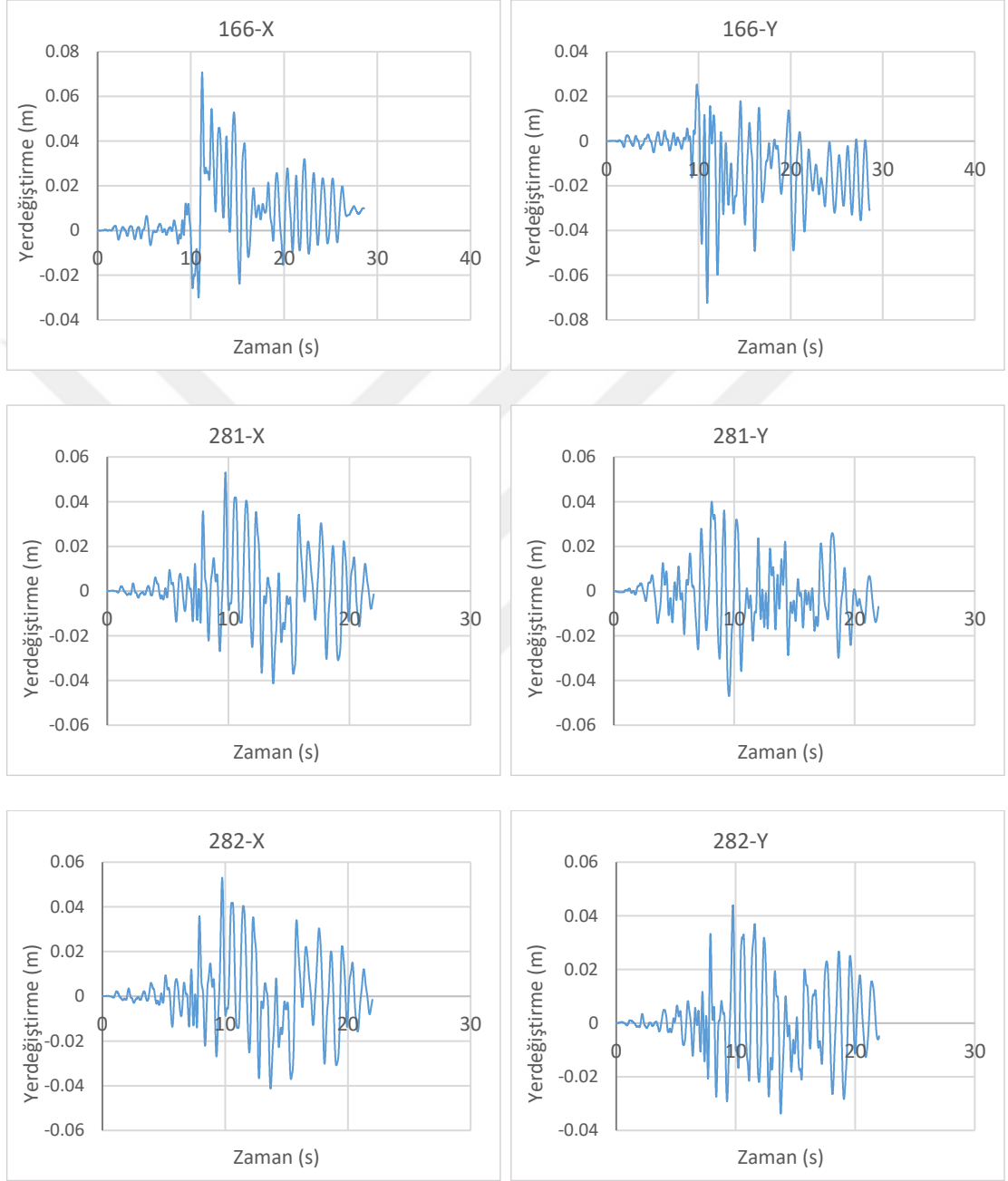
5.4.4.1 Tepe Noktası Yatay Yerdeğiştirmeleri

BÖ yöntemi ile elde edilen depremlerin etkisi altında yapıdaki birbirine dik iki yatay doğrultusu için pozitif ve negatif yöndeki en büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri Tablo 5.5’te verilmiştir. Buna göre, X ve Y doğrultusu için ortalama en büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri sırasıyla 0.0729 m, 0.0816 m’dir.

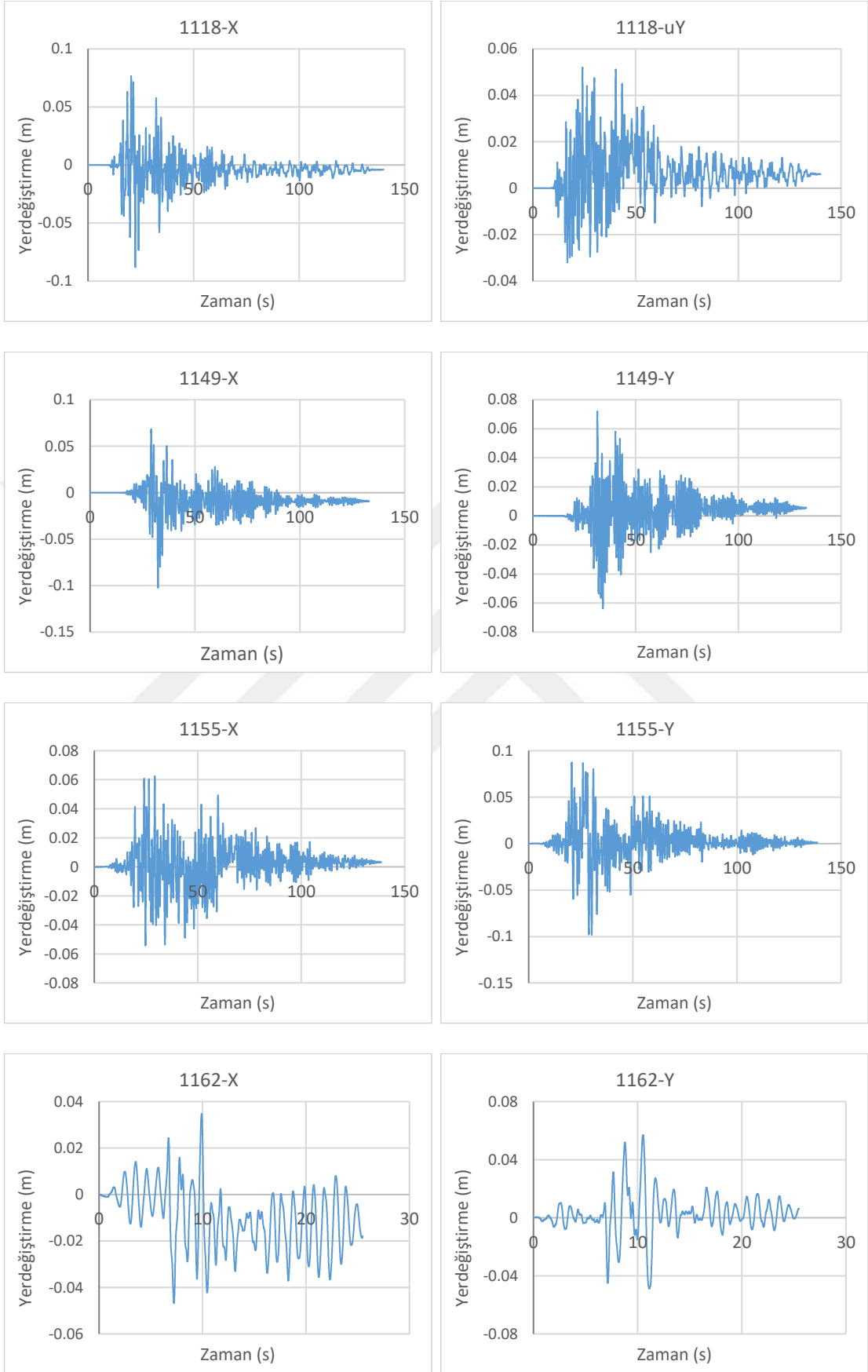
Tablo 5.5 BÖ yöntemi sonuçlarına göre en büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri

Deprem Numarası	U _x (m)		U _y (m)	
	(+) yön	(-) yön	(+) yön	(-) yön
166	0.0707	-0.0299	0.0253	-0.0722
281	0.0531	-0.0413	0.0400	-0.0470
282	0.0439	-0.0338	0.0439	-0.0338
1118	0.0767	-0.0880	0.0520	-0.0320
1149	0.0683	-0.1021	0.0720	-0.0637
1155	0.0623	-0.0542	0.0873	-0.0983
1162	0.0348	-0.0468	0.0570	-0.0486
1634	0.0828	-0.0844	0.1483	-0.2442
1636	0.0683	-0.0575	0.0479	-0.0529
3754	0.1414	-0.1372	0.1024	-0.0600
6923	0.0804	-0.1262	0.0678	-0.1453
Ortalama	0.0711	-0.0729	0.0676	-0.0816

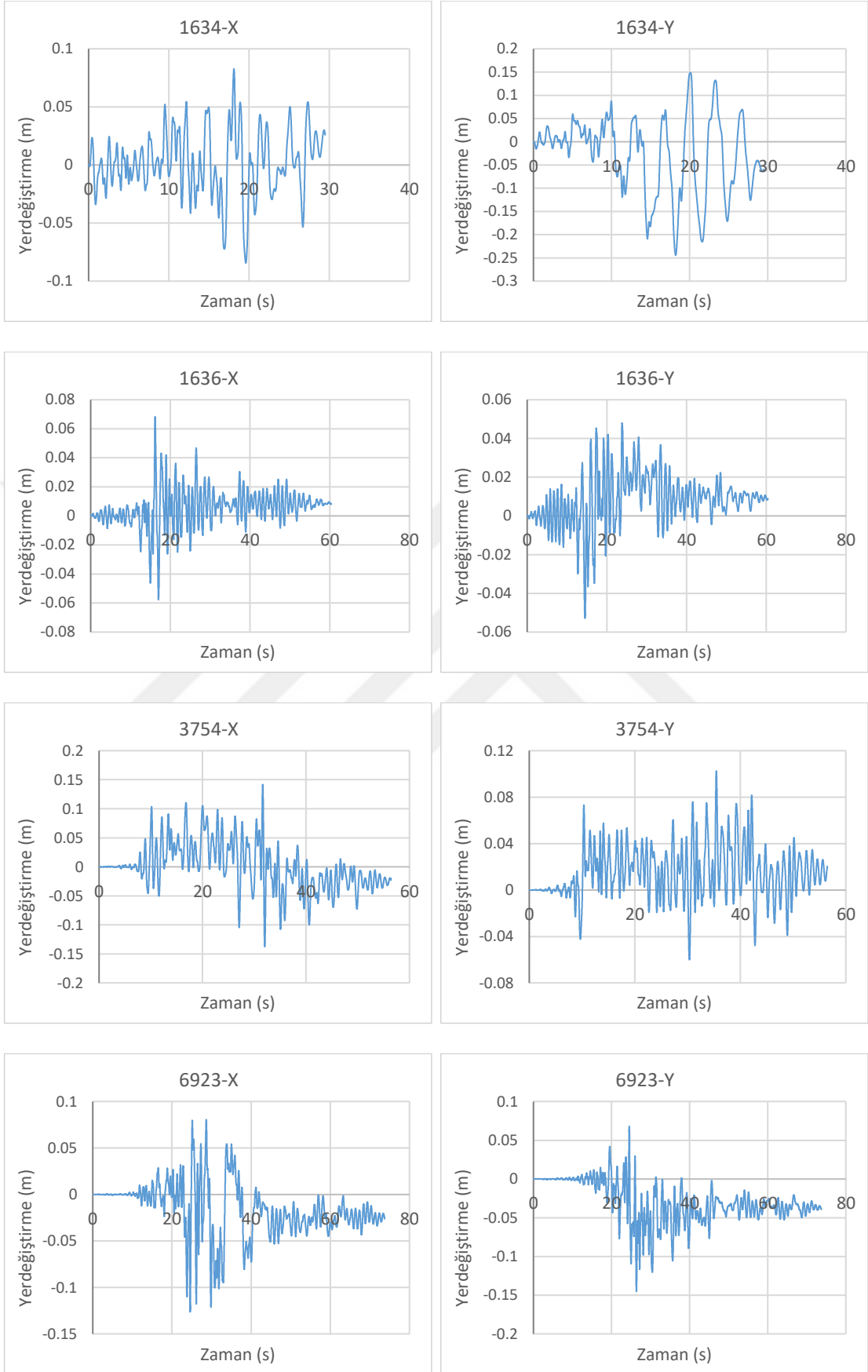
Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz sonucunda BÖ yöntemi ile ölçeklendirilmiş 11 deprem yer hareketinden elde edilen birbirine dik iki yatay doğrultusu (X ve Y doğrultuları) için tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri zamana bağlı olarak çizdirilmiştir (şekil 5.12).



şekil 5.12 BÖ yöntemi sonuçlarına göre tepe noktası yatay yerdeğiştirme zaman geğmişi



Şekil 5.12 BÖ yöntemi sonuçlarına göre tepe noktası yatay yerdeğiştirme zaman geçmişi (devamı)



Şekil 5.12 BÖ yöntemi sonuçlarına göre tepe noktası yatay yerdeğiştirme zaman geçmişi (devamı)

5.4.4.2 Kiriş Elemanların Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi

BÖ yöntemi ile ölçeklendirilmiş 11 deprem için elde edilen talep dönme değerlerinin ortalamalarının mutlak değerleri alınarak tablolara yazılmıştır ancak kıyaslamalarda talep dönme değerinin işareti dikkate alınmıştır. Kiriş uçlarındaki mafsallarda oluşan talep değerinin negatif olması, kiriş elemanda üst tarafta çekme olması durumuna karşılık gelmektedir. Elemanda üst tarafta çekme olması durumunda negatif moment etkisi altında hesaplanan sınır değerleri, alt tarafta çekme olması durumunda ise pozitif moment etkisi altında hesaplanan sınır değerleri kullanılarak kıyaslama yapılmıştır. Ayrıca çubuk elemanın her iki ucunda bulunan plastik mafsaldaki dönme değerleri incelenmiş ve en elverişsiz olan duruma göre değerlendirme yapılmıştır.

BÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre zemin kat kirişlerinin hasar seviyeleri Tablo 5.6.'da verilmiştir.

Tablo 5.6 BÖ yöntemi sonuçlarına göre zemin kat kirişlerinin hasar seviyeleri

Kiriş Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
B101	B101H1	0.00523	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B102	B102H1	0.00494	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B103	B103H1	0.00496	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B104	B104H2	0.00592	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B105	B105H1	0.00660	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B106	B106H1	0.00657	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B107	B107H1	0.00579	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B108	B108H1	0.00598	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B109	B109H1	0.00591	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B110	B110H1	0.00582	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B111	B111H2	0.00555	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B112	B112H1	0.00648	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B113	B113H1	0.00653	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B114	B114H1	0.00560	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B115	B115H1	0.00595	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B116	B116H1	0.00584	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B117	B117H1	0.00578	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B118	B118H2	0.00549	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B119	B119H1	0.00648	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B120	B120H1	0.00649	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B121	B121H1	0.00556	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B122	B122H2	0.00514	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B123	B123H2	0.00491	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B124	B124H1	0.00503	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH

BÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre bütün kiriş elemanların hasar seviyeleri Tablo C.1’de verilmiştir. Her katta hangi hasar seviyesinde kaç tane kiriş elemanın bulunduğunu belirlemek için Tablo 5.7 oluşturulmuştur.

