

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ ve AFET  
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜRTÜNMEYE DAYALI SÖNÜMLEYİCİLER İLE BAĞLI BETONARME  
PERDE DUVARLI YÜKSEK BİNALARIN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ramazan AYAZOĞLU**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Deprem Mühendisliği Programı**

**Ocak 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ ve AFET**  
**YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜRTÜNMEYE DAYALI SÖNÜMLEYİCİLER İLE BAĞLI BETONARME**  
**PERDE DUVARLI YÜKSEK BİNALARIN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ramazan AYAZOĞLU**

**(501111227)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Deprem Mühendisliği Programı**

**Deprem Mühendisliği Programı**  
**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Barış ERKUŞ**

**Ocak 2015**



İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 501111227 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ramazan AYAZOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**SÜRTÜNMEYE DAYALI SÖNÜMLEYİCİLER İLE BAĞLI BETONARME PERDE DUVARLI YÜKSEK BİNALARIN TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Yrd. Doç. Dr. Barış ERKUŞ**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Doç. Dr. Necmettin GÜNDÜZ**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Cenk ALHAN**      .....

İstanbul Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **15 Aralık 2014**

**Savunma Tarihi :**      **23 Ocak 2015**



*Sevgili Anneme,*





## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca, her zaman değerli vaktini ayırıp engin bilgi ve deneyimlerini bizlerle paylaşan, değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Barış ERKUŞ' a teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, hayatım boyunca her konuda sonsuz destek olan ve bu hayattaki en şanslı insanlardan biri olduğumu hissettiren canım annem, babam, ablam, kardeşim ve sevgili arkadaşım Abdulkerim'e,

Bu çalışma boyunca, bana her zaman destek ve yardımcı olan sevgili arkadaşım Yük. İnş. Müh. Turgay ÇAKMAK ve Yük. İnş. Müh. İhsan KESKİN' e ve değerli çalışma grubu arkadaşlarım Ali ÖZCAN ve Muhammet Emre ERDEMLİ'e ve iş arkadaşlarıma teşekkürlerimi büyük bir borç bilirim.

Aralık 2014

Ramazan Ayazoğlu

(İnşaat Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Konu.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	3
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Betonarme Perde Duvarlar .....	5
2.1.1 Bağ Kirişli Perde Duvar .....	6
2.1.1.1 Perdeler arası bağıl davranış derecesi .....	7
2.1.1.2 Betonarme bağ kirişleri .....	9
2.1.2 Hibrid Bağ Kirişli Perde Duvarlar .....	11
2.1.2.3 Çelik bağ kirişleri .....	11
2.1.2.4 Kompozit bağ kirişi.....	13
2.1.2.5 Çelik ve kompozit bağ kirişinin gömülme mesafesinin hesabı.....	13
2.2 Eşdeğer Döşeme Modelleri .....	15
2.2.1 Efektif kiriş genişliği yaklaşımı .....	16
2.2.1.6 Elastik Efektif Genişlik .....	16
2.2.1.7 Çatlamanın Rijitlik üzerindeki Etkisi.....	17
2.3 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Teoriye Göre Modellemesi .....	18
2.3.1 Plastik mafsal modeli .....	18
2.3.2 Yayılı plastik mafsal modeli .....	19
2.3.3 Fiber .....	20
2.4 Enerji Sönümleme .....	21
2.4.1 Sürtünmeye dayalı sönümleyiciler .....	23
<b>3. TEST BİNASI.....</b>	<b>25</b>
3.1 Tasarım.....	25
3.2 Taşıyıcı Sistem Tanımı .....	26
3.3 Depremsellik .....	28
3.3.1 Tasarım esaslı deprem yer hareketi.....	28
3.3.1.1 Genel yaklaşım.....	28
3.3.2 Tasarım esaslı ivme spektrumu .....	29
3.4 Zaman Tanım Alanında Analiz .....	31
3.4.1 Zaman tanım alanı analizinde kullanılacak deprem kayıtlarının belirlenmesi .....	31
3.4.2 Deprem Yönetmeliği 2007'ye Göre Kayıtların Seçilme Koşulları.....	32
3.4.3 Analizde kullanılan deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi .	33
3.5 Eşdeğer Çerçeve Modeli .....	35
3.6 Orijinal Model ve Kabuk Model Analiz Sonuçları ve Karşılaştırması .....	37
<b>4. TEST BİNASININ DOĞRUSAL OLMAYAN TEORİYE GÖRE MODELLENMESİ .....</b>	<b>43</b>
4.1 Çekirdek Perdesinin Modellenmesi .....	43

4.2 Çelik Bağ Kirişinin Modellenmesi.....	47
4.3 Kiriş ve Kolonların Modellenmesi.....	49
4.4 Eşdeğer Kirişlerin Modellenmesi.....	50
4.5 Burulma ve Gömülü Kirişlerin Modellenmesi.....	52
4.6 Sönümleyici Cihazların Modellenmesi.....	52
4.7 Sönüm.....	53
<b>5. SAYISAL İNCELEME VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>55</b>
5.1 Test Binası Performans Değerlendirmesi.....	55
5.2 Kapasite Çalışması .....	58
5.3 Yerleşim Çalışması .....	65
5.4 Yapı Hasarına Yönelik Yerleşim Çalışması.....	69
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>73</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>77</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>83</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>107</b>