Tablo 5.7 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kiriş hasar bölgesi dağılımı

	Sınırlı Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme
1. Kat	0	24	0	0
2. Kat	0	24	0	0
3. Kat	0	24	0	0
4. Kat	0	24	0	0
5. Kat	0	24	0	0
Toplam	0	120	0	0
Yüzde	%0	%100	%0	%0

Tablo 5.7’e göre, BÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre kiriş elemanların tamamı “Belirgin Hasar (BH)” bölgesinde yer almaktadır.

5.4.4.3 Kolon Elemanların Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi

Kolonun her iki ucunda bulunan plastik mafsallarda Y-Y doğrultusundaki deprem etkisinde X eksen etrafında dönme talebi oluşmaktadır. Aynı şekilde, X-X doğrultusundaki deprem etkisinde Y eksen etrafında dönme talebi oluşur.

BÖ yöntemi ile ölçeklendirilen 11 adet deprem ivme kaydı takımı ile yapılan analizin her birinden elde edilen θ_p plastik dönme taleplerinin ortalaması alınarak kolon elemanların her iki eksen etrafında dönme talepleri elde edilmiştir. Kiriş elemanlarda olduğu gibi her bir eleman için en kötü sonucu verecek kolon uç bölgesinde oluşan hasar seviyesi, zemin kat kolonlarında her iki ortogonal doğrultudaki eğilme dönmelerine karşılık gelen plastik dönme taleplerine göre elde edilmiş ve sırasıyla Tablo 5.8 ve Tablo 5.9’da belirtilmiştir.

Tablo 5.8 BÖ yöntemi sonuçlarına göre zemin kat kolonların Y ekseninde oluşan hasar seviyeleri

Kolon Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(G\ddot{O})}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C101	C101H1	0.00077	0.08832	0.00513	0.017	0.013	0	BH
C102	C102H1	0.00085	0.05198	0.00513	0.010	0.007	0	BH
C103	C103H1	0.00091	0.05428	0.00513	0.010	0.008	0	BH
C104	C104H1	0.00075	0.08417	0.00513	0.016	0.012	0	BH
C105	C105H1	0.00075	0.05366	0.00513	0.010	0.007	0	BH
C106	C106H1	0.00080	0.03388	0.00462	0.007	0.005	0	BH
C107	C107H1	0.00106	0.03540	0.00462	0.007	0.005	0	BH
C108	C108H1	0.00119	0.05563	0.00513	0.010	0.008	0	BH
C109	C109H1	0.00069	0.05460	0.00513	0.010	0.008	0	BH
C110	C110H1	0.00093	0.03534	0.00462	0.007	0.005	0	BH
C111	C111H1	0.00092	0.03481	0.00462	0.007	0.005	0	BH
C112	C112H1	0.00100	0.05553	0.00513	0.010	0.008	0	BH
C113	C113H1	0.00092	0.08195	0.00513	0.016	0.012	0	BH
C114	C114H1	0.00085	0.05384	0.00513	0.010	0.007	0	BH
C115	C115H1	0.00068	0.03484	0.00513	0.006	0.005	0	BH
C116	C116H1	0.00080	0.03854	0.00513	0.007	0.005	0	BH

Tablo 5.9 BÖ yöntemi sonuçlarına göre zemin kat kolonların X ekseninde oluşan hasar seviyeleri

Kolon Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(G\ddot{O})}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C101	C101H1	0.00077	0.0883	0.0051	0.0168	0.0126	0	BH
C102	C102H1	0.00059	0.0520	0.0051	0.0096	0.0072	0	BH
C103	C103H1	0.00069	0.0543	0.0051	0.0101	0.0076	0	BH
C104	C104H1	0.00043	0.0842	0.0051	0.0160	0.0120	0	BH
C105	C105H1	0.00048	0.0346	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C106	C106H1	0.00057	0.0339	0.0046	0.0065	0.0049	0	BH
C107	C107H1	0.00062	0.0311	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C108	C108H1	0.00060	0.0346	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C109	C109H1	0.00050	0.0346	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C110	C110H1	0.00065	0.0311	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C111	C111H1	0.00062	0.0310	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C112	C112H1	0.00055	0.0346	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C113	C113H1	0.00076	0.0820	0.0051	0.0156	0.0117	0	BH
C114	C114H1	0.00076	0.0348	0.0051	0.0062	0.0047	0	BH
C115	C115H1	0.00056	0.0348	0.0051	0.0062	0.0047	0	BH
C116	C116H1	0.00071	0.0385	0.0051	0.0069	0.0052	0	BH

BÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre bütün kolon elemanlarda her iki eksen etrafındaki dönme taleplerine karşılık gelen hasar seviyeleri Tablo C.2 ve Tablo C.3'te yer almaktadır. Tablo 5.10'da ise her kattaki, hasar seviyelerinde bulunan kolon sayıları verilmiştir.

Tablo 5.10 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kolon hasar bölgesi dağılımı

	Sınırlı Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme
1. Kat	0	16	0	0
2. Kat	0	16	0	0
3. Kat	0	16	0	0
4. Kat	0	16	0	0
5. Kat	4	12	0	0
Toplam	4	76	0	0
Yüzde	5%	95%	0%	0%

Buna göre, BÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre kolon elemanların %5'i "Sınırlı Hasar (SH)" bölgesinde, %95'i "Belirgin Hasar (BH)" bölgesinde yer almaktadır.

5.4.4.4 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Basit ölçeklendirme yöntemi ile elde edilmiş 11 adet ivme kaydı çifti binaya doğrudan etkililerek, ZTADOH yöntemi uygulanmıştır. Taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda bina taşıyıcı sistemini oluşturan kiriş ve kolon elemanların hangi hasar seviyelerinde oldukları belirlenmiştir. Buna göre, kiriş elemanların tamamı "Belirgin Hasar (BH)" bölgesinde kalmaktadır. Kolon elemanlar ise %5'i "Sınırlı Hasar (SH)" bölgesinde, %95'i "Belirgin Hasar (BH)" bölgesinde yer almaktadır. TBDY 2018'de deprem performansının belirlenmesi ile ilgili bölümde yer alan koşullar değerlendirildiğinde, BÖ yöntemi ile elde edilen deprem kayıtları kullanarak gerçekleştirilen analiz sonucunda bina "Kontrollü Hasar Performans Düzey'ini" sağlamaktadır.

5.4.5 SUSŞÖ Yöntemiyle Elde Edilen Depremler için Analiz Sonuçları

Bu bölümde spektral uyuşum sağlanacak şekilde ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen 11 deprem kaydı kullanılarak ZTADOH yöntemi ile elde edilen sonuçlar verilmektedir.

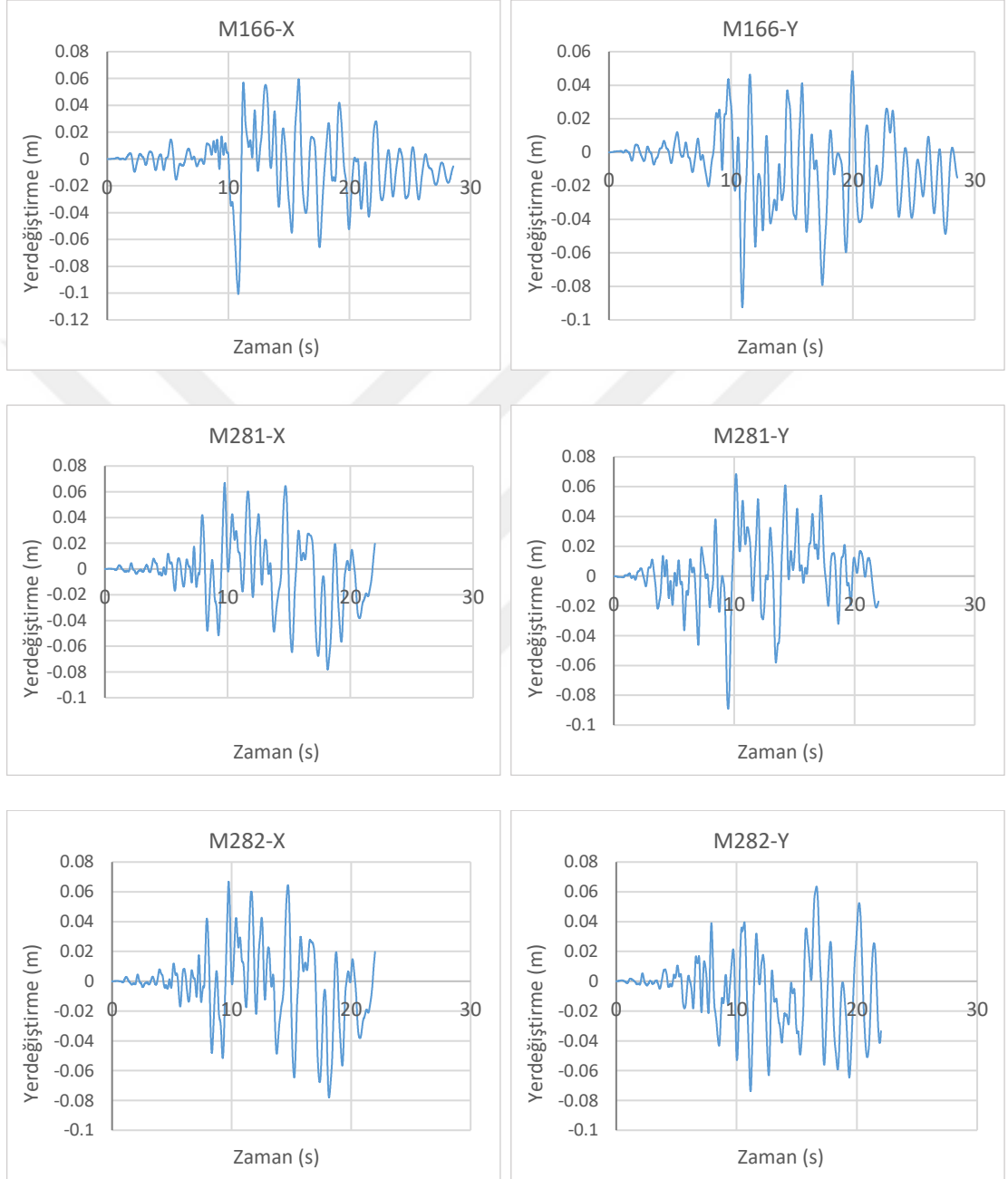
5.4.5.1 Tepe Noktası Yatay Yerdeğiştirmeleri

Spektral uyuşum sağlanacak şekilde ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen depremlerin etkisi altında yapıdaki birbirine dik iki yatay doğrultusu için pozitif ve negatif yöndeki en büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri Tablo 5.11’de verilmiştir. Buna göre, X ve Y doğrultusu için ortalama en büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri sırasıyla 0.0786 m, 0.0864 m’dir.

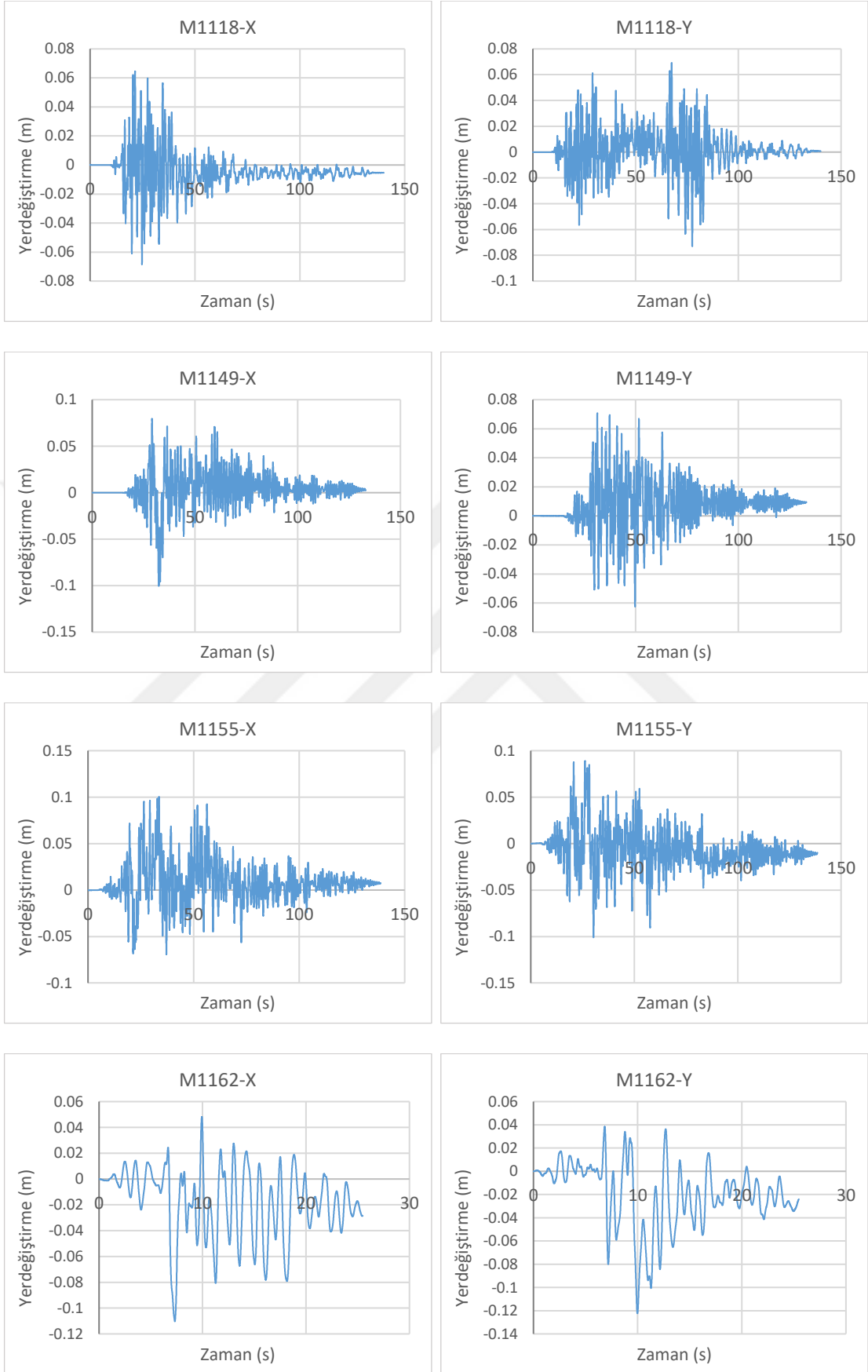
Tablo 5.11 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre en büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri

Deprem Numarası	U _x (m)		U _y (m)	
	(+) yön	(-) yön	(+) yön	(-) yön
M166	0.0594	-0.1006	0.0484	-0.0925
M281	0.0668	-0.0780	0.0685	-0.0891
M282	0.0634	-0.0737	0.0634	-0.0737
M1118	0.0645	-0.0684	0.0693	-0.0732
M1149	0.0795	-0.1003	0.0707	-0.0625
M1155	0.1001	-0.0694	0.0890	-0.1011
M1162	0.0482	-0.1102	0.0384	-0.1222
M1634	0.0669	-0.0682	0.0742	-0.0545
M1636	0.0590	-0.0692	0.0368	-0.0965
M3754	0.1260	-0.0393	0.1049	-0.0626
M6923	0.0994	-0.0869	0.0359	-0.1222
Ortalama	0.0757	-0.0786	0.0636	-0.0864

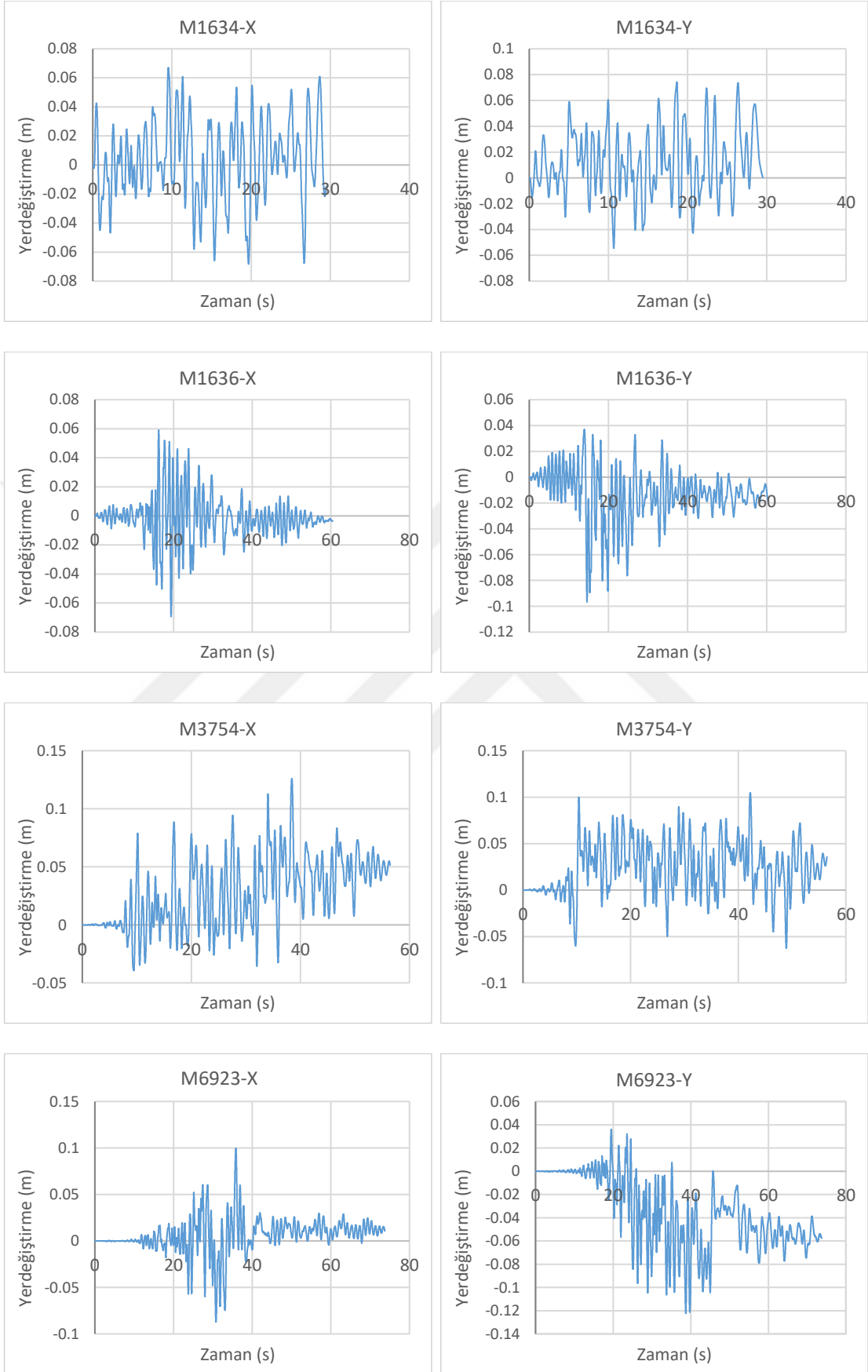
Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz sonucunda SUSŞÖ yöntemi ile ölçeklendirilmiş 11 deprem yer hareketinden elde edilen birbirine dik iki yatay doğrultusu (X ve Y doğrultuları) için tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri zamana bağlı olarak çizdirilmiştir (şekil 5.13).



şekil 5.13 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre tepe noktası yatay yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 5.13 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre tepe noktası yatay yerdeğiştirme zaman geçmişi (devamı)



Şekil 5.13 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre tepe noktası yatay yerdeğiştirme zaman geçmişi (devamı)

5.4.5.2 Kiriş Elemanların Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi

SUSŞÖ yöntemi ile ölçeklendirilmiş 11 deprem için elde edilen talep dönme değerlerinin ortalamalarının mutlak değerleri alınarak tablolara yazılmıştır ancak kıyaslamalarda talep dönme değerinin işareti dikkate alınmıştır. Kiriş uçlarındaki mafsallarda oluşan talep değerinin negatif olması, kiriş elemanda üst tarafta çekme olması durumuna karşılık gelmektedir. Elemanda üst tarafta çekme olması durumunda negatif moment etkisi altında hesaplanan sınır değerleri, alt tarafta çekme olması durumunda ise pozitif moment etkisi altında hesaplanan sınır değerleri kullanılarak kıyaslama yapılmıştır. Ayrıca çubuk elemanın her iki ucunda bulunan plastik mafsaldaki dönme değerleri incelenmiş ve en elverişsiz olan duruma göre değerlendirme yapılmıştır. SUSŞÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre zemin kat kirişlerinin hasar seviyeleri Tablo 5.12.'de verilmiştir.

Tablo 5.12 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre zemin kat kirişlerinin hasar seviyeleri

Kiriş Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
B101	B101H1	0.00600	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B102	B102H1	0.00573	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B103	B103H2	0.00572	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B104	B104H2	0.00667	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B105	B105H1	0.00739	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B106	B106H1	0.00736	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B107	B107H1	0.00654	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B108	B108H1	0.00676	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B109	B109H1	0.00666	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B110	B110H1	0.00660	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B111	B111H2	0.00638	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B112	B112H1	0.00730	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B113	B113H1	0.00727	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B114	B114H1	0.00628	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B115	B115H1	0.00676	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B116	B116H1	0.00667	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B117	B117H1	0.00661	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B118	B118H2	0.00633	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B119	B119H1	0.00724	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B120	B120H1	0.00720	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B121	B121H1	0.00623	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B122	B122H2	0.00596	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B123	B123H2	0.00574	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B124	B124H2	0.00570	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH

SUSŞÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre bütün kiriş elemanların hasar seviyeleri Tablo C.4’te verilmiştir. Her katta hangi hasar seviyesinde kaç tane kiriş elemanın bulunduğunu belirlemek için Tablo 5.13 oluşturulmuştur.

Tablo 5.13 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kiriş hasar bölgesi dağılımı

	Sınırlı Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme
1. Kat	0	24	0	0
2. Kat	0	24	0	0
3. Kat	0	24	0	0
4. Kat	0	24	0	0
5. Kat	0	24	0	0
Toplam	0	120	0	0
Yüzde	0%	100%	0%	0%

Tablo 5.13’e göre, SUSŞÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre kiriş elemanların tamamı “Belirgin Hasar (BH)” bölgesinde yer almaktadır.

5.4.5.3 Kolon Elemanların Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi

SUSŞÖ yöntemi ile ölçeklendirilen 11 adet deprem ivme kaydı takımı ile yapılan analizin her birinden elde edilen Θ_p plastik dönme taleplerinin ortalaması alınarak kolon elemanların her iki eksen etrafında dönme talepleri elde edilmiştir. Elde edilen talep değerleri plastik dönme sınır değerleri ile kıyaslanarak elemanların hasar seviyeleri belirlenmiştir. Zemin kat kolon elemanlara ait sınır değerleri Tablo 5.14 ve Tablo 5.15’te verilmektedir.

Tablo 5.16’da ise her kattaki, hasar seviyelerinde bulunan kolon sayıları verilmiştir. Buna göre, spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre kolon elemanların %40’ı “Sınırlı Hasar (SH)” bölgesinde, %60’ı “Belirgin Hasar (BH)” bölgesinde yer almaktadır.

Tablo 5.14 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre zemin kat kolonların Y eksenı etrafında oluşan hasar seviyeleri

Kolon Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_y 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C101	C101H1	0.0014	0.0372	0.0051	0.0067	0.0050	0	BH
C102	C102H1	0.0013	0.0346	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C103	C103H1	0.0013	0.0346	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C104	C104H1	0.0015	0.0393	0.0051	0.0071	0.0053	0	BH
C105	C105H1	0.0015	0.0347	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C106	C106H1	0.0016	0.0310	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C107	C107H1	0.0016	0.0310	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C108	C108H1	0.0015	0.0345	0.0051	0.0061	0.0046	0	BH
C109	C109H1	0.0015	0.0347	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C110	C110H1	0.0016	0.0310	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C111	C111H1	0.0016	0.0310	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C112	C112H1	0.0015	0.0345	0.0051	0.0061	0.0046	0	BH
C113	C113H1	0.0018	0.0388	0.0051	0.0070	0.0052	0	BH
C114	C114H1	0.0015	0.0348	0.0051	0.0062	0.0047	0	BH
C115	C115H1	0.0015	0.0348	0.0051	0.0062	0.0047	0	BH
C116	C116H1	0.0018	0.0379	0.0051	0.0068	0.0051	0	BH

Tablo 5.15 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre zemin kat kolonların X eksenı etrafında oluşan hasar seviyeleri

Kolon Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_y 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C101	C101H1	0.0012	0.09393	0.00513	0.01796	0.01347	0	BH
C102	C102H1	0.0009	0.05061	0.00513	0.00935	0.00701	0	BH
C103	C103H1	0.0010	0.05071	0.00513	0.00937	0.00702	0	BH
C104	C104H1	0.0011	0.03933	0.00513	0.00710	0.00533	0	BH
C105	C105H1	0.0010	0.05133	0.00513	0.00949	0.00712	0	BH
C106	C106H1	0.0010	0.03104	0.00462	0.00590	0.00442	0	BH
C107	C107H1	0.0010	0.03104	0.00462	0.00590	0.00442	0	BH
C108	C108H1	0.0010	0.03451	0.00513	0.00615	0.00461	0	BH
C109	C109H1	0.0010	0.05144	0.00513	0.00951	0.00713	0	BH
C110	C110H1	0.0010	0.03104	0.00462	0.00590	0.00442	0	BH
C111	C111H1	0.0010	0.03103	0.00462	0.00590	0.00442	0	BH
C112	C112H1	0.0010	0.03453	0.00513	0.00615	0.00461	0	BH
C113	C113H1	0.0012	0.03875	0.00513	0.00699	0.00524	0	BH
C114	C114H1	0.0011	0.03481	0.00513	0.00621	0.00465	0	BH
C115	C115H1	0.0011	0.03478	0.00513	0.00620	0.00465	0	BH
C116	C116H1	0.0013	0.03786	0.00513	0.00681	0.00511	0	BH

SUSŞÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre bütün kolon elemanlarda her iki eksen etrafındaki dönme taleplerine karşılık gelen hasar seviyeleri Tablo C.5 ve Tablo C.6’da yer almaktadır. Tablo 5.16’da ise her kattaki, hasar seviyelerinde bulunan kolon sayıları verilmiştir.

Tablo 5.16 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kolon hasar bölgesi dağılımı

	Sınırlı Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme
1. Kat	0	16	0	0
2. Kat	16	0	0	0
3. Kat	6	10	0	0
4. Kat	2	14	0	0
5. Kat	8	8	0	0
Toplam	32	48	0	0
Yüzde	40%	60%	0%	0%

Buna göre, SUSŞÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre kolon elemanların %40’ı “Sınırlı Hasar (SH)” bölgesinde, %60’ı “Belirgin Hasar (BH)” bölgesinde yer almaktadır.

5.4.5.4 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirme yöntemi ile elde edilmiş 11 adet ivme kaydı çifti binaya doğrudan etkililerek, ZTADOH yöntemi uygulanmıştır. Taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda bina taşıyıcı sistemini oluşturan kiriş ve kolon elemanların hangi hasar seviyelerinde oldukları belirlenmiştir. Buna göre, kiriş elemanların tamamı “Belirgin Hasar (BH)” bölgesinde kalmaktadır. Kolon elemanlar ise %40’ı “Sınırlı Hasar (SH)” bölgesinde, %60’ı “Belirgin Hasar (BH)” bölgesinde yer almaktadır. TBDY 2018’de deprem performansının belirlenmesi ile ilgili bölümde yer alan koşullar değerlendirildiğinde, SUSŞÖ yöntemi ile elde edilen deprem kayıtları kullanarak gerçekleştirilen analiz sonucunda bina “Kontrollü Hasar Performans Düzeyi’ni” sağlamaktadır.

5.4.6 Sonuçların Değerlendirilmesi

BÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçları ile SUSŞÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçları kıyaslandığında eleman hasar seviyelerinde farklılıklar olmasına rağmen bina performans durumu açısından bir fark görülmemiştir. Her iki yöntem sonuçlarına göre kiriş elemanların tamamı “Belirgin Hasar” bölgesinde yer almaktadır. Ancak kolon elemanların hasar seviyeleri kıyaslandığında, SUSŞÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre elemanların daha güvenli tarafta kaldığı görülmektedir. Her iki yöntem sonuçlarına göre bina “Kontrollü Hasar Performans Düzey’ini” sağlamaktadır.

Bu kısımda, her iki yöntem ile elde edilen analiz sonuçlarına göre, tepe noktası yatay yerdeğiştirmeler, kiriş ve kolon uç noktalarında oluşan dönme talepleri karşılaştırılarak değerlendirme yapılmıştır.

5.4.6.1 Tepe Noktası Yatay Yerdeğiştirmelerinin Değerlendirilmesi

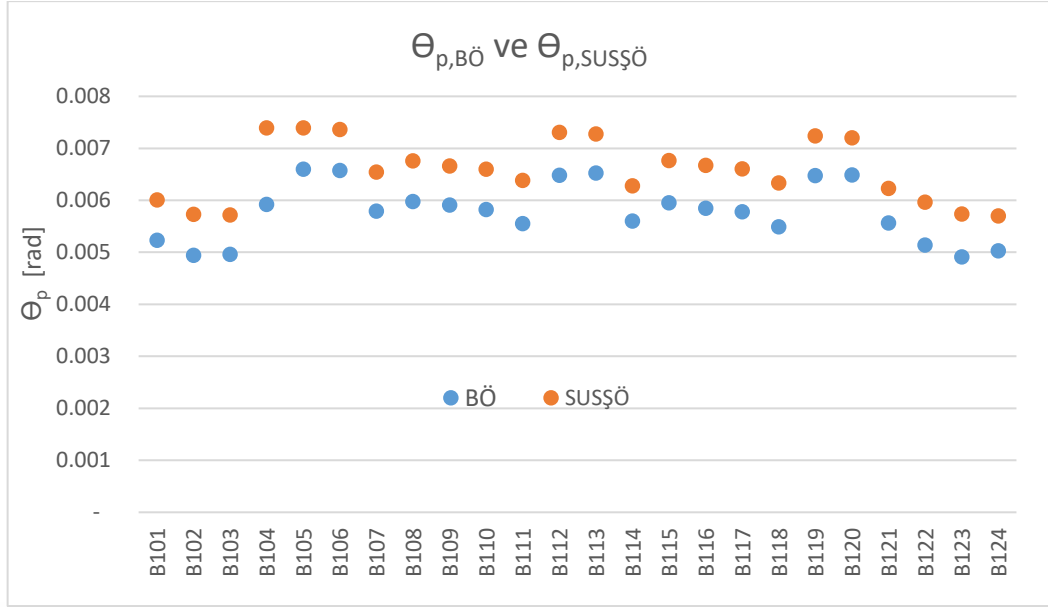
En büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi, 11 adet ivme kaydı çiftlerinden elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak hesaplanmıştır (Tablo 5.17). Buna göre, yapıda en büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi, BÖ yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre Y doğrultusunda 0.0816 m, SUSŞÖ yöntemi ile elde edilen analiz somunlarına göre yine Y doğrultusunda 0.0864 m’dir.