## KISALTMALAR

<b>ACI</b>	: American Concrete Institute
<b>A<sub>o</sub></b>	: Etkin yer ivme katsayısı
<b>A<sub>s</sub></b>	: Donatı kesit alanı
<b>ASCE</b>	: American Society of Civil Engineers
<b>a</b>	: İvme
<b>b</b>	: Elastik efektif giriş genişliği;
<b>b<sub>f</sub></b>	: Giriş flanş genişliği (Shahrooz et al. 1993)
<b>CG</b>	: Can güvenliği performans düzeyi
<b>c<sub>1</sub></b>	: Kolonların hesap doğrultusundaki boyutu
<b>DBYBHY</b>	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
<b>DC</b>	: Bağlı davranış derecesi
<b>D<sub>w</sub></b>	: Bağımsız perde duvar uzunluğu
<b>d<sub>b</sub></b>	: Betonarme donatı çapı
<b>E<sub>c</sub></b>	: Betonun elastisite modülü
<b>E<sub>DS</sub></b>	: Yapının doğal sönümü
<b>E<sub>ES</sub></b>	: Ekstra sönüm
<b>E<sub>H</sub></b>	: Histeretik sönüm
<b>E<sub>I<sub>cr</sub></sub></b>	: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
<b>E<sub>K</sub></b>	: Yapının kinetik enerjisi
<b>E<sub>L</sub></b>	: Yapıya giren enerji
<b>E<sub>s</sub></b>	: Çeliğin elastisite modülü
<b>E<sub>S</sub></b>	: Yenilenebilir şekil değiştirme enerjisi
<b>F<sub>a</sub></b>	: Kısa periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı
<b>FEMA</b>	: Federal Emergency Management Agency
<b>F<sub>v</sub></b>	: 1 saniye periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı
<b>f<sub>y</sub></b>	: Çelik akma dayanımı
<b>f<sub>yd</sub></b>	: Donatının tasarım akma gerilmesi
<b>f<sub>yk</sub></b>	: Donatının karakteristik akma dayanımı
<b>f<sub>c</sub></b>	: Tek eksenli basınç dayanımı
<b>f<sub>cb</sub></b>	: İki eksenli basınç dayanımı
<b>f<sub>cc</sub></b>	: Sargılı betonun basınç dayanımı
<b>f<sub>ck</sub></b>	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
<b>f<sub>cm</sub></b>	: Mevcut beton dayanımı
<b>f<sub>ctd</sub></b>	: Beton çekme dayanımı
<b>G</b>	: Kayma modülü
<b>GV</b>	: Güvenlik sınırı
<b>g</b>	: Yerçekimi ivmesi
<b>g<sub>temiz</sub></b>	: Perdeler arasındaki net açıklık
<b>H<sub>b</sub></b>	: Bağ girişinin yüksekliği
<b>h</b>	: Yükseklik
<b>L</b>	: Konsol uzunluğu
<b>L</b>	: Perde duvarlar arasındaki moment kolu
<b>L<sub>b</sub></b>	: Bağ girişin açıklığı
<b>L<sub>p</sub></b>	: Plastik mafsalsal boyu
<b>l</b>	: Uzunluk
<b>l<sub>1</sub></b>	: Hesap yapılan doğrultudaki açıklığın merkezden merkeze uzaklığı
<b>le</b>	: Gömülme uzunluğu

<b><math>I_p</math></b>	: Plastik mafsal boyu
<b><math>I_w</math></b>	: Perdenin plandaki yüksekliği
<b><math>M</math></b>	: Moment
<b><math>MN</math></b>	: Minimum hasar performans düzeyi
<b><math>M_p</math></b>	: Plastik moment
<b><math>M_u</math></b>	: Taşıma gücü kiriş moment kapasitesi
<b><math>M_w</math></b>	: Her bir perde duvardaki devrilme momenti
<b><math>M_y</math></b>	: Akma momenti
<b><math>R</math></b>	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
<b><math>R</math></b>	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
<b>SEDD</b>	: Ek enerji sönümlenme elemanları (Supplemental energy dissipation devices)
<b>S(T)</b>	: Spektrum katsayısı
<b><math>S_{M1}</math></b>	: Göz önüne alınan zemin sınıfı için 1 saniye periyotlu spektral ivme
<b><math>S_{MS}</math></b>	: Göz önüne alınan zemin sınıfı için kısa periyotlu spektral ivme
<b><math>T_0</math></b>	: Spektrum köşe periyodu
<b><math>T_1</math></b>	: Binanın 1. doğal titreşim periyodu
<b><math>T_A, T_B</math></b>	: Spektrum karakteristik periyotları
<b><math>T_{A,B}</math></b>	: Spektrum karakteristik periyotları
<b>TL</b>	: Bağ kirişlerindeki kesme kuvvetinden dolayı duvarlarda oluşan toplam eksenel yük
<b><math>T_s</math></b>	: Spektrum köşe periyodu
<b>TS500</b>	: Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları
<b><math>t_{wall}</math></b>	: Perde duvar genişliği
<b><math>V</math></b>	: Kesme kuvveti
<b><math>V_r</math></b>	: Betonarme elemanların kesme kapasitesi
<b><math>V_u</math></b>	: Taşıma gücü kiriş kesme kuvveti
<b><math>W</math></b>	: Düşey yük hesabından kullanılan bina ağırlığı
<b>ZTA</b>	: Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi
<b><math>\alpha_2</math></b>	: Elastik efektif kiriş genişliği
<b><math>\beta_1</math></b>	: Ortalama beton basınç gerilmesinin maksimum gerilmeye oranı
<b><math>\Delta</math></b>	: Deplasman
<b><math>\epsilon_{co}</math></b>	: Betonun en büyük gerilmeye karşı gelen şekil değiştirme
<b><math>\epsilon_{cu}</math></b>	: Beton ezilme birim kısalması
<b><math>\epsilon_s</math></b>	: Donatı birim şekil değiştirme
<b><math>\epsilon_{su}</math></b>	: Donatının kopma birim şekil değiştirme
<b><math>\epsilon_{sy}</math></b>	: Donatının akma birim şekil değiştirme
<b><math>\theta_p</math></b>	: Toplam dönme istemi

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 : $a, b, c,$ ve $k$ katsayıları( <i>Chaallal vd., 1996</i> ).....	9
Çizelge 2.2 : Enerji sönüm kaynakları (Erkus, 2012'den referans alınarak hazırlanmıştır)..	22
Çizelge 3.1 : Probabilistik en büyük yer ivmesi ve spektral ivme değerleri .....	30
Çizelge 3.2 : İYBDY (2008) ve DBYBHY (2007) tasarım spektrum değerleri. ....	30
Çizelge 3.3 : Doğrusal olmayan analizlerde kullanılan deprem kayıtları.....	33
Çizelge 3.4 : Hwang ve Moehle (2000) tarafından önerilen yaklaşım yapılarak elde edilen eşdeğer döşeme genişlikleri.....	36
Çizelge 3.5 : Kabuk model ve Eşdeğer model mesnet reaksiyonları karşılaştırması.	41
Çizelge 5.1 : 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem altında performans kabul kriterleri. ....	55
Çizelge A.1: Yapısal eleman beton sınıfları.....	85
Çizelge A.2: Yapısal eleman çelik sınıfları.....	85
Çizelge A.3: Düşey yük kabulleri.....	88
Çizelge A.4: Genel yapı özellikleri. ....	88
Çizelge A.5: Rijitlik varsayımları.....	89
Çizelge A.6: Tasarım ve analiz programları.....	89
Çizelge A.7: Taşıyıcı sistem davranış katsayıları varsayımları.....	90
Çizelge A.8: Bina periyotları.....	90
Çizelge A.9: Tasarım spektrumu analiz parametreleri.....	90





## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: VCD Çalışması (Montgomery, 2011).....	2
Şekil 2.1	: Perdenin gösterdiği davranışına göre oluşan gerilme dağılımı. ..	6
Şekil 2.2	: Perde davranışı: (a) Yanal yüke maruz perde; (b) Yanal yüke maruz bağ kirişli perde; (c) Bağ kirişi ve yanal yük etkisinde oluşan iç kuvvetler (Paulay ve shankumar vd., 1976 referansından alınarak çizilmiştir). .....	8
Şekil 2.3	: Bağ kirişlerde donatı düzenleri (Barney ve diğerleri, 1978). .....	9
Şekil 2.4	: Mt. McKinley Apartmanı ( Paulay 1969b) .....	10
Şekil 2.5	: Bağ kirişi donatı detayı: (a) ilk ACI 318 uygulaması; ve (b) ACI 318 yönetmeliğine yeni eklenen uygulama.....	11
Şekil 2.6	: İnşaat aşamasındaki çelik bağ kiriş ile bağlı perde duvar sistemi (Nurol Life 2015). .....	11
Şekil 2.7	: Çelik bağ kirişi (El-Tawil vd., 2009 referansından alınarak çizilmiştir). .....	12
Şekil 2.8	: Kompozit bağ kirişi (El-Tawil vd., 2009 referansından alınarak çizilmiştir). .....	13
Şekil 2.9	: Gömülme uzunluk hesabı için Mattock ve Gaafar (1982) yöntemi (Harries vd., 2000 referansından alınarak çizilmiştir). .....	14
Şekil 2.10	: Eşdeğer kiriş konsepti (ATC72, 2010 ve ASCE/SEI 41 Supplement 1 referanslarından alınarak hazırlanmıştır). .....	16
Şekil 2.11	: Fiber modeli (ATC72, 2010'dan alınmıştır). .....	20
Şekil 2.12	: Histeretik enerji gösterimi (Erkus, 2012'den referans alınarak hazırlanmıştır). .....	22
Şekil 2.13	: Sürtünmeye dayalı sönümleyici (Damptech). .....	24
Şekil 2.14	: Sürtünmeye dayalı sönümleyicinin bağ kiriş olarak kullanımı. .....	24
Şekil 3.1	: Test binası: (a) 3D görünüş; (b) Tipik kalıp planı; (c) Perde görünüş. ....	25
Şekil 3.2	: Kompozit kolon (Section Designer).....	26
Şekil 3.3	: Çelik bağ kirişi. ....	27
Şekil 3.4	: Çelik bağ kirişi ankastrelik noktası. ....	28
Şekil 3.5	: İYBDY (2008) Tasarım ivme spektrumu. ....	30
Şekil 3.6	: D1, D2, D3-Depremleri için hesaplanan eş-risk tasarım spektrumu.....	31
Şekil 3.7	: Belirli periyot aralığına bağlı deprem kaydı ölçeklendirme yöntemi.....	34
Şekil 3.8	: Belirli periyot aralığına bağlı deprem kaydı ölçeklendirme yöntemi.....	34
Şekil 3.9	: Eşdeğer çerçeve modeli.....	36
Şekil 3.10	: Çaprazlı eşdeğer çerçeve modeli.....	37
Şekil 3.11	: Test binası periyot ve kütle katılım oranları. ....	38
Şekil 3.12	: Spektrum analizinden elde edilen taban kesme kuvvetleri. ....	38
Şekil 3.13	: Normalize edilmiş modal yerdeğiştirme (m/m) ve periyotlar... ..	39
Şekil 3.14	: X ve Y yönü görelî kat ötelemesi.....	40
Şekil 3.15	: Tasarım deprem kuvvetleri altında kat kesme kuvvetleri. ....	40
Şekil 3.16	: Tasarım deprem kuvvetleri altında kat devrilme momentleri. ..	41
Şekil 4.1	: Doğrusal olmayan analiz modelinde kullanılan elemanlar. ....	43
Şekil 4.2	: Perde şematik fiber gösterimi.....	44
Şekil 4.3	: Sargısız beton gerilme-şekil değiştirme ilişkisi. ....	45

Şekil 4.4 : Sargılı beton gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.....	46
Şekil 4.5 : Çelik doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkisi. ....	46
Şekil 4.6 : Tipik çelik bağ kirişi modeli. ....	47
Şekil 4.7 : Çelik bağ kirişi sınıflandırması (Engelhardt ve Popov 1989). ..	48
Şekil 4.8 : ASCE41 (2006) EBF bağ kirişi model parametreleri. ....	48
Şekil 4.9 : Tipik kiriş modeli. ....	49
Şekil 4.10: Tipik kolon modeli. ....	50
Şekil 4.11: Şematik eşdeğer kiriş modeli. ....	50
Şekil 4.12: Efektif kiriş genişliği modelinin perdeli sisteme uygulanması (ATC72, 2010' dan referans alınarak çizilmiştir). ....	51
Şekil 4.13: Efektif kiriş genişliği kesit. ....	52
Şekil 4.14: Şematik Gömülü kiriş gösterimi. ....	52
Şekil 4.15: Dönme Sürtünmesine dayalı sönümleyicinin davranışı ve yaklaşımı. ....	53
Şekil 4.16: Tipik Sönümleyici modeli. ....	53
Şekil 4.17: Rayleigh sönüm grafiği. ....	54
Şekil 5.1 : Maksimum görelî kat ötelenmesi. ....	56
Şekil 5.2 : Çekirdek perde başlık bölgesi maksimum eksenel şekil değiştirmeler. ....	56
Şekil 5.3 : ASCE41 (2006) EBF bağ kirişi performans düzeyleri ve hasar limitleri. ....	57
Şekil 5.4 : Çelik bağ kirişi dönme değerleri. ....	57
Şekil 5.5 : Kapasite çalışması modelleri. ....	58
Şekil 5.6 : $X$ ve $Y$ yönü ortalama görelî kat ötelenmesi. ....	59
Şekil 5.7 : $X$ yönü ortalama perde kat kesme kuvvet ve $Y$ yönü ortalama perde kat devrilme moment diyagramı. ....	59
Şekil 5.8 : Çekirdek perde başlık bölgesi maksimum eksenel şekil değiştirme diyagramı. ....	60
Şekil 5.9 : Bağ kirişi eksenel kuvvet ve plastik dönme diyagramı. ....	61
Şekil 5.10: $X$ ( $H1$ ) yönü minimum taban kesme kuvveti. ....	62
Şekil 5.11: $X$ ( $H1$ ) yönü maksimum taban kesme kuvveti. ....	62
Şekil 5.12: $Y$ ( $H2$ ) yönü minimum taban kesme kuvveti. ....	63
Şekil 5.13: $Y$ ( $H2$ ) yönü maksimum taban kesme kuvveti. ....	63
Şekil 5.14: Bağ kirişlerinde tüketilen viskoz enerji miktarı. ....	63
Şekil 5.15: Tüketilen toplam viskoz enerji miktarı. ....	64
Şekil 5.16: Bağ kirişlerinde tüketilen plastik şekil değiştirme enerji miktarı. ....	64
Şekil 5.17: Tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerji miktarı. ....	65
Şekil 5.18: Yerleşim çalışması modelleri. ....	66
Şekil 5.19: $X$ ve $Y$ yönü ortalama görelî kat ötelenmesi. ....	66
Şekil 5.20: $X$ yönü ortalama perde kat kesme kuvvet ve $Y$ yönü ortalama perde kat devrilme moment diyagramı. ....	67
Şekil 5.21: Çekirdek perde başlık bölgesi maksimum eksenel şekil değiştirme diyagramı. ....	68
Şekil 5.22: Bağ kirişi plastik dönme diyagramı. ....	68
Şekil 5.23: Yapı hasarını azaltmaya yönelik yerleşim. ....	69
Şekil 5.24: $X$ ve $Y$ yönü ortalama görelî kat ötelenmesi. ....	70
Şekil 5.25: $X$ yönü ortalama perde kat kesme kuvvet ve $Y$ yönü ortalama perde kat devrilme moment diyagramı. ....	71