Tablo 5.17 En büyük tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri

BÖ Yöntemi Sonuçları		SUSŞÖ Yöntemi Sonuçları	
U_X (m)	U_Y (m)	U_X (m)	U_Y (m)
0.0711	0.0676	0.0757	0.0636
-0.0729	-0.0816	-0.0786	-0.0864

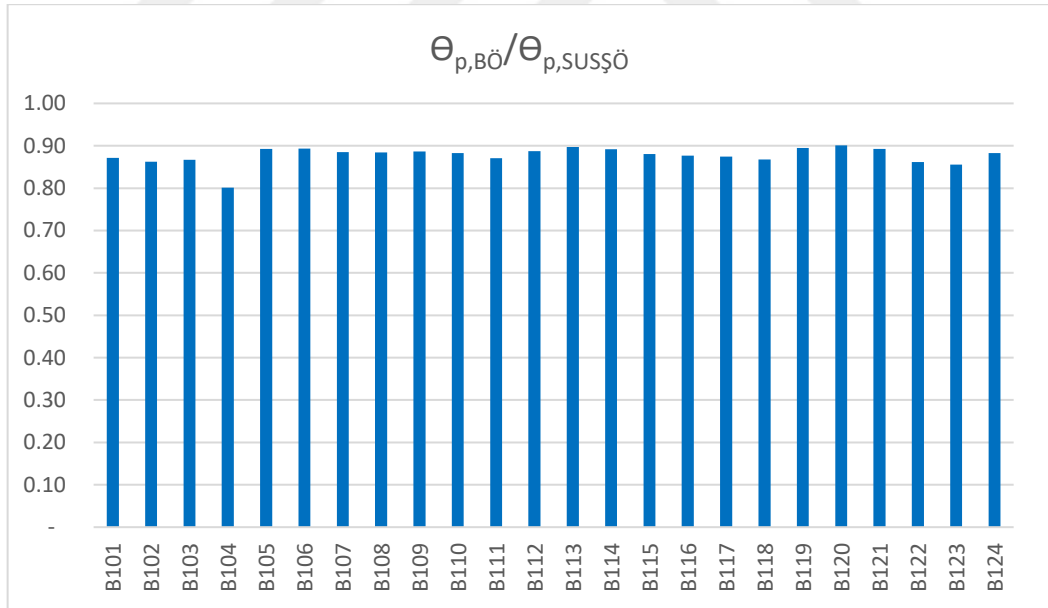
5.4.6.2 Kirişlerde Oluşan Plastik Dönme Taleplerinin Değerlendirilmesi

Zemin katta bulunan kirişlerin uçlarında oluşan her bir deprem için en büyük plastik dönme değerlerinin ortalaması alınarak elde edilen plastik dönme talepleri Şekil 5.14’te verilmektedir. Buna göre BÖ yöntemi ile elde edilen deprem kayıtları etkisinde kiriş uçlarında oluşan en büyük plastik dönme talepleri daha küçüktür.



Şekil 5.14 Zemin kat kirişlerin en büyük plastik dönme talepleri

Kiriş uçlarında oluşan en büyük plastik dönme talepleri oranları Şekil 5.15'te verilmiştir. Buradan, her iki yöntem ile elde edilen en büyük plastik dönme talepleri için en kötü durumda biri diğerinin 0.8 katı olduğu görülmektedir.

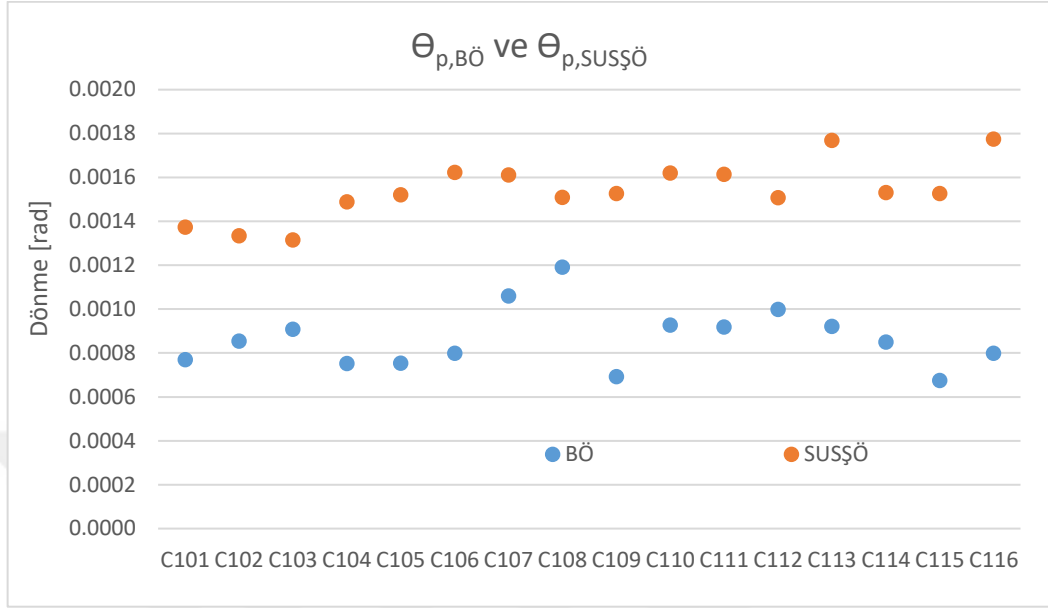


Şekil 5.15 Zemin kat kirişlerin en büyük plastik dönme talepleri oranları

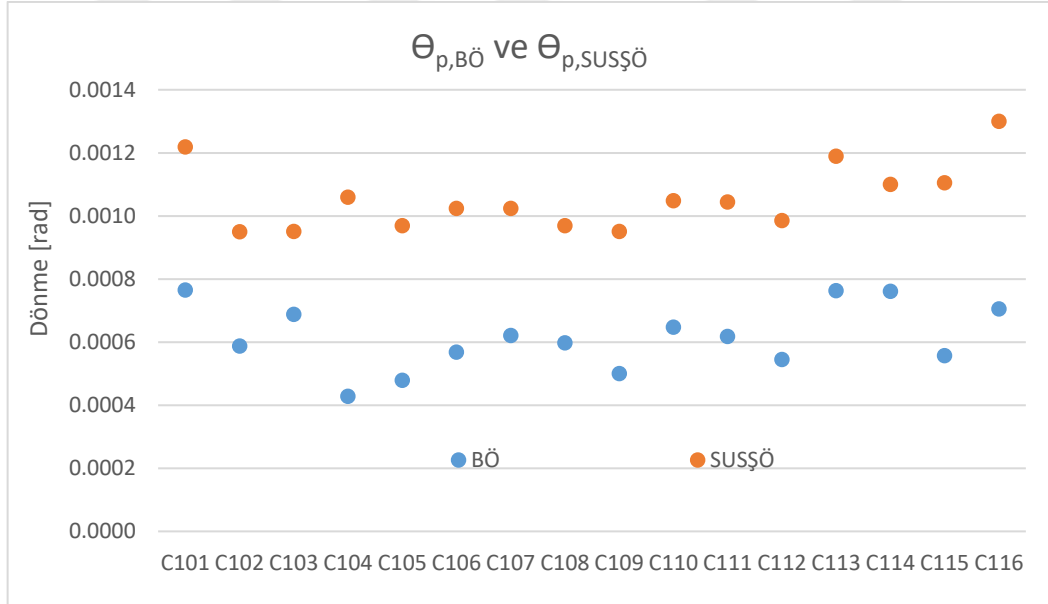
5.4.6.3 Kolonlarda Oluşan Plastik Dönme Taleplerinin Değerlendirilmesi

Zemin katta bulunan kolonların uçlarında oluşan her bir deprem için Y ve X eksenleri etrafında oluşan en büyük plastik dönme değerlerinin ortalaması alınarak elde edilen Y ve X eksenleri etrafında oluşan plastik dönme talepleri sırasıyla Şekil 5.16 ve Şekil

5.17’de verilmektedir. Buna göre BÖ yöntemi ile elde edilen deprem kayıtları etkisinde kolon uçlarında Y ve X eksenleri etrafında oluşan en büyük plastik dönme talepleri daha küçüktür.

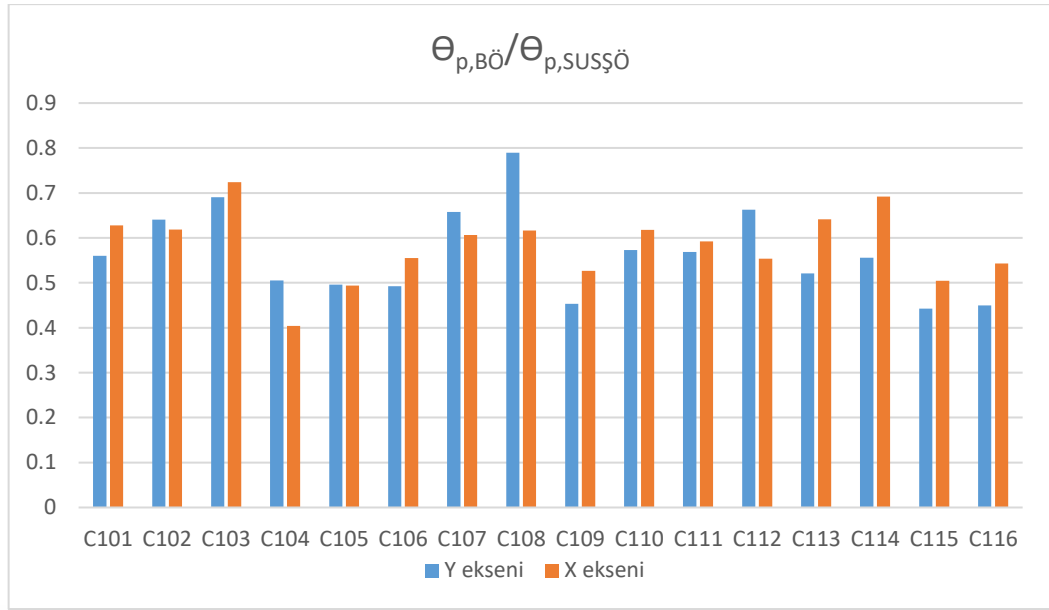


Şekil 5.16 Zemin kat kolonların Y eksen etrafında oluşan en büyük plastik dönme talepleri



Şekil 5.17 Zemin kat kolonların X eksen etrafında oluşan en büyük plastik dönme talepleri

Kolon uçlarında Y ve X eksen etrafında oluşan en büyük plastik dönme talepleri oranları Şekil 5.18’de verilmiştir Buradan, her iki yöntem ile elde edilen en büyük plastik dönme talepleri için en kötü durumda biri diğerinin 0.4 katı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.18 Zemin kat kolonların Y ve X eksenleri etrafında oluşan en büyük plastik dönme talepleri oranları

6

SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Sonuç

Bu çalışmada, betonarme çerçevelerden oluşan 5 katlı mevcut bir konut binasının eleman hasarlarının ve deprem performansının ZTADOH yöntemi ile elde edilmesinde, yer hareketlerinin TBDY 2018’de önerilen farklı ölçekleme teknikleri kullanılarak ölçeklenmesinin etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, TBDY 2018’de belirtilen kayıt seçimi kriterlerine ek olarak, tasarım spektrumu ile uyumlu olacak ve yüksek ölçekleme katsayıları çıkma riskini azaltacak olan Özdemir ve Fahjan’ın 2007’de önerdikleri bir yöntem de dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, deprem büyüklüğü, faya olan mesafe, faylanma mekanizması ve zemin sınıfı gibi kriterlere göre PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) Veritabanı’ından seçilen 66 adet ivme kaydı çifti arasından, Özdemir ve Fahjan’ın 2007’de önerdikleri yöntem kullanılarak 11 adet yer hareketi kaydı çifti, analizlerde kullanılmak üzere seçilmiştir. İvme takımlarının ölçeklenmesinde basit ölçeklendirme ve spektral uyum sağlanacak şekilde ölçekleme yöntemleri kullanılmıştır. Binanın analitik modeli SAP2000 analiz programında modellenmiş ve doğrusal olmama durumu, kolon ve kiriş uçlarına yığılı plastik mafsallar tanımlanarak sağlanmıştır. Her iki ölçekleme yöntemi ile ölçeklenen yer hareketi kaydı çiftleri için ZTADOH yapılarak, TBDY 2018 esaslarına göre, taşıyıcı eleman hasar seviyeleri ve bunlara bağlı olarak da bina performansı elde edilmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan analizler ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiş deprem kayıtları kullanılarak yapılan ZTADOH sonucu binanın Y doğrultusu için elde edilen ortalama tepe yerdeğiştirmesi 0.0816 m olarak elde edilirken, spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirilmiş deprem kayıtları kullanılarak yapılan ZTADOH sonucu elde edilen ortalama tepe yerdeğiştirmesi 0.0864 m’dir. Elde edilen sonuçlara göre, spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirme yapılması durumunda daha yüksek tepe yerdeğiştirmesi belirlenmesine rağmen, aradaki farkın önemsizmeyecek derecede az olduğu görülmektedir.

- Spektral uyumu sağlanacak şekilde ölçeklendirilen kayıtlar ile yapılan ZTADOH sonucu elde edilen kiriş ve kolon uçlarındaki plastik dönme taleplerinin, basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen kayıtlar ile elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir.
- Her iki ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen deprem kayıtları ile yapılan analiz sonuçlarına göre, bütün kirişlerin Belirgin Hasar bölgesinde olduğu elde edilmiştir. Her ne kadar, iki yöntem ile ölçeklendirilen kayıtların kullanılması ile elde edilen plastik dönme talepleri farklı olsa da, kirişlerin hasar bölgelerini değiştirecek oranda bir fark söz konusu değildir.
- Kolonlar için belirlenen kesit hasar bölgeleri karşılaştırıldığında, basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen deprem kayıtları ile yapılan analizlerden elde edilen eleman hasar seviyelerinin spektral uyumu sağlanacak şekilde ölçeklendirilmiş deprem kayıtları ile yapılan analizlerden elde edilen eleman hasar seviyeleriyle farklılıklar olduğu sonucuna varılmıştır.
- Basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen deprem kayıtları ile yapılan analiz sonuçlarına göre kolonların %5'i Sınırlı Hasar, %95'i Belirgin Hasar bölgesinde iken, spektral uyumu sağlanacak şekilde ölçeklendirilen deprem kayıtları ile yapılan analiz sonuçlarına göre kolonların %40'ı Sınırlı Hasar bölgesinde, %60'ı Belirgin Hasar bölgesinde kalmaktadır.

Sonuç olarak, spektral uyumu sağlanacak şekilde ölçeklendirme yöntemi, basit ölçeklendirme yöntemine göre hem plastik dönme talepleri hem de tepe yerdeğiştirmesi açısından daha büyük sonuçlar elde edilmesini sağlasa da, en azından tez kapsamında ele alınan bina için, “Kontrollü Hasar Performans” düzeyi olmak üzere aynı performans seviyesi elde edilmiştir. Dolayısıyla, tasarım spektrumuna uygun depremlerin seçilmesi durumunda, ölçeklendirme yönteminin, elde edilen bina deprem performansı üzerinde ir etkisi olmamaktadır.

6.2 Öneriler

Yapılan tez çalışmasında, Özdemir ve Fajhan'ın 2007'de önerdikleri yöntem ile α katsayısı 2'den küçük olan depremler seçilmiştir. α katsayısı 2'den büyük olan depremler için de analizler tekrarlanarak, bu tez kapsamında elde edilen sonuçların genişletilmesi önerilmektedir.

- Acevedo, A. ve Bommer, J. (2004). The Use of Real Accelerograms as Input to Dynamic Analysis. *Journal of Earthquake Engineering* , 8(1):43-91.
- Börekçi, M. (2008). *Betonarme Binalarda Yük-Yer Değiştirme İlişkisinin Hasar Olasılığı Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Celep, Z. (2018). *Deprem Mühendisliğine Giriş*. Türkiye: Beta Yayınevi.
- Darılmaz, K. (2019). *Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş*. Türkiye: Birsan Yayınevi.
- DBYBHY (2007), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: T.C. Bayındırlık Bakanlığı.
- Fahjan , Y., & Özdemir, Z. (2007). Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. İstanbul.
- Kayhan, A. H. (2012). Armoni Araştırması ile İvme Kaydı Seçimi ve Ölçeklendirme. *İMO Teknik Dergi*, 5751-5775.
- Maltaş, P. (2007). *Mevcut Betonarme Binalarda Beton Karakteristik Dayanımı ve Sargı Donatısının Deprem Performansına Etkisi Üzerine Sayısal Bir İncele*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özer, E. (2007). www.ins.itu.edu.tr. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları: www.ins.itu.edu.tr/eozer adresinden alındı
- Priestley, M., Calvi, G., & Kowalsky , M. (2007). *Displacement-Based Seismic Design of Structures*. Italy: IUSS Press.
- SAP2000 (2005) Structural Analysis Program. California, Berkeley: Computers and Structures Inc.
- Seismomatch (2021), Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions. Messina, Italy.

SeismoSignal (2021), Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions.

Messina, Italy.

Soydan, S. (2019). Doğrusal Analiz Yöntemi ile Mevcut Bir Betonarme Yapının Performans Değerlendirilmesi ve Güçlendirme Tahkiklerinin Yapılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya. .

TBDY (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. T.C. Başbakanlık AFAD.

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

XTRACT (2001) Cross Sectional Analysis of Component. Sacramento: Imbsen Software System.



MANDER SARGILI BETON MODELİ HESABI

45/45 Kolon Kesatine Ait Sargılı Beton Modeli (Mander)			
Malzeme Bilgisi			
f_c =	16 MPa	Donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı	
f_{yk} =	220 MPa	Betonun karakteristik basınç dayanımı	
Kesit Bilgisi			
b =	450 mm	Kesit genişliği	
h =	450 mm	Kesit yüksekliği	
C_c =	25 mm	Temiz paspayı (ettriye yüzünden)	
Φ_b =	20 mm	Boyuna donatı çapı	
n_b =	10 -	Boyuna donatı adedi	
Φ_s =	8 mm	Etriye çapı	
s =	25 mm	Etriye aralığı	
n_{sx} =	2 -	X yönü ettriye kol adedi	
n_{sy} =	2 -	Y yönü ettriye kol adedi	
Hesaplama			
f_{co} =	16.00 MPa	ϵ_{co} =	0.00200
λ_c =	1.52 -	λ_c =	1.52
f_{cc} =	24.32 MPa	ϵ_{cc} =	0.00720
E_c =	20000.00 MPa	ϵ_c =	0.0200
E_{acc} =	3377.73 MPa	x =	2.78
r =	1.20 -	f_c =	22.44 MPa

Şekil A.1 45/45 kolon kesatine ait Mander sargılı beton modeli hesabı

50/50 Kolon Kesatine Ait Sargılı Beton Modeli (Mander)		
Malzeme Bilgisi		
f_c =	16 MPa	Donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı
f_{yk} =	220 MPa	Betonun karakteristik basınç dayanımı
Kesit Bilgisi		
b =	500 mm	Kesit genişliği
h =	500 mm	Kesit yüksekliği
C_c =	25 mm	Temiz paspayı (etriye yüzünden)
Φ_b =	20 mm	Boyuna donatı çapı
n_b =	10 -	Boyuna donatı adedi
Φ_s =	8 mm	Etriye çapı
s =	25 mm	Etriye aralığı
n_{sx} =	2 -	X yönü etriye kol adedi
n_{sy} =	2 -	Y yönü etriye kol adedi
Hesaplama		
f_{co} =	16.00 MPa	ϵ_{co} = 0.00200
λ_c =	1.47 -	λ_c = 1.47
f_{cc} =	23.60 MPa	ϵ_{cc} = 0.00675
E_c =	20000.00 MPa	ϵ_c = 0.0200
E_{acc} =	3496.95 MPa	x = 2.96
r =	1.21 -	f_c = 21.49 MPa

Şekil A.2 50/50 kolon kesatine ait Mander sargılı beton modeli hesabı

B

ELEMANLARIN DAVRANIŞ (SÜNEKLİK-GEVREKLİK) KONTROLLERİ

Tablo B.1 Kirişlerde davranış (gevreklik ve süneklik) kontrolleri

Kiriş Adı	Kiriş Ucu	V_{dy} kN	$(M_i + M_j/ln)$ kN	V_e kN		V kN	Kırılma Türü
B101	sol	-23.95	19.77	43.93	<	110.9	Sünek
	sağ	24.17					
B102	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B103	sol	-24.17	19.77	43.94	<	110.9	Sünek
	sağ	23.95					
B104	sol	-24.17	19.77	43.94	<	110.9	Sünek
	sağ	23.95					
B105	sol	-35.61	19.77	56.45	<	110.9	Sünek
	sağ	36.68					
B106	sol	-35.61	19.77	56.45	<	110.9	Sünek
	sağ	36.68					
B107	sol	-23.95	19.77	43.94	<	110.9	Sünek
	sağ	24.17					
B108	sol	-35.61	19.77	56.45	<	110.9	Sünek
	sağ	36.68					
B109	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B110	sol	-36.68	19.77	56.45	<	110.9	Sünek
	sağ	35.61					
B111	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B112	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B113	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B114	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B115	sol	-35.61	19.77	56.45	<	110.9	Sünek
	sağ	36.68					
B116	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B117	sol	-36.68	19.77	56.45	<	110.9	Sünek
	sağ	35.61					
B118	sol	-23.95	19.77	43.94	<	110.9	Sünek
	sağ	24.17					

Tablo B.1 Kirişlerde davranış (gevreklik ve süneklik) kontrolleri (devamı)

Kiriş Adı	Kiriş Ucu	V_{dy} kN	$(M_i + M_j/ln)$ kN	V_e KN		V KN	Kırılma Türü
B119	sol	-36.68	19.77	56.45	<	110.9	Sünek
	sağ	35.61					
B120	sol	-36.68	19.77	56.45	<	110.9	Sünek
	sağ	35.61					
B121	sol	-24.17	19.77	43.94	<	110.9	Sünek
	sağ	23.95					
B122	sol	-24.17	19.77	43.94	<	110.9	Sünek
	sağ	23.95					
B123	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B124	sol	-23.95	19.77	43.94	<	110.9	Sünek
	sağ	24.17					
B201	sol	-24.65	19.77	44.42	<	110.9	Sünek
	sağ	23.47					
B202	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B203	sol	-23.47	19.77	44.42	<	110.9	Sünek
	sağ	24.65					
B204	sol	-23.47	19.77	44.42	<	110.9	Sünek
	sağ	24.65					
B205	sol	-36.47	19.77	56.24	<	110.9	Sünek
	sağ	35.82					
B206	sol	-36.47	19.77	56.24	<	110.9	Sünek
	sağ	35.82					
B207	sol	-24.65	19.77	44.42	<	110.9	Sünek
	sağ	23.47					
B208	sol	-36.47	19.77	56.24	<	110.9	Sünek
	sağ	35.82					
B209	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B210	sol	-35.82	19.77	56.24	<	110.9	Sünek
	sağ	36.47					
B211	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B212	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B213	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B214	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B215	sol	-36.47	19.77	56.24	<	110.9	Sünek
	sağ	35.82					
B216	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					

Tablo B.1 Kirişlerde davranış (gevreklik ve süneklik) kontrolleri (devamı)

Kiriş Adı	Kiriş Ucu	V_{dy} kN	$(M_i + M_j/ln)$ kN	V_e KN		V KN	Kırılma Türü
B217	sol	-35.82	19.77	56.24	<	110.9	Sünek
	sağ	36.47					
B218	sol	-24.65	19.77	44.42	<	110.9	Sünek
	sağ	23.47					
B219	sol	-35.82	19.77	56.24	<	110.9	Sünek
	sağ	36.47					
B220	sol	-35.82	19.77	56.24	<	110.9	Sünek
	sağ	36.47					
B221	sol	-23.47	19.77	44.42	<	110.9	Sünek
	sağ	24.65					
B222	sol	-23.47	19.77	44.42	<	110.9	Sünek
	sağ	24.65					
B223	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B224	sol	-24.65	19.77	44.42	<	110.9	Sünek
	sağ	23.47					
B301	sol	-24.83	19.77	44.60	<	110.9	Sünek
	sağ	23.29					
B302	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B303	sol	-23.29	19.77	44.60	<	110.9	Sünek
	sağ	24.83					
B304	sol	-23.29	19.77	44.60	<	110.9	Sünek
	sağ	24.83					
B305	sol	-36.60	19.77	56.37	<	110.9	Sünek
	sağ	35.69					
B306	sol	-36.60	19.77	56.37	<	110.9	Sünek
	sağ	35.69					
B307	sol	-24.83	19.77	44.60	<	110.9	Sünek
	sağ	23.29					
B308	sol	-36.60	19.77	56.37	<	110.9	Sünek
	sağ	35.69					
B309	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B310	sol	-35.69	19.77	56.37	<	110.9	Sünek
	sağ	36.60					
B311	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B312	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B313	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B314	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					

Tablo B.1 Kirişlerde davranış (gevreklik ve süneklik) kontrolleri (devamı)

Kiriş Adı	Kiriş Ucu	V_{dy} kN	$(M_i + M_j/ln)$ kN	V_e KN		V KN	Kırılma Türü
B315	sol	-36.60	19.77	56.37	<	110.9	Sünek
	sağ	35.69					
B316	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B317	sol	-35.69	19.77	56.37	<	110.9	Sünek
	sağ	36.60					
B318	sol	-24.83	19.77	44.60	<	110.9	Sünek
	sağ	23.29					
B319	sol	-35.69	19.77	56.37	<	110.9	Sünek
	sağ	36.60					
B320	sol	-35.69	19.77	56.37	<	110.9	Sünek
	sağ	36.60					
B321	sol	-23.29	19.77	44.60	<	110.9	Sünek
	sağ	24.83					
B322	sol	-23.29	19.77	44.60	<	110.9	Sünek
	sağ	24.83					
B323	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B324	sol	-24.83	19.77	44.60	<	110.9	Sünek
	sağ	23.29					
B401	sol	-25.41	19.77	45.18	<	110.9	Sünek
	sağ	22.71					
B402	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B403	sol	-22.71	19.77	45.18	<	110.9	Sünek
	sağ	25.41					
B404	sol	-22.71	19.77	45.18	<	110.9	Sünek
	sağ	25.41					
B405	sol	-37.34	19.77	57.11	<	110.9	Sünek
	sağ	34.95					
B406	sol	-37.34	19.77	57.11	<	110.9	Sünek
	sağ	34.95					
B407	sol	-25.41	19.77	45.18	<	110.9	Sünek
	sağ	22.71					
B408	sol	-37.34	19.77	57.11	<	110.9	Sünek
	sağ	34.95					
B409	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B410	sol	-34.95	19.77	57.11	<	110.9	Sünek
	sağ	37.34					
B411	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B412	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					

Tablo B.1 Kirişlerde davranış (gevreklik ve süneklik) kontrolleri (devamı)

Kiriş Adı	Kiriş Ucu	V_{dy} kN	$(M_i + M_j/ln)$ kN	V_e KN		V KN	Kırılma Türü
B413	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B414	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B415	sol	-37.34	19.77	57.11	<	110.9	Sünek
	sağ	34.95					
B416	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B417	sol	-34.95	19.77	57.11	<	110.9	Sünek
	sağ	37.34					
B418	sol	-25.41	19.77	45.18	<	110.9	Sünek
	sağ	22.71					
B419	sol	-34.95	19.77	57.11	<	110.9	Sünek
	sağ	37.34					
B420	sol	-34.95	19.77	57.11	<	110.9	Sünek
	sağ	37.34					
B421	sol	-22.71	19.77	45.18	<	110.9	Sünek
	sağ	25.41					
B422	sol	-22.71	19.77	45.18	<	110.9	Sünek
	sağ	25.41					
B423	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B424	sol	-25.41	19.77	45.18	<	110.9	Sünek
	sağ	22.71					
B501	sol	-24.32	19.77	44.09	<	110.9	Sünek
	sağ	23.80					
B502	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B503	sol	-23.80	19.77	44.09	<	110.9	Sünek
	sağ	24.32					
B504	sol	-23.80	19.77	44.09	<	110.9	Sünek
	sağ	24.32					
B505	sol	-35.80	19.77	56.26	<	110.9	Sünek
	sağ	36.49					
B506	sol	-35.80	19.77	56.26	<	110.9	Sünek
	sağ	36.49					
B507	sol	-24.32	19.77	44.09	<	110.9	Sünek
	sağ	23.80					
B508	sol	-35.80	19.77	56.26	<	110.9	Sünek
	sağ	36.49					
B509	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B510	sol	-36.49	19.77	56.26	<	110.9	Sünek
	sağ	35.80					

Tablo B.1 Kirişlerde davranış (gevreklik ve süneklik) kontrolleri (devamı)

Kiriş Adı	Kiriş Ucu	V_{dy} kN	$(M_i + M_j/ln)$ kN	V_e kN		V kN	Kırılma Türü
B511	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B512	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B513	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B514	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B515	sol	-35.80	19.77	56.26	<	110.9	Sünek
	sağ	36.49					
B516	sol	-36.01	19.77	55.78	<	110.9	Sünek
	sağ	36.01					
B517	sol	-36.49	19.77	56.26	<	110.9	Sünek
	sağ	35.80					
B518	sol	-24.32	19.77	44.09	<	110.9	Sünek
	sağ	23.80					
B519	sol	-36.49	19.77	56.26	<	110.9	Sünek
	sağ	35.80					
B520	sol	-36.49	19.77	56.26	<	110.9	Sünek
	sağ	35.80					
B521	sol	-23.80	19.77	44.09	<	110.9	Sünek
	sağ	24.32					
B522	sol	-23.80	19.77	44.09	<	110.9	Sünek
	sağ	24.32					
B523	sol	-24.06	19.77	43.83	<	110.9	Sünek
	sağ	24.06					
B524	sol	-24.32	19.77	44.09	<	110.9	Sünek
	sağ	23.80					