<b>Şekil 5.26:</b> Çekirdek perde başlık bölgesi maksimum aksenal şekil değiştirme diyagramı.....	71
<b>Şekil 5.27:</b> Bağ kirişi plastik dönme diyagramı.....	72
<b>Şekil B.1:</b> Maksimum görelî kat ötelenmesi.....	93
<b>Şekil B.2:</b> Maksimum X yönü perde ve kolon kat kesme kuvvetleri.....	94
<b>Şekil B.3:</b> Maksimum Y yönü perde ve kolon kat kesme kuvvetleri.....	94
<b>Şekil B.4:</b> Maksimum X yönü perde ve kolon devrilme momentleri (kNm).....	95
<b>Şekil B.5:</b> Maksimum Y yönü perde ve kolon devrilme momentleri (kNm).....	95
<b>Şekil B.6:</b> Çekirdek perde başlık bölgesi maksimum aksenal şekil değiştirmeler.....	96
<b>Şekil B.7:</b> Çekirdek perde gövde bölgesi maksimum aksenal şekil değiştirmeler.....	96
<b>Şekil B.8:</b> Çelik bağ kirişi aksenal kuvvet.....	97
<b>Şekil B.9:</b> Çelik bağ kirişi dönme değerleri.....	97



# SÜRTÜNMEYE DAYALI SÖNÜMLEYİCİLER İLE BAĞLI BETONARME PERDE DUVARLI YÜKSEK BİNALARIN TASARIMI

## ÖZET

Günümüzde, yüksek yapılarda en yaygın kullanılan sistemlerden bir tanesi birbirlerine bağ kirişleri ile bağlı betonarme perde duvarlı sistemlerdir. Bağ kirişleri, bu kirişler ile bağlı perde duvarların rijitliğini, bağlı olmayan duvarlara göre önemli miktarda artırır. Deprem bölgelerinde sünek bağ kirişleri kullanılarak, yapının bu kirişler ile enerji sönümlemesi de hedeflenir. Bağ kirişlerinde, perde duvarların arasındaki etkileşime bağlı olarak düşük seviyelerdeki yanal kuvvetler altında bile doğrusal olmayan kesme ve buna bağlı olarak eğilme şekil değiştirmeleri beklenebilir. Bu yüzden tipik betonarme yüksek yapılarda bağ kirişlerindeki enerji sönümleme genelde perde duvarlardan daha fazla olması ve şiddetli bir deprem sonrası bu kirişlerdeki hasarın kalıcı olması beklenebilir. Bununla beraber, bağ kirişlerin davranışı perde duvarların davranışını da etkileyecek ve bundan dolayı tüm yapı davranışı yönlendirecektir.

Yapı davranışını etkileyen önemli elemanlar olmalarına rağmen, bağ kirişlerinin tasarımı birçok nedenden dolayı istenildiği gibi olmayabilir. Tasarım aşamasında mimari, mekanik ve değişik yapısal veya yapısal olmayan zorunluluklardan dolayı bağ kirişlerin tasarımı (boyutlandırılması, kapasitesi v.b.) mühendisin kontrolünden çıkmakta ve bu zorunluluklar çerçevesinde belirlenmektedir. Bazı araştırmacılar, tasarım zorlukları, hasarın kalıcı olması gibi nedenlerden dolayı konvansiyonel betonarme ve çelik bağ kirişi kullanılması yerine yapı içerisinde istenilen bağlı davranışı elde edebilmek için sönümleyici kullanımını önermişlerdir. Sönümleyici olarak kullanılacak bağ kirişleri ile bağlı perde duvarlı yapı sistemlerinin tasarımı ise ayrı bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yüksek lisans tezi olarak yapılan bu çalışmada, birbirlerine dönme sürtünmesine dayalı sönümleyicilerle bağlı betonarme perde duvarlı yüksek binaların tasarımını kolaylaştırıcı yöntemler incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda ilk aşamada Türkiye’de inşası yakın dönemde tamamlanmış, 43 katlı ve birbirlerine çelik bağ kirişleri ile bağlı iki adet C şeklinde betonarme perde duvarlı bir yapı incelenmiş, araştırma için kat planları basitleştirilmiştir. Yapı tasarımı, ulusal ve uluslararası yönetmelikler ve tasarım kılavuzları göz önüne alınarak tekrarlanmış ve matematiksel model elde edilmiştir.

İkinci aşamada yapısal analizleri kolaylaştıracak eşdeğer çerçeve yöntemleri incelenmiştir. Yüksek yapılarda döşemelerin çubuk elemanlar ile modellendiği

eşdeğer çerçeve sistemler, kabuk elemanlı sistemlere göre daha hızlı çözüldüklerinden dolayı sıklıkla kullanılmaktadır. İncelemelerin yapılacağı doğrusal olmayan model oluşturulmadan önce orijinal yapı içerisindeki kabuk elemanlar literatürde önerilen yöntemler ile elde edilen eşdeğer kirişler ile modellenmiştir. Orijinal matematiksel model ile eşdeğer çerçeve modellerinin yapısal davranışı eşdeğer statik, modal ve modal birleştirme yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Üçüncü aşamada, orijinal yapının alternatifi olarak çelik bağ kirişleri yerine, uygun tasarımı ve detaylandırılması yapıldığı takdirde hasar almayacak elemanlar olan sürtünmeye dayalı sönümleyiciler kullanıldığı düşünülmüştür. Sönümleyicilerin doğrusal olmayan tasarımı üreticiden alınan bilgiler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Üç farklı senaryo araştırılmıştır: Birinci senaryoda çelik bağ kirişlerin kesme akma kapasitesine bağlı olarak değişik kapasitelerde sönümleyici kullanılması durumu araştırılmıştır. İkinci senaryoda sönümleyicilerin yapı içerisine değişik konfigürasyonlar halinde yerleştirilme durumu incelenmiştir. Üçüncü ve son senaryoda performans değerlendirmesi sonucu ilk 20 katta önemli derecede hasar alan çelik bağ kirişleri yerine bu kirişlerin başlangıç ve güçlendirme maliyetine denk gelecek maliyette sönümleyici elemanlar kullanarak hasarı azaltmaya yönelik yerleşim incelemesi yapılmıştır.

Yukarıda özetlenen sönümleyici yapı senaryoları doğrusal olmayan analiz modelinin verilen bir tasarım spektrumuna ölçeklendirilmiş yedi deprem çifti için çözümlenmesi ile incelenmiş ve bu senaryolarda sönümleyicilerin yapının doğrusal olmayan davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Orijinal sistem ve önerilen sistemler arasında enerji sönümleme, görelî kat öteleme, perde duvar kuvvetleri, plastik dönmeler ve değişik yapısal özellikler temel alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafik ve şekiller halinde sunulmuştur. Nümerik verilerden elde edilen bilgilere göre sürtünmeye dayalı kullanılan sönümleyicinin yapı rijitliğini azaltarak önemli miktarda enerji sönümlediği ve bağ kirişlerinde oluşacak hasar düşünüldüğü zaman, konvansiyonel bağ kirişleri yerine alternatif olarak uygun bir maliyetle kullanılabilecekleri gözlemlenmiştir.

# DESIGN OF TALL BUILDINGS WITH FRICTION DAMPER COUPLED REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS

## SUMMARY

Shear wall systems with coupling energy dissipation devices has recently been investigated for tall buildings. A common structural system for tall buildings is a conventional coupled shear wall system, which provides higher rigidity and overall performance for tall buildings compared to uncoupled walls. Due to the interaction between shear walls, coupling beams, which can be considered as the “fuse elements” of the structural system, primarily exhibit nonlinear behavior and receive damage under major lateral loads before any other structural elements. In this context, coupling beams should provide ductile behavior with high energy dissipation capacity, which is procurable by ensuring proper detailing.

Coupling beams, which are one of the most important members of the structural system, can not be designed as intended by the structural engineers due to the architectural and mechanical restrictions. Some researches suggest replacing conventional steel or reinforced concrete coupling beams with damping devices to overcome these limitations. This approach also helps designer to avoid complex design issues and reduces residual damage possibility of conventional coupling beams. However, there is no research available in the literature that addresses design issues associated with damper coupled shear wall structures. Therefore, design of shear walls with coupling dampers is considered as another research subject herein.

This study presents seismic performance evaluation of tall buildings with reinforced concrete shear walls coupled by friction dampers based on the nonlinear behavior and analysis of the structure. Evaluation is completed in three steps as summarized below:

First, a 43-story tall building that has recently been built in Istanbul, Turkey is considered, where a reinforced concrete core shear wall formed by two C-shaped walls that are coupled by steel beams are the main elements of the seismic force resisting system. Some simplifications are made on actual structural system of tall building for this study. The design of structural system is conducted considering locally and universally accepted design guidelines and specifications.

Second, equivalent frame methods are investigated to facilitate the analysis. For tall buildings, using frame elements to represent shell slab elements is commonly preferred to obtain analysis results quicker. In this context, shell-slab elements in the actual structural system of the sample building are represented as equivalent frame elements, which are derived according to the recommended methods in literature. The structural

behavior of structure model with shell elements and equivalent frame model are compared by using equivalent lateral load and modal combination procedures.

Third, as an alternative to the original structure, steel beams are proposed to be replaced with friction dampers, which are known to experience no damage when properly designed and detailed. Several levels of activation forces for the dampers are considered. Friction dampers are modeled with the nonlinear behavior depicted by the tests provided by the damper manufacturer. Three scenarios are evaluated: In the first scenario, all dampers are considered to have an activation force comparable to the steel beam shear yield force. In the second scenario, different damper configurations in the structural system are investigated. In the third, scenario, damper activation force is reduced to a level where the cost of the dampers are comparable to the sum of initial cost and possible retrofit cost of the steel beams.

Performance evaluation of the structure based on the analyses of a nonlinear model reveals that steel coupling beams of the first 20 floors of the structure are expected to get the highest damage level.

Details of the nonlinear modeling of the structure, including the shear walls, frame elements, coupling beams and friction dampers are given. Seven pairs of historical ground motion acceleration data that is scaled to a design response spectrum are used for the nonlinear analyses. Effects of the damper options on the nonlinear behavior of the structure, are investigated in detail.

Energy dissipation properties, structural displacements, wall forces and several other structural properties of the original system and the proposed system are compared, and results are presented tabularly and graphically. Numerical simulations show that friction dampers can achieve significant energy dissipation capacity, while reducing the rigidity of the structure resulting increased displacements. Friction dampers can be cost-effective alternative to conventional coupling beams when designed and configured considering the damage on the coupling beams and shear walls. However, it is also shown that for a more objective comparison of performance and cost, research is needed to define performance concepts for tall building structures more accurately, such as collapse and damage levels that require retrofit or replacement.



# 1. GİRİŞ

## 1.1 Konu

1880' li yıllardan itibaren ticari ve konut amacıyla yapılan modern yüksek yapıların inşası hız kazanmıştır. Mühendisliğin, teknolojinin ve malzemenin paralel gelişmesiyle birlikte bu binalar daha yüksek ve yapısal sistemi daha narin olacak şekilde yapılabilmektedirler. Ancak yapısal sistemlerdeki bu gelişim yüksek binalarda karmaşık tasarım problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Yüksek yapıların gelişimlerine paralel olarak karşılaşılan problemlerden biri rüzgâr altındaki salınımdır (Tamura ve Kareem, 2013)