Tablo B.2 Kolonlarda davranış (gevreklik ve süneklik) kontrolleri

Kolon Adı	Mü kN.m	Ma kN.m	Ve kN		V _{min} kN	Kırılma Türü
C101	15.07	69.68	33.9	<	111.9	Sünek
C201	29.68	32.88	25.0	<	111.9	Sünek
C301	36.28	18.27	21.8	<	111.9	Sünek
C401	43.82	11.67	22.2	<	111.9	Sünek
C501	119.54	4.13	49.5	<	111.9	Sünek
C102	27.55	167.99	78.2	<	111.9	Sünek
C202	47.23	56.95	41.7	<	111.9	Sünek
C302	54.81	37.27	36.8	<	111.9	Sünek
C402	63.13	29.69	37.1	<	111.9	Sünek
C502	177.56	21.37	79.6	<	111.9	Sünek
C103	27.54	167.99	78.2	<	111.9	Sünek
C203	46.99	56.96	41.6	<	111.9	Sünek
C303	54.43	37.51	36.8	<	111.9	Sünek
C403	62.36	30.07	37.0	<	111.9	Sünek
C503	174.94	22.14	78.8	<	111.9	Sünek
C104	13.61	69.68	33.3	<	111.9	Sünek
C204	27.52	34.34	24.7	<	111.9	Sünek
C304	33.33	20.43	21.5	<	111.9	Sünek
C404	37.76	14.62	21.0	<	111.9	Sünek
C504	119.54	10.19	51.9	<	111.9	Sünek
C105	15.63	167.99	73.4	<	111.9	Sünek
C205	26.80	32.32	23.6	<	111.9	Sünek

Tablo B.2 Kolonlarda davranış (gevreklik ve süneklik) kontrolleri (devamı)

Kolon Adı	Mü kN.m	Ma kN.m	Ve kN		V _{min} kN	Kırılma Türü
C305	31.10	21.15	20.9	<	111.9	Sünek
C405	35.83	16.85	21.1	<	111.9	Sünek
C505	177.56	12.12	75.9	<	111.9	Sünek
C106	25.43	257.80	113.3	<	142.2	Sünek
C206	48.08	59.07	42.9	<	142.2	Sünek
C306	57.49	36.42	37.6	<	142.2	Sünek
C406	68.20	27.01	38.1	<	142.2	Sünek
C506	202.83	16.30	87.6	<	142.2	Sünek
C107	25.53	257.80	113.3	<	142.2	Sünek
C207	47.97	58.97	42.8	<	142.2	Sünek
C307	57.28	36.53	37.5	<	142.2	Sünek
C407	67.75	27.22	38.0	<	142.2	Sünek
C507	202.83	16.75	87.8	<	142.2	Sünek
C108	15.63	167.99	73.4	<	111.9	Sünek
C208	26.80	32.32	23.6	<	111.9	Sünek
C308	31.10	21.15	20.9	<	111.9	Sünek
C408	35.83	16.85	21.1	<	111.9	Sünek
C508	177.56	12.12	75.9	<	111.9	Sünek
C109	15.63	167.99	73.4	<	111.9	Sünek
C209	26.66	32.32	23.6	<	111.9	Sünek
C309	30.89	21.29	20.9	<	111.9	Sünek

Tablo B.2 Kolonlarda davranış (gevreklik ve süneklik) kontrolleri (devamı)

Kolon Adı	Mü kN.m	Ma kN.m	Ve kN		V _{min} kN	Kırılma Türü
C409	35.38	17.06	21.0	<	111.9	Sünek
C509	174.94	12.57	75.0	<	111.9	Sünek
C110	25.53	257.80	113.3	<	142.2	Sünek
C210	47.97	58.97	42.8	<	142.2	Sünek
C310	57.28	36.53	37.5	<	142.2	Sünek
C410	67.75	27.22	38.0	<	142.2	Sünek
C510	202.83	16.75	87.8	<	142.2	Sünek
C111	25.55	257.80	113.3	<	142.2	Sünek
C211	47.93	58.95	42.8	<	142.2	Sünek
C311	57.23	36.57	37.5	<	142.2	Sünek
C411	67.62	27.27	38.0	<	142.2	Sünek
C511	201.98	16.88	87.5	<	142.2	Sünek
C112	15.63	167.99	73.4	<	111.9	Sünek
C212	26.66	32.32	23.6	<	111.9	Sünek
C312	30.89	21.29	20.9	<	111.9	Sünek
C412	35.38	17.06	21.0	<	111.9	Sünek
C512	174.94	12.57	75.0	<	111.9	Sünek
C113	13.61	69.68	33.3	<	111.9	Sünek
C213	27.52	34.34	24.7	<	111.9	Sünek
C313	33.33	20.43	21.5	<	111.9	Sünek
C413	37.76	14.62	21.0	<	111.9	Sünek
C513	119.54	10.19	51.9	<	111.9	Sünek

Tablo B.2 Kolonlarda davranış (gevreklik ve süneklik) kontrolleri (devamı)

Kolon Adı	Mü kN.m	Ma kN.m	Ve kN		Vmin kN	Kırılma Türü
C114	27.55	167.99	78.2	<	111.9	Sünek
C214	47.23	56.95	41.7	<	111.9	Sünek
C314	54.81	37.27	36.8	<	111.9	Sünek
C414	63.13	29.69	37.1	<	111.9	Sünek
C514	177.56	21.37	79.6	<	111.9	Sünek
C115	27.54	167.99	78.2	<	111.9	Sünek
C215	46.99	56.96	41.6	<	111.9	Sünek
C315	54.43	37.51	36.8	<	111.9	Sünek
C415	62.36	30.07	37.0	<	111.9	Sünek
C515	174.94	22.14	78.8	<	111.9	Sünek
C116	11.22	69.68	32.4	<	111.9	Sünek
C216	25.86	36.73	25.0	<	111.9	Sünek
C316	31.88	22.09	21.6	<	111.9	Sünek
C416	36.85	16.07	21.2	<	111.9	Sünek
C516	75.67	11.10	34.7	<	111.9	Sünek

C

ELEMANLARIN HASAR SEVİYELERİ

Tablo C.1 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kirişlerinin hasar seviyeleri

Kiriş Adı	Mafsal Adı	Θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_{p(G\ddot{O})}$ rad	$\theta_{p(KH)}$ rad	$\theta_{p(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
B101	B101H1	0.00523	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B102	B102H1	0.00494	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B103	B103H1	0.00496	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B104	B104H2	0.00592	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B105	B105H1	0.00660	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B106	B106H1	0.00657	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B107	B107H1	0.00579	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B108	B108H1	0.00598	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B109	B109H1	0.00591	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B110	B110H1	0.00582	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B111	B111H2	0.00555	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B112	B112H1	0.00648	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B113	B113H1	0.00653	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B114	B114H1	0.00560	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B115	B115H1	0.00595	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B116	B116H1	0.00584	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B117	B117H1	0.00578	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B118	B118H2	0.00549	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B119	B119H1	0.00648	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B120	B120H1	0.00649	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B121	B121H1	0.00556	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B122	B122H2	0.00514	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B123	B123H2	0.00491	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B124	B124H1	0.00503	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B201	B201H1	0.00624	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B202	B202H1	0.00596	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B203	B203H2	0.00602	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B204	B204H2	0.00721	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B205	B205H1	0.00800	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B206	B206H1	0.00801	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B207	B207H1	0.00725	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B208	B208H1	0.00700	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B209	B209H1	0.00692	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B210	B210H1	0.00680	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH

Tablo C.1 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kirişlerinin hasar seviyeleri (devamı)

Kiriş Adı	Mafsal Adı	Θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_{p(GÖ)}$ rad	$\theta_{p(KH)}$ rad	$\theta_{p(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
B211	B211H2	0.00704	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B212	B212H1	0.00796	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B213	B213H1	0.00796	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B214	B214H1	0.00704	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B215	B215H1	0.00698	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B216	B216H1	0.00690	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B217	B217H1	0.00678	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B218	B218H2	0.00695	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B219	B219H1	0.00783	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B220	B220H1	0.00783	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B221	B221H1	0.00695	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B222	B222H2	0.00621	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B223	B223H2	0.00594	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B224	B224H1	0.00603	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B301	B301H1	0.00542	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B302	B302H1	0.00513	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B303	B303H2	0.00520	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B304	B304H2	0.00623	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B305	B305H1	0.00698	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B306	B306H1	0.00698	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B307	B307H1	0.00624	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B308	B308H1	0.00613	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B309	B309H1	0.00605	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B310	B310H2	0.00592	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B311	B311H2	0.00600	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B312	B312H1	0.00691	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B313	B313H1	0.00691	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B314	B314H1	0.00597	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B315	B315H1	0.00612	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B316	B316H1	0.00604	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B317	B317H2	0.00593	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B318	B318H2	0.00588	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B319	B319H1	0.00676	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B320	B320H1	0.00676	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B321	B321H1	0.00585	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B322	B322H2	0.00540	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B323	B323H2	0.00513	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B324	B324H1	0.00519	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B401	B401H1	0.00371	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B402	B402H1	0.00350	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH

Tablo C.1 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kirişlerinin hasar seviyeleri (devamı)

Kiriş Adı	Mafsal Adı	Θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_{p(GÖ)}$ rad	$\theta_{p(KH)}$ rad	$\theta_{p(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
B403	B403H2	0.00343	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B404	B404H2	0.00433	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B405	B405H1	0.00504	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B406	B406H1	0.00503	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B407	B407H1	0.00433	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B408	B408H1	0.00438	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B409	B409H1	0.00429	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B410	B410H2	0.00414	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B411	B411H2	0.00420	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B412	B412H1	0.00495	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B413	B413H1	0.00495	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B414	B414H1	0.00412	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B415	B415H1	0.00438	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B416	B416H1	0.00429	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B417	B417H2	0.00413	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B418	B418H2	0.00405	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B419	B419H1	0.00478	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B420	B420H1	0.00478	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B421	B421H1	0.00398	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B422	B422H2	0.00370	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B423	B423H2	0.00350	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B424	B424H1	0.00340	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B501	B501H1	0.00165	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B502	B502H1	0.00133	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B503	B503H2	0.00148	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B504	B504H2	0.00253	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B505	B505H1	0.00316	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B506	B506H1	0.00315	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B507	B507H1	0.00250	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B508	B508H1	0.00226	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B509	B509H1	0.00222	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B510	B510H1	0.00211	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B511	B511H2	0.00218	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B512	B512H1	0.00312	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B513	B513H1	0.00312	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B514	B514H1	0.00216	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B515	B515H1	0.00226	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B516	B516H1	0.00223	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B517	B517H1	0.00212	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B518	B518H2	0.00217	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH

Tablo C.1 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kirişlerinin hasar seviyeleri (devamı)

Kiriş Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
B519	B519H1	0.00299	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B520	B520H1	0.00299	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B521	B521H1	0.00216	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B522	B522H2	0.00166	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B523	B523H2	0.00134	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B524	B524H1	0.00146	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH

Tablo C.2 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların Y ekseninde oluşan hasar seviyeleri

Kolon Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C101	C101H1	0.00077	0.08832	0.00513	0.017	0.013	0	BH
C102	C102H1	0.00085	0.05198	0.00513	0.010	0.007	0	BH
C103	C103H1	0.00091	0.05428	0.00513	0.010	0.008	0	BH
C104	C104H1	0.00075	0.08417	0.00513	0.016	0.012	0	BH
C105	C105H1	0.00075	0.05366	0.00513	0.010	0.007	0	BH
C106	C106H1	0.00080	0.03388	0.00462	0.007	0.005	0	BH
C107	C107H1	0.00106	0.03540	0.00462	0.007	0.005	0	BH
C108	C108H1	0.00119	0.05563	0.00513	0.010	0.008	0	BH
C109	C109H1	0.00069	0.05460	0.00513	0.010	0.008	0	BH
C110	C110H1	0.00093	0.03534	0.00462	0.007	0.005	0	BH
C111	C111H1	0.00092	0.03481	0.00462	0.007	0.005	0	BH
C112	C112H1	0.00100	0.05553	0.00513	0.010	0.008	0	BH
C113	C113H1	0.00092	0.08195	0.00513	0.016	0.012	0	BH
C114	C114H1	0.00085	0.05384	0.00513	0.010	0.007	0	BH
C115	C115H1	0.00068	0.03484	0.00513	0.006	0.005	0	BH
C116	C116H1	0.00080	0.03854	0.00513	0.007	0.005	0	BH
C201	C201H2	0.00007	0.04382	0.00513	0.008	0.006	0	BH
C202	C202H1	0.00008	0.03849	0.00513	0.007	0.005	0	BH
C203	C203H1	0.00012	0.03851	0.00513	0.007	0.005	0	BH
C204	C204H1	0.00018	0.04596	0.00513	0.008	0.006	0	BH
C205	C205H1	0.00013	0.03843	0.00513	0.007	0.005	0	BH
C206	C206H1	0.00017	0.03491	0.00462	0.007	0.005	0	BH
C207	C207H1	0.00011	0.03492	0.00462	0.007	0.005	0	BH
C208	C208H1	0.00013	0.03809	0.00513	0.007	0.005	0	BH
C209	C209H1	0.00023	0.03841	0.00513	0.007	0.005	0	BH
C210	C210H1	0.00009	0.03493	0.00462	0.007	0.005	0	BH
C211	C211H1	0.00009	0.03491	0.00462	0.007	0.005	0	BH
C212	C212H1	0.00012	0.03816	0.00513	0.007	0.005	0	BH

Tablo C.2 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların Y eksenı etrafında oluşan hasar seviyeleri (devamı)

Kolon Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(G\ddot{O})}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C213	C213H1	0.00005	0.0875	0.0051	0.0167	0.0125	0	BH
C214	C214H2	0.00010	0.0583	0.0051	0.0109	0.0082	0	BH
C215	C215H1	0.00010	0.0573	0.0051	0.0107	0.0080	0	BH
C216	C216H1	0.00007	0.0933	0.0051	0.0178	0.0134	0	BH
C301	C301H2	0.00002	0.0973	0.0051	0.0186	0.0140	0	BH
C302	C302H2	0.00018	0.0675	0.0051	0.0127	0.0095	0	BH
C303	C303H2	0.00022	0.0679	0.0051	0.0128	0.0096	0	BH
C304	C304H2	0.00015	0.0937	0.0051	0.0179	0.0134	0	BH
C305	C305H2	0.00003	0.0685	0.0051	0.0129	0.0097	0	BH
C306	C306H2	0.00004	0.0439	0.0046	0.0086	0.0065	0	BH
C307	C307H2	0.00004	0.0439	0.0046	0.0086	0.0065	0	BH
C308	C308H2	0.00010	0.0683	0.0051	0.0129	0.0096	0	BH
C309	C309H2	0.00006	0.0687	0.0051	0.0129	0.0097	0	BH
C310	C310H2	0.00003	0.0439	0.0046	0.0086	0.0065	0	BH
C311	C311H2	0.00004	0.0440	0.0046	0.0087	0.0065	0	BH
C312	C312H2	0.00005	0.0681	0.0051	0.0128	0.0096	0	BH
C313	C313H2	0.00002	0.0922	0.0051	0.0176	0.0132	0	BH
C314	C314H2	0.00015	0.0674	0.0051	0.0127	0.0095	0	BH
C315	C315H2	0.00002	0.0673	0.0051	0.0127	0.0095	0	BH
C316	C316H2	0.00002	0.0964	0.0051	0.0185	0.0138	0	BH
C401	C401H2	0.00004	0.0669	0.0051	0.0126	0.0094	0	BH
C402	C402H2	0.00005	0.0606	0.0051	0.0113	0.0085	0	BH
C403	C403H2	0.00013	0.0800	0.0051	0.0152	0.0114	0	BH
C404	C404H2	0.00012	0.0965	0.0051	0.0185	0.0138	0	BH
C405	C405H2	0.00009	0.0804	0.0051	0.0153	0.0115	0	BH
C406	C406H2	0.00006	0.0553	0.0046	0.0111	0.0083	0	BH
C407	C407H2	0.00006	0.0553	0.0046	0.0111	0.0083	0	BH
C408	C408H2	0.00011	0.0799	0.0051	0.0152	0.0114	0	BH
C409	C409H2	0.00012	0.0805	0.0051	0.0153	0.0115	0	BH
C410	C410H2	0.00014	0.0564	0.0046	0.0113	0.0085	0	BH
C411	C411H2	0.00006	0.0553	0.0046	0.0111	0.0083	0	BH
C412	C412H2	0.00006	0.0602	0.0051	0.0113	0.0084	0	BH
C413	C413H2	0.00005	0.0695	0.0051	0.0131	0.0098	0	BH
C414	C414H2	0.00013	0.0794	0.0051	0.0151	0.0113	0	BH
C415	C415H2	0.00014	0.0792	0.0051	0.0150	0.0113	0	BH
C416	C416H2	0.00005	0.0672	0.0051	0.0126	0.0095	0	BH
C501	C501H1	0.00000	0.0990	0.0051	0.0190	0.0142	0	SH
C502	C502H2	0.00000	0.0850	0.0051	0.0162	0.0121	0	BH
C503	C503H2	0.00004	0.0934	0.0051	0.0179	0.0134	0	BH