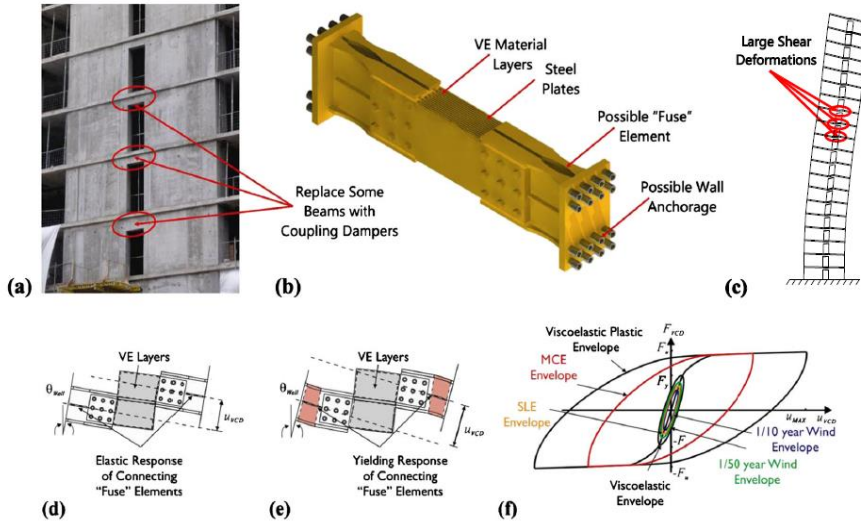
Yüksek binalarda genellikle yanal rüzgâr yüklerinden dolayı oluşan salınım problemlerinin nedeni rijitlik, yapı yüksekliklerin artması, rüzgâr altında salınımı artıracak mimari formların kullanılmasıdır. Yapısal malzemelerinin dayanımlarındaki artışın yanında rijitliklerindeki artışın yeteri kadar sağlanamaması sonucu yüksek dayanıma sahip malzemedeki inşa edilen narin yapılarda titreşim sorunu ancak tüm yapının rijitliğinin veya doğal sönümlemesinin artırılmasıyla ortadan kaldırılmaktadır.

Yüksek yapıların tasarımında karşılaşılan diğer bir zorluk ise deprem ile ilgilidir (ATC, 2010). Dinamik etkilerin fazla oluşu (yüksek modların etkileri), kullanılan yapısal sistemleri bazılarının deprem davranışının ve tasarımının zor olması (dışdestek sistemleri, mega sistemler), yönetmeliklerin belli yükseklikten sonra geçersiz oluşu, çok kullanılan betonarme çekirdek perde duvar doğrusal davranışının karmaşık oluşu gibi zorluklar bunlara örnek olarak verilebilir.

Yüksek yapılarda yukarıda özetlenen ve son yıllarda daha da belirginleşen tasarım zorluklarının çözümü için kullanılan yöntemlerden birisi ek sönümleyicilerin kullanılmasıdır. Ek sönümleyiciler, yapıların doğal ve histeretik sönümleme kapasitelerine ek olarak enerji sönümleyerek, yapı tepkilerinin (örnek: yer değiştirmeler, ivmeler) azalmasına yardımcı olurlar. Yüksek yapılarda sönümleyici kullanımına örnek olarak, rüzgâr davranışının azaltılması için ayarlı kütle sönümleyici ya da viskoelastik sönümleyiciler kullanılması, genel davranış (rüzgâr ve deprem için) dışdestek sistemlerinde viskoz sönümleyici, deprem davranışı için çaprazlı sistemlerde sürtünmeye dayalı sönümleyici kullanılması gösterilebilir.

Ek sönümleyicilerin yüksek yapılarda kullanımına yönelik son yıllarda önerilen bir sistemde bağ kirişli perde duvarlı sistemlerde bağ kiriş yerine sönümleyici kullanılmasıdır. Bağ kirişli perde duvarlar hemen hemen tüm yüksek yapılarda kullanılan ana yapısal elemanlardır. Bu elemanların en önemli özelliği genel davranış itibarı ile düşük seviyelerde de olsa rüzgâr ve deprem yükleri altında ilk tepki gösterecek elemanlar olmalarıdır. Birçok durumda, düşük seviyelerdeki yanal kuvvetler altında bu elemanların doğrusal olmayan davranış göstermeye ve enerji sönümlemeye başladığı bilinmektedir. Belli bir seviyenin üzerindeki yanal yükler altında bu davranış sonucu kalıcı hasar oluşacaktır. Önerilen sistemlerde, bağ kirişler yerine sönümleyiciler kullanılarak, hem sönümleme kapasitesine artırmak hem de ilk ve belki de kalıcı hasar alacak elemanlar yerine hasar almayacak bir yapısal eleman kullanılmasını sağlamaktır.

Literatürde, yukarıda önerilen sistem türünü inceleyen en önemli çalışma Toronto Üniversitesi'nde geliştirilen yeni bir viskoelastik sönümleyici gösterilebilir. (Montgomery, 2011, Christopoulos ve Montgomery, 2013, Montgomery ve Christopoulos, 2014). Çelik plakalar arasında çift katlı viskoelastik malzemeden oluşan bu yapısal eleman Viskoelastik Bağ Sönümleyici (İng. Viscoelastic Coupling Damper, VCD) olarak adlandırılmıştır. Şekil 1.1' de görüldüğü gibi perde rüzgar veya deprem altında yanal olarak yer değiştirdiği zaman VCD önemli miktarda kesme şekil değiştirmesine uğrayarak enerji sönümleyebilmektedir.



**Şekil 1.1:** VCD Çalışması (Montgomery, 2011)

Viskoelastik ve viskoz sönümleyiciler, düşük genlikli salınımlarda düşüğe olsa sönümleme kapasitesine sahip olduklarından dolayı genel olarak rüzgâr tasarımlarında tercih edilirler. Yeni tür viskoz ve viskoelastik sönümleyiciler deprem yükleri gibi yüksek genlikli salınım neden olan yükler altında daha fazla enerji

sönümleyebilmektedirler (bakınız **Şekil 1.1**) Histeretik sönümleyiciler yüksek enerji sönümleme kabiliyetlerinden dolayı daha çok sismik tasarımlar için tercih edilmektedirler; ancak bu sönümleyiciler düşük genlikli salınımlarda (rüzgar yükleri için) aktive olmayacaklarından elastik davranış gösterirler ve sönümleme gerçekleşmez.