Tablo C.2 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların Y eksenı etrafında oluşan hasar seviyeleri (devamı)

Kolon Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(G\ddot{O})}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C504	C504H1	0.00000	0.0984	0.0051	0.0188	0.0141	0	SH
C505	C505H2	0.00001	0.0934	0.0051	0.0179	0.0134	0	BH
C506	C506H2	0.00002	0.0774	0.0046	0.0158	0.0118	0	BH
C507	C507H2	0.00002	0.0774	0.0046	0.0158	0.0118	0	BH
C508	C508H2	0.00004	0.0845	0.0051	0.0161	0.0121	0	BH
C509	C509H2	0.00001	0.0935	0.0051	0.0179	0.0134	0	BH
C510	C510H2	0.00006	0.0777	0.0046	0.0158	0.0119	0	BH
C511	C511H2	0.00002	0.0774	0.0046	0.0158	0.0118	0	BH
C512	C512H2	0.00004	0.0846	0.0051	0.0161	0.0121	0	BH
C513	C513H1	0.00000	0.0984	0.0051	0.0189	0.0141	0	SH
C514	C514H2	0.00005	0.0934	0.0051	0.0178	0.0134	0	BH
C515	C515H2	0.00009	0.0933	0.0051	0.0178	0.0134	0	BH
C516	C516H1	0.00000	0.0992	0.0051	0.0190	0.0143	0	SH

Tablo C.3 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların X eksenı etrafında oluşan hasar seviyeleri

Kolon Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(G\ddot{O})}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C101	C101H1	0.00077	0.0883	0.0051	0.0168	0.0126	0	BH
C102	C102H1	0.00059	0.0520	0.0051	0.0096	0.0072	0	BH
C103	C103H1	0.00069	0.0543	0.0051	0.0101	0.0076	0	BH
C104	C104H1	0.00043	0.0842	0.0051	0.0160	0.0120	0	BH
C105	C105H1	0.00048	0.0346	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C106	C106H1	0.00057	0.0339	0.0046	0.0065	0.0049	0	BH
C107	C107H1	0.00062	0.0311	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C108	C108H1	0.00060	0.0346	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C109	C109H1	0.00050	0.0346	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C110	C110H1	0.00065	0.0311	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C111	C111H1	0.00062	0.0310	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C112	C112H1	0.00055	0.0346	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C113	C113H1	0.00076	0.0820	0.0051	0.0156	0.0117	0	BH
C114	C114H1	0.00076	0.0348	0.0051	0.0062	0.0047	0	BH
C115	C115H1	0.00056	0.0348	0.0051	0.0062	0.0047	0	BH
C116	C116H1	0.00071	0.0385	0.0051	0.0069	0.0052	0	BH
C201	C201H1	0.00005	0.0948	0.0051	0.0181	0.0136	0	BH
C202	C202H2	0.00013	0.0581	0.0051	0.0108	0.0081	0	BH
C203	C203H2	0.00018	0.0583	0.0051	0.0109	0.0082	0	BH
C204	C204H1	0.00011	0.0898	0.0051	0.0171	0.0129	0	BH

Tablo C.3 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların X ekseninde oluşan hasar seviyeleri (devamı)

Kolon Adı	Mafsal Adı	Θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(G\ddot{O})}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C205	C205H1	0.00005	0.0576	0.0051	0.0107	0.0081	0	BH
C206	C206H1	0.00009	0.0353	0.0046	0.0068	0.0051	0	BH
C207	C207H1	0.00006	0.0353	0.0046	0.0068	0.0051	0	BH
C208	C208H1	0.00006	0.0584	0.0051	0.0109	0.0082	0	BH
C209	C209H1	0.00008	0.0577	0.0051	0.0108	0.0081	0	BH
C210	C210H1	0.00005	0.0353	0.0046	0.0068	0.0051	0	BH
C211	C211H1	0.00006	0.0353	0.0046	0.0068	0.0051	0	BH
C212	C212H1	0.00006	0.0582	0.0051	0.0109	0.0081	0	BH
C213	C213H1	0.00005	0.0875	0.0051	0.0167	0.0125	0	BH
C214	C214H2	0.00010	0.0583	0.0051	0.0109	0.0082	0	BH
C215	C215H1	0.00010	0.0573	0.0051	0.0107	0.0080	0	BH
C216	C216H1	0.00007	0.0933	0.0051	0.0178	0.0134	0	BH
C301	C301H2	0.00002	0.0973	0.0051	0.0186	0.0140	0	BH
C302	C302H2	0.00018	0.0675	0.0051	0.0127	0.0095	0	BH
C303	C303H2	0.00022	0.0679	0.0051	0.0128	0.0096	0	BH
C304	C304H2	0.00015	0.0937	0.0051	0.0179	0.0134	0	BH
C305	C305H2	0.00003	0.0685	0.0051	0.0129	0.0097	0	BH
C306	C306H2	0.00004	0.0439	0.0046	0.0086	0.0065	0	BH
C307	C307H2	0.00004	0.0439	0.0046	0.0086	0.0065	0	BH
C308	C308H2	0.00010	0.0683	0.0051	0.0129	0.0096	0	BH
C309	C309H2	0.00006	0.0687	0.0051	0.0129	0.0097	0	BH
C310	C310H2	0.00003	0.0439	0.0046	0.0086	0.0065	0	BH
C311	C311H2	0.00004	0.0440	0.0046	0.0087	0.0065	0	BH
C312	C312H2	0.00005	0.0681	0.0051	0.0128	0.0096	0	BH
C313	C313H2	0.00002	0.0922	0.0051	0.0176	0.0132	0	BH
C314	C314H2	0.00015	0.0674	0.0051	0.0127	0.0095	0	BH
C315	C315H2	0.00002	0.0673	0.0051	0.0127	0.0095	0	BH
C316	C316H2	0.00002	0.0964	0.0051	0.0185	0.0138	0	BH
C401	C401H2	0.00004	0.0669	0.0051	0.0126	0.0094	0	BH
C402	C402H2	0.00005	0.0606	0.0051	0.0113	0.0085	0	BH
C403	C403H2	0.00013	0.0800	0.0051	0.0152	0.0114	0	BH
C404	C404H2	0.00012	0.0965	0.0051	0.0185	0.0138	0	BH
C405	C405H2	0.00009	0.0804	0.0051	0.0153	0.0115	0	BH
C406	C406H2	0.00006	0.0553	0.0046	0.0111	0.0083	0	BH
C407	C407H2	0.00006	0.0553	0.0046	0.0111	0.0083	0	BH
C408	C408H2	0.00011	0.0799	0.0051	0.0152	0.0114	0	BH
C409	C409H2	0.00012	0.0805	0.0051	0.0153	0.0115	0	BH
C410	C410H2	0.00014	0.0564	0.0046	0.0113	0.0085	0	BH
C411	C411H2	0.00006	0.0553	0.0046	0.0111	0.0083	0	BH

Tablo C.3 BÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların X ekseninde oluşan hasar seviyeleri (devamı)

Kolon Adı	Mafsallık Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C412	C412H2	0.00006	0.0602	0.0051	0.0113	0.0084	0	BH
C413	C413H2	0.00005	0.0695	0.0051	0.0131	0.0098	0	BH
C414	C414H2	0.00013	0.0794	0.0051	0.0151	0.0113	0	BH
C415	C415H2	0.00014	0.0792	0.0051	0.0150	0.0113	0	BH
C416	C416H2	0.00005	0.0672	0.0051	0.0126	0.0095	0	BH
C501	C501H1	0.00000	0.0990	0.0051	0.0190	0.0142	0	SH
C502	C502H2	0.00000	0.0850	0.0051	0.0162	0.0121	0	BH
C503	C503H2	0.00004	0.0934	0.0051	0.0179	0.0134	0	BH
C504	C504H1	0.00000	0.0984	0.0051	0.0188	0.0141	0	SH
C505	C505H2	0.00001	0.0934	0.0051	0.0179	0.0134	0	BH
C506	C506H2	0.00002	0.0774	0.0046	0.0158	0.0118	0	BH
C507	C507H2	0.00002	0.0774	0.0046	0.0158	0.0118	0	BH
C508	C508H2	0.00004	0.0845	0.0051	0.0161	0.0121	0	BH
C509	C509H2	0.00001	0.0935	0.0051	0.0179	0.0134	0	BH
C510	C510H2	0.00006	0.0777	0.0046	0.0158	0.0119	0	BH
C511	C511H2	0.00002	0.0774	0.0046	0.0158	0.0118	0	BH
C512	C512H2	0.00004	0.0846	0.0051	0.0161	0.0121	0	BH
C513	C513H1	0.00000	0.0984	0.0051	0.0189	0.0141	0	SH
C514	C514H2	0.00005	0.0934	0.0051	0.0178	0.0134	0	BH
C515	C515H2	0.00009	0.0933	0.0051	0.0178	0.0134	0	BH
C516	C516H1	0.00000	0.0992	0.0051	0.0190	0.0143	0	SH

Tablo C.4 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kirişlerinin hasar seviyeleri

Kiriş Adı	Mafsallık Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
B101	B101H1	0.00600	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B102	B102H1	0.00573	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B103	B103H2	0.00572	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B104	B104H2	0.00667	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B105	B105H1	0.00739	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B106	B106H1	0.00736	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B107	B107H1	0.00654	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B108	B108H1	0.00676	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B109	B109H1	0.00666	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B110	B110H1	0.00660	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B111	B111H2	0.00638	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B112	B112H1	0.00730	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B113	B113H1	0.00727	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH

Tablo C.4 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kirişlerinin hasar seviyeleri (devamı)

Kiriş Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
B114	B114H1	0.00628	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B115	B115H1	0.00676	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B116	B116H1	0.00667	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B117	B117H1	0.00661	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B118	B118H2	0.00633	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B119	B119H1	0.00724	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B120	B120H1	0.00720	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B121	B121H1	0.00623	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B122	B122H2	0.00596	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B123	B123H2	0.00574	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B124	B124H2	0.00570	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B201	B201H1	0.00706	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B202	B202H1	0.00688	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B203	B203H1	0.00678	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B204	B204H2	0.00771	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B205	B205H1	0.00845	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B206	B206H1	0.00843	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B207	B207H1	0.00766	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B208	B208H1	0.00782	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B209	B209H1	0.00780	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B210	B210H1	0.00767	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B211	B211H2	0.00751	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B212	B212H1	0.00842	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B213	B213H1	0.00840	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B214	B214H1	0.00746	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B215	B215H1	0.00783	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B216	B216H1	0.00781	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B217	B217H1	0.00768	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B218	B218H2	0.00741	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B219	B219H1	0.00829	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B220	B220H1	0.00827	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B221	B221H1	0.00736	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B222	B222H2	0.00710	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B223	B223H2	0.00691	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B224	B224H2	0.00681	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B301	B301H1	0.00586	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B302	B302H1	0.00564	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B303	B303H2	0.00559	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B304	B304H2	0.00642	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B305	B305H1	0.00716	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH

Tablo C.4 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kirişlerinin hasar seviyeleri (devamı)

Kiriş Adı	Mafsals Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
B306	B306H1	0.00715	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B307	B307H1	0.00638	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B308	B308H1	0.00662	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B309	B309H1	0.00656	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B310	B310H1	0.00641	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B311	B311H2	0.00617	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B312	B312H1	0.00709	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B313	B313H1	0.00708	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B314	B314H1	0.00614	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B315	B315H1	0.00663	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B316	B316H1	0.00657	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B317	B317H1	0.00642	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B318	B318H2	0.00604	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B319	B319H1	0.00694	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B320	B320H1	0.00692	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B321	B321H1	0.00601	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B322	B322H2	0.00588	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B323	B323H2	0.00566	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B324	B324H1	0.00558	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B401	B401H1	0.00360	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B402	B402H1	0.00345	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B403	B403H2	0.00349	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B404	B404H2	0.00399	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B405	B405H1	0.00473	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B406	B406H1	0.00472	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B407	B407H1	0.00397	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B408	B408H1	0.00434	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B409	B409H1	0.00425	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B410	B410H2	0.00423	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B411	B411H2	0.00384	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B412	B412H1	0.00465	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B413	B413H1	0.00464	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B414	B414H1	0.00382	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B415	B415H1	0.00434	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B416	B416H1	0.00425	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B417	B417H2	0.00423	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B418	B418H2	0.00368	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B419	B419H1	0.00448	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B420	B420H1	0.00447	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B421	B421H1	0.00366	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH

Tablo C.4 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kirişlerinin hasar seviyeleri (devamı)

Kiriş Adı	Mafsals Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
B422	B422H2	0.00361	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B423	B423H2	0.00345	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B424	B424H1	0.00349	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B501	B501H1	0.00148	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B502	B502H2	0.00120	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B503	B503H2	0.00148	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B504	B504H2	0.00180	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B505	B505H1	0.00251	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B506	B506H1	0.00251	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B507	B507H1	0.00179	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B508	B508H1	0.00220	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B509	B509H1	0.00216	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B510	B510H2	0.00213	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B511	B511H2	0.00151	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B512	B512H1	0.00249	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B513	B513H1	0.00249	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B514	B514H1	0.00150	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B515	B515H1	0.00220	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B516	B516H1	0.00216	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B517	B517H2	0.00213	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B518	B518H2	0.00147	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B519	B519H1	0.00235	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B520	B520H1	0.00234	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B521	B521H1	0.00146	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B522	B522H2	0.00148	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B523	B523H1	0.00119	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH
B524	B524H1	0.00147	0.286	0.00342	0.0548	0.0411	0	BH

Tablo C.5 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların Y eksenini etrafında oluşan hasar seviyeleri

Kolon Adı	Mafsals Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C101	C101H1	0.0014	0.0372	0.0051	0.0067	0.0050	0	BH
C102	C102H1	0.0013	0.0346	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C103	C103H1	0.0013	0.0346	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C104	C104H1	0.0015	0.0393	0.0051	0.0071	0.0053	0	BH
C105	C105H1	0.0015	0.0347	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C106	C106H1	0.0016	0.0310	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C107	C107H1	0.0016	0.0310	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH

Tablo C.5 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların Y eksenı etrafında oluşan hasar seviyeleri (devamı)