## 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın amacı, sönümleyicilerle bağlı betonarme perde duvarlı yüksek binaların tasarımını kolaylaştırıcı yöntemlerin geliştirilmesidir. Bu yöntemler tasarımda aşağıda belirtilen hedefleri sağlamalıdır:

- Konvansiyonel yapının gösterdiği performansın aynısının veya daha iyisinin yakalanması
- Ekonomikliğin sağlanması
- Uygun sönümleyici yerleşim planının ve kapasitesinin belirlenmesi
- Hasarı azaltmaya yönelik sönümleyici yerleşiminin belirlenmesi

Bu amaç doğrultusunda iki adet C şeklinde perdeye sahip olan, gerçekte projelendirilmiş ve inşa edilmiş bir yapının kalıp planları örnek alınmıştır. Yapı tasarımı, ulusal ve uluslararası yönetmelikler ve tasarım kılavuzları göz önüne alınarak tekrarlanmış ve matematiksel model elde edilmiştir. Yapısal analizleri kolaylaştıracak eşdeğer çerçeve yöntemleri incelenmiş ve incelemelerin yapılacağı doğrusal olmayan model oluşturulmadan önce orijinal yapı içerisindeki kabuk elemanlar literatürde önerilen yöntemler ile elde edilen eşdeğer kirişler ile modellenmiştir. Orijinal yapının alternatifini olarak çelik bağ kirişleri yerine sürtünmeye dayalı sönümleyiciler kullanıldığı düşünülmüştür. Sönümleyicilerin doğrusal olmayan tasarımı üreticiden alınan bilgiler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Üç farklı senaryo araştırılmıştır: Birinci senaryoda, değişik kapasitelerde sönümleyici kullanılması durumu araştırılmış, ikinci senaryoda sönümleyicilerin yapı içerisine değişik konfigürasyonlar halinde yerleştirilme durumu incelenmiştir. Üçüncü ve son senaryoda hasar alan çelik bağ kirişleri yerine, uygun şekilde tasarımı ve uygulaması yapıldığı takdirde hasar almayacak elemanlar olan dönme sürtünmesine dayalı sönümleyici elemanlar kullanarak hasarı azaltmaya yönelik yerleşim incelemesi yapılmıştır. Yukarıda özetlenen sönümleyici yapı senaryoları doğrusal olmayan analiz modelinin verilen bir tasarım spektrumuna ölçeklendirilmiş yedi deprem çifti için çözümlenmesi ile incelenmiş ve bu senaryolarda sönümleyicilerin yapının doğrusal olmayan davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafik ve şekiller halinde sunulmuştur.



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde ilk olarak yüksek yapı tasarımında kullanılan geleneksel bağ kirişli betonarme perde sistemler hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde eşdeğer çerçeve yönteminde kabuk elemanlar yerine kullanılan eşdeğer kirişler hakkında literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde yüksek yapının doğrusal olmayan davranış altında modellenmesi tartışılmıştır. En son bölümde enerji sönümleyiciler ile ilgili bilgiler verilmiştir. Verilen kaynaklar, temel bazı konular için (örn: perde duvarlar) temel kaynakları içermekte olup, çok daha detaylı araştırma ve bilgi literatürde bulunabilir. Bu bölümde verilen bazı bilgiler, verilen ifadelerin bozulmaması için İngilizceden Türkçeye çevrilmeye çalışılmıştır. Bu bölümde ayrıca bazı şekiller literatürden alınarak tekrar çizilmiştir.

### 2.1 Betonarme Perde Duvarlar

Perde duvarlar rüzgar ve/veya deprem etkisinden oluşan yanal yükleri taşıyan ve yapıya yanal stabilite sağlayan yüksek rijitlikli taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Özellikle günümüzde yapıların yükseklikleri arttıkça daha narin ve kritik perde elemanların tasarlanması söz konusudur.

Betonarme Perdeler üzerinde ilk çalışmalar monotonik yükler altında betonarme perde duvarın taşıma kapasitesi üzerine yapılmıştır (Benjamin ve Williams, 1958; Antebi *vd.*, 1960; Oberlender ve Everard,1977). Daha sonra Amerikan Portland Çimento Birliğinin (İng. Portland Cement Association, PCI) 1960' lı yılların sonu ile 1980' li yıllar arasında yaptığı geniş deneysel çalışmalarda perdenin çevrimsel yükler altında nasıl davrandığı incelenmiştir. Bu çalışmalarda betonarme duvarda oluşabilecek farklı göçme modu davranışları araştırılmıştır (Barda *vd.*, 1972; Cardenas *vd.*, 1972, 1973, 1980; Oesterle *vd.*, 1976, 1979, 1980, 1983; Shiu *vd.*, 1981; Corley *vd.*, 1981). Aynı zamanda Illinois üniversitesinde perde duvarlar üzerinde sarsma tablası deneyleri yapılmıştır (Aristizabal ve Sozen, 1976; Lybas ve Sozen, 1977).

El-Tawil *vd.*, (2002) perde duvarın doğrusal olmayan davranışının perdenin alt kısmında oluşan plastik mafsal bölgesine bağlı olduğunu ve burada büyük dönme ve donatıda akmanın meydana geleceğini, ayrıca rijitlik, dayanım, süneklik ve enerjinin sönümü gibi davranışı etkileyen kritik parametrelerin bu bölgenin davranışına bağlı olduğunu belirtmiştir. Eğer bu bölge gerektiği gibi tasarlanmaz ise, yapı yanal yüklere maruz kaldığında, bu bölgede gevrek göçme mekanizmalarının oluşması beklenebilir.

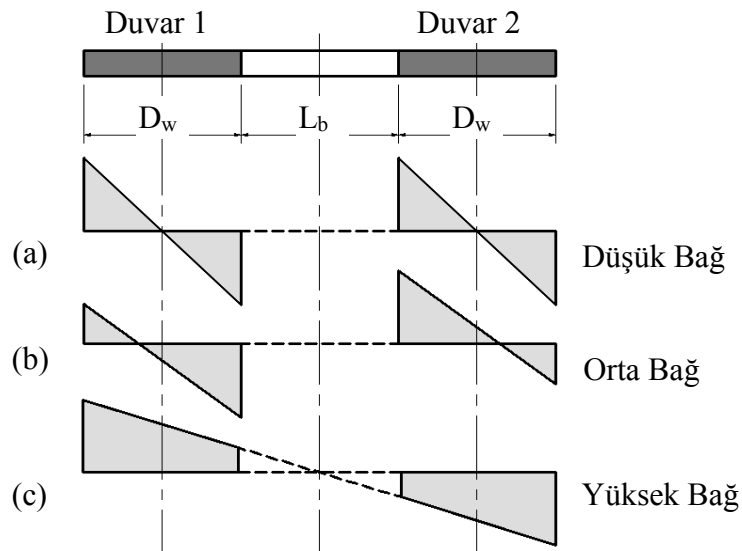
Bu istenmeyen mekanizma durumlarından bazıları aşağıda listelenmiştir (El-Tawil vd., 2002):

- Kritik bölgede betonun ezilmesi;
- Kesmeden dolayı çapraz çekme ve basınç;
- Mesnet bölgesinde kayma göçmesi;
- Ankraj bölgesi boyunca aderans veya kesme hasarı;
- İnce duvarlarda stabilite problemi;

### 2.1.1 Bağ Kirişli Perde Duvar

Düşey doğrultu boyunca açılan boşluklardan dolayı iki veya daha çok perde duvarın bağ kirişleri ile bağlanması sonucu oluşan, yapısal sisteme önemli miktarda rijitlik ve dayanım katan yapı elemanlarıdır. Bu perde duvarların birlikte çalışıp çalışmadığı ya da bunların birbirleri üzerindeki etkileri duvarlar arasındaki etkileşimin derecesini yani bağlı davranışı belirler (Paulay 1969).