Kolon Adı	Mafsal Adı	Θ_P rad	ϕ_U 1/m	ϕ_Y 1/m	$\theta_P^{(G\ddot{O})}$ rad	$\theta_P^{(KH)}$ rad	$\theta_P^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C108	C108H1	0.0015	0.0345	0.0051	0.0061	0.0046	0	BH
C109	C109H1	0.0015	0.0347	0.0051	0.0062	0.0046	0	BH
C110	C110H1	0.0016	0.0310	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C111	C111H1	0.0016	0.0310	0.0046	0.0059	0.0044	0	BH
C112	C112H1	0.0015	0.0345	0.0051	0.0061	0.0046	0	BH
C113	C113H1	0.0018	0.0388	0.0051	0.0070	0.0052	0	BH
C114	C114H1	0.0015	0.0348	0.0051	0.0062	0.0047	0	BH
C115	C115H1	0.0015	0.0348	0.0051	0.0062	0.0047	0	BH
C116	C116H1	0.0018	0.0379	0.0051	0.0068	0.0051	0	BH
C201	C201H1	0.0000	0.0942	0.0051	0.0180	0.0135	0	SH
C202	C202H1	0.0000	0.0564	0.0051	0.0105	0.0079	0	SH
C203	C203H1	0.0000	0.0564	0.0051	0.0105	0.0079	0	SH
C204	C204H1	0.0000	0.0920	0.0051	0.0176	0.0132	0	SH
C205	C205H1	0.0000	0.0571	0.0051	0.0106	0.0080	0	SH
C206	C206H1	0.0000	0.0353	0.0046	0.0068	0.0051	0	SH
C207	C207H1	0.0000	0.0353	0.0046	0.0068	0.0051	0	SH
C208	C208H1	0.0000	0.0567	0.0051	0.0106	0.0079	0	SH
C209	C209H1	0.0000	0.0572	0.0051	0.0106	0.0080	0	SH
C210	C210H1	0.0000	0.0353	0.0046	0.0068	0.0051	0	SH
C211	C211H1	0.0000	0.0353	0.0046	0.0068	0.0051	0	SH
C212	C212H1	0.0000	0.0567	0.0051	0.0106	0.0079	0	SH
C213	C213H1	0.0000	0.0901	0.0051	0.0172	0.0129	0	SH
C214	C214H1	0.0000	0.0574	0.0051	0.0107	0.0080	0	SH
C215	C215H1	0.0000	0.0574	0.0051	0.0107	0.0080	0	SH
C216	C216H1	0.0000	0.0958	0.0051	0.0183	0.0137	0	SH
C301	C301H1	0.0000	0.0953	0.0051	0.0182	0.0137	0	SH
C302	C302H2	0.0000	0.0474	0.0051	0.0087	0.0065	0	BH
C303	C303H2	0.0000	0.0474	0.0051	0.0087	0.0065	0	BH
C304	C304H1	0.0000	0.0941	0.0051	0.0180	0.0135	0	SH
C305	C305H2	0.0000	0.0664	0.0051	0.0125	0.0094	0	BH
C306	C306H2	0.0000	0.0439	0.0046	0.0086	0.0065	0	BH
C307	C307H2	0.0000	0.0438	0.0046	0.0086	0.0065	0	BH
C308	C308H2	0.0000	0.0665	0.0051	0.0125	0.0094	0	BH
C309	C309H2	0.0000	0.0665	0.0051	0.0125	0.0094	0	BH
C310	C310H2	0.0000	0.0438	0.0046	0.0086	0.0065	0	BH
C311	C311H2	0.0000	0.0439	0.0046	0.0086	0.0065	0	BH
C312	C312H2	0.0000	0.0664	0.0051	0.0125	0.0094	0	BH
C313	C313H1	0.0000	0.0921	0.0051	0.0176	0.0132	0	SH
C314	C314H1	0.0000	0.0653	0.0051	0.0123	0.0092	0	SH

Tablo C.5 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların Y eksenı etrafında oluşan hasar seviyeleri (devamı)

Kolon Adı	Mafsal Adı	Θ_P rad	ϕ_U 1/m	ϕ_Y 1/m	$\theta_P^{(G\ddot{O})}$ rad	$\theta_P^{(KH)}$ rad	$\theta_P^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C315	C315H1	0.0000	0.0653	0.0051	0.0123	0.0092	0	SH
C316	C316H1	0.0000	0.0964	0.0051	0.0185	0.0138	0	SH
C401	C401H1	0.0000	0.0967	0.0051	0.0185	0.0139	0	SH
C402	C402H2	0.0000	0.0607	0.0051	0.0113	0.0085	0	BH
C403	C403H2	0.0000	0.0606	0.0051	0.0113	0.0085	0	BH
C404	C404H1	0.0000	0.0960	0.0051	0.0184	0.0138	0	SH
C405	C405H2	0.0000	0.0781	0.0051	0.0148	0.0111	0	BH
C406	C406H2	0.0000	0.0557	0.0046	0.0111	0.0084	0	BH
C407	C407H2	0.0000	0.0557	0.0046	0.0111	0.0084	0	BH
C408	C408H2	0.0000	0.0785	0.0051	0.0149	0.0112	0	BH
C409	C409H2	0.0000	0.0784	0.0051	0.0149	0.0111	0	BH
C410	C410H2	0.0000	0.0557	0.0046	0.0111	0.0084	0	BH
C411	C411H2	0.0000	0.0557	0.0046	0.0111	0.0084	0	BH
C412	C412H2	0.0000	0.0784	0.0051	0.0149	0.0112	0	BH
C413	C413H2	0.0000	0.0965	0.0051	0.0185	0.0138	0	BH
C414	C414H2	0.0000	0.0787	0.0051	0.0149	0.0112	0	BH
C415	C415H2	0.0000	0.0786	0.0051	0.0149	0.0112	0	BH
C416	C416H2	0.0000	0.0986	0.0051	0.0189	0.0142	0	BH
C501	C501H1	0.0000	0.0991	0.0051	0.0190	0.0142	0	SH
C502	C502H2	0.0000	0.0929	0.0051	0.0178	0.0133	0	BH
C503	C503H2	0.0000	0.0929	0.0051	0.0178	0.0133	0	BH
C504	C504H1	0.0000	0.0988	0.0051	0.0189	0.0142	0	SH
C505	C505H2	0.0000	0.0931	0.0051	0.0178	0.0133	0	BH
C506	C506H1	0.0000	0.0757	0.0046	0.0154	0.0115	0	SH
C507	C507H1	0.0000	0.0757	0.0046	0.0154	0.0115	0	SH
C508	C508H2	0.0000	0.0932	0.0051	0.0178	0.0134	0	BH
C509	C509H2	0.0000	0.0932	0.0051	0.0178	0.0134	0	BH
C510	C510H1	0.0000	0.0757	0.0046	0.0154	0.0115	0	SH
C511	C511H1	0.0000	0.0757	0.0046	0.0154	0.0115	0	SH
C512	C512H2	0.0000	0.0932	0.0051	0.0178	0.0134	0	BH
C513	C513H1	0.0000	0.0987	0.0051	0.0189	0.0142	0	SH
C514	C514H2	0.0000	0.0855	0.0051	0.0163	0.0122	0	BH
C515	C515H2	0.0000	0.0855	0.0051	0.0163	0.0122	0	BH
C516	C516H1	0.0000	0.0993	0.0051	0.0190	0.0143	0	SH

Tablo C.6 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların X ekseninde oluşan hasar seviyeleri

Kolon Adı	Mafsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C101	C101H1	0.0012	0.0939	0.00513	0.01796	0.0134	0	BH
C102	C102H1	0.0009	0.0506	0.00513	0.00935	0.0070	0	BH
C103	C103H1	0.0010	0.0507	0.00513	0.00937	0.0070	0	BH
C104	C104H1	0.0011	0.0393	0.00513	0.00710	0.0053	0	BH
C105	C105H1	0.0010	0.0513	0.00513	0.00949	0.0071	0	BH
C106	C106H1	0.0010	0.0310	0.00462	0.00590	0.0044	0	BH
C107	C107H1	0.0010	0.0310	0.00462	0.00590	0.0044	0	BH
C108	C108H1	0.0010	0.0345	0.00513	0.00615	0.0046	0	BH
C109	C109H1	0.0010	0.0514	0.00513	0.00951	0.0071	0	BH
C110	C110H1	0.0010	0.0310	0.00462	0.00590	0.0044	0	BH
C111	C111H1	0.0010	0.0310	0.00462	0.00590	0.0044	0	BH
C112	C112H1	0.0010	0.0345	0.00513	0.00615	0.0046	0	BH
C113	C113H1	0.0012	0.0387	0.00513	0.00699	0.0052	0	BH
C114	C114H1	0.0011	0.0348	0.00513	0.00621	0.0046	0	BH
C115	C115H1	0.0011	0.0347	0.00513	0.00620	0.0046	0	BH
C116	C116H1	0.0013	0.0378	0.00513	0.00681	0.0051	0	BH
C201	C201H1	0.0000	0.0942	0.00513	0.01802	0.0135	0	SH
C202	C202H1	0.0000	0.0564	0.00513	0.01051	0.0078	0	SH
C203	C203H1	0.0000	0.0564	0.00513	0.01051	0.0078	0	SH
C204	C204H1	0.0000	0.0919	0.00513	0.01757	0.0131	0	SH
C205	C205H1	0.0000	0.0570	0.00513	0.01063	0.0079	0	SH
C206	C206H1	0.0000	0.0353	0.00462	0.00682	0.0051	0	SH
C207	C207H1	0.0000	0.0353	0.00462	0.00681	0.0051	0	SH
C208	C208H1	0.0000	0.0566	0.00513	0.01056	0.0079	0	SH
C209	C209H1	0.0000	0.0571	0.00513	0.01065	0.0079	0	SH
C210	C210H1	0.0000	0.0353	0.00462	0.00681	0.0051	0	SH
C211	C211H1	0.0000	0.0353	0.00462	0.00682	0.0051	0	SH
C212	C212H1	0.0000	0.0566	0.00513	0.01055	0.0079	0	SH
C213	C213H1	0.0000	0.0900	0.00513	0.01719	0.0128	0	SH
C214	C214H1	0.0000	0.0573	0.00513	0.01069	0.0080	0	SH
C215	C215H1	0.0000	0.0573	0.00513	0.01069	0.0080	0	SH
C216	C216H1	0.0000	0.0958	0.00513	0.01833	0.0137	0	SH
C301	C301H1	0.0000	0.0953	0.00513	0.01823	0.0136	0	SH
C302	C302H2	0.0000	0.0474	0.00513	0.00871	0.0065	0	BH
C303	C303H2	0.0000	0.0473	0.00513	0.00871	0.0065	0	BH
C304	C304H1	0.0000	0.0940	0.00513	0.01799	0.0134	0	SH
C305	C305H2	0.0000	0.0476	0.00513	0.00876	0.0065	0	BH
C306	C306H2	0.0000	0.0434	0.00462	0.00855	0.0064	0	BH
C307	C307H2	0.0000	0.0435	0.00462	0.00855	0.0064	0	BH

Tablo C.6 SUSŞÖ yöntemi sonuçlarına göre kolonların X ekseninde oluşan hasar seviyeleri (devamı)

Kolon Adı	Mafsalsal Adı	θ_p rad	ϕ_u 1/m	ϕ_v 1/m	$\theta_p^{(GÖ)}$ rad	$\theta_p^{(KH)}$ rad	$\theta_p^{(SH)}$ rad	Hasar Seviyesi
C308	C308H2	0.0000	0.0664	0.00513	0.01250	0.0093	0	BH
C309	C309H2	0.0000	0.0476	0.00513	0.00875	0.0065	0	BH
C310	C310H2	0.0000	0.0435	0.00462	0.00855	0.0064	0	BH
C311	C311H2	0.0000	0.0434	0.00462	0.00855	0.0064	0	BH
C312	C312H2	0.0000	0.0664	0.00513	0.01248	0.0093	0	BH
C313	C313H1	0.0000	0.0920	0.00513	0.01758	0.0131	0	SH
C314	C314H1	0.0000	0.0653	0.00513	0.01227	0.0092	0	SH
C315	C315H1	0.0000	0.0652	0.00513	0.01226	0.0092	0	SH
C316	C316H1	0.0000	0.0964	0.00513	0.01846	0.0138	0	SH
C401	C401H1	0.0000	0.0967	0.00513	0.01852	0.0138	0	SH
C402	C402H2	0.0000	0.0606	0.00513	0.01135	0.0085	0	BH
C403	C403H2	0.0000	0.0606	0.00513	0.01134	0.0085	0	BH
C404	C404H1	0.0000	0.0960	0.00513	0.01837	0.0137	0	SH
C405	C405H2	0.0000	0.0607	0.00513	0.01137	0.0085	0	BH
C406	C406H2	0.0000	0.0557	0.00462	0.01115	0.0083	0	BH
C407	C407H2	0.0000	0.0556	0.00462	0.01114	0.0083	0	BH
C408	C408H2	0.0000	0.0784	0.00513	0.01488	0.0111	0	BH
C409	C409H2	0.0000	0.0607	0.00513	0.01136	0.0085	0	BH
C410	C410H2	0.0000	0.0556	0.00462	0.01114	0.0083	0	BH
C411	C411H2	0.0000	0.0557	0.00462	0.01115	0.0083	0	BH
C412	C412H2	0.0000	0.0784	0.00513	0.01488	0.0111	0	BH
C413	C413H2	0.0000	0.0691	0.00513	0.01303	0.0097	0	BH
C414	C414H2	0.0000	0.0787	0.00513	0.01494	0.0112	0	BH
C415	C415H2	0.0000	0.0786	0.00513	0.01491	0.0111	0	BH
C416	C416H2	0.0000	0.0986	0.00513	0.01889	0.0141	0	BH
C501	C501H1	0.0000	0.0991	0.00513	0.01899	0.0142	0	SH
C502	C502H2	0.0000	0.0851	0.00513	0.01620	0.0121	0	BH
C503	C503H2	0.0000	0.0849	0.00513	0.01616	0.0121	0	BH
C504	C504H1	0.0000	0.0987	0.00513	0.01892	0.0141	0	SH
C505	C505H2	0.0000	0.0930	0.00513	0.01779	0.0133	0	BH
C506	C506H1	0.0000	0.0756	0.00462	0.01540	0.0115	0	SH
C507	C507H1	0.0000	0.0756	0.00462	0.01539	0.0115	0	SH
C508	C508H2	0.0000	0.0932	0.00513	0.01782	0.0133	0	BH
C509	C509H2	0.0000	0.0931	0.00513	0.01781	0.0133	0	BH
C510	C510H1	0.0000	0.0756	0.00462	0.01539	0.0115	0	SH
C511	C511H1	0.0000	0.0756	0.00462	0.01540	0.0115	0	SH
C512	C512H2	0.0000	0.0931	0.00513	0.01781	0.0133	0	BH
C513	C513H1	0.0000	0.0986	0.00513	0.01890	0.0141	0	SH
C514	C514H2	0.0000	0.0854	0.00513	0.01628	0.0122	0	BH
C515	C515H2	0.0000	0.0854	0.00513	0.01627	0.0122	0	BH
C516	C516H1	0.0000	0.0992	0.00513	0.01902	0.0142	0	SH

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Y. Yıldız, M. Börekçi, “Yer Hareketi Kaydı Ölçeklendirme Yöntemlerinin Orta Yükseklikteki Betonarme Binaların Deprem Performansına Etkisi”, 9. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, İstanbul, 2022.