Birbirlerine sadece aksel yük aktarabilen yani rijit olmayan elemanlarla bağlanmış iki perdede moment, perdelerin eğilme rijitlikleri oranında dağılırken, gerilmeler ise Şekil 2.1a 'da görüldüğü gibi her perdede ayrı bir şekilde lineer olarak dağılır. Buna karşı birbirlerine rijit elemanlar ile bağlanan perdelerde uygulanan moment, iki perdenin kompozit eleman şeklinde davranış göstermesiyle karşılanır. Burada gerilmeler Şekil 2.1c 'deki gibi iki perde düzlemi boyunca lineer olarak dağılır.



Şekil 2.1: Perdenin gösterdiği davranışına göre oluşan gerilme dağılımı.

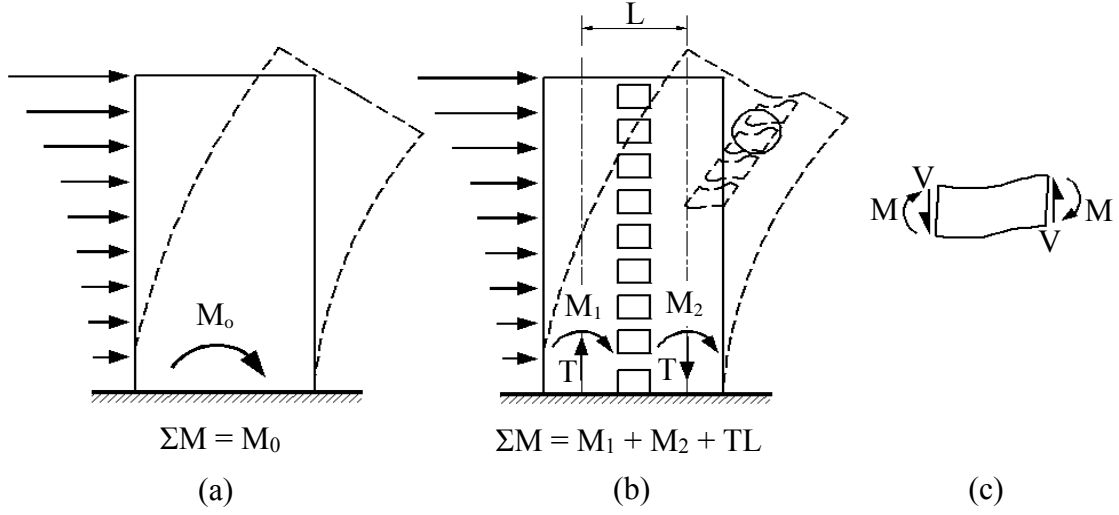
Bağ kirişli perdeli sistemler üzerinde 1960'lı yılların sonundan itibaren Paulay (1971), Paulay ve Binnay (1974), Paulay ve Santhakumar (1976) tarafından önemli araştırmalar yapılmıştır. Daha sonra Paulay *vd.*, (1982), Paulay ve Priestley (1992, 1993) diyagonal çekme, başlık bölgesindeki sargı etkisi ve donatı burkulması, düzlem dışı perde dengesi, sünek davranış ve düzensiz delikler üzerinde yaptıkları çalışma dünya genelinde kullanılan yönetmeliklerin betonarme perdelerin tasarımı ve detaylandırması hakkında sundukları yönergelere önemli katkılar sunmuştur. Bağ kirişli perdeler üzerlerinde yapılan bu araştırmalar neticesinde üç önemli sonuç elde edilmiştir;

- Birbirinden bağımsız perdelerin karşılayacağı momenti azaltıp daha verimli yapısal sistemler oluşturdukları;
- Perdeler sadece alt katlarda enerji sönümlerken, bağ kirişleri tüm katlarda doğrusal olmayan yer değiştirmeler yaparak sismik enerjiyi sönümlemesi ve enerji yutuluşunu yapı geneline yaymaları;
- Birbirleriyle etkileşimi olmayan perdelerin yapıda tek başlarına oluşturacakları toplam yanal rijitlikten çok daha fazla yanal rijitlik oluşmasını sağlamaları.

Birbirlerine betonarme bağ kirişleri ile bağlı perdeli sistemlerde, yanal yük etkisi altında duvar yüksekliği boyunca ilk olarak bağ kirişlerinde sünek akma mekanizmasını ve daha sonrada perde duvarların mafsallık bölgesinde eğilmeye bağlı davranışı sağlamak tasarımıdaki temel amaçtır.

### **2.1.1.1 Perdeler arası bağıl davranış derecesi**

Bağ kirişleri bağladıkları perde duvarlar arasındaki yük transferinde bağıl davranış etkisi oluşturarak, yani taban kesme kuvveti sonucunda oluşan toplam devrilme momentini bağladıkları perde duvarlara dağıtarak, bu momentin tek bir perdenin tabanında yani plastik mafsallık bölgesinde yoğunlaşmasını engeller. Eğer birbirlerine bağ kirişleri ile bağlanan perdelerde bağıl davranış derecesi çok küçükse, perde duvarlar birbirinden bağımsız iki perde gibi davranır, eğer bu perdeler arasındaki bağıl davranış derecesi çok yüksekse bu perdeler boşluksuz yani kompozit tek bir eleman gibi davranır. Şekil değiştirmiş boşluksuz ve boşluklu perdelerde oluşan mesnet tepkileri Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2:** Perde davranışı: (a) Yanal yüke maruz perde; (b) Yanal yüke maruz bağ kirişli perde; (c) Bağ kirişi ve yanal yük etkisinde oluşan iç kuvvetler (Paulay ve shankumar *vd.*, 1976 referansından alınarak çizilmiştir).

Perdeler arasında oluşan bağıl davranış derecesini hesaplamak için literatürde çeşitli formüller önerilmiştir. Bu çalışmada aşağıdaki iki formülden yararlanılmıştır:

- Bağıl davranış derecesi (degree of coupling);

$$DC = \frac{TL}{\sum M_w + TL}$$

Burada

$TL$ : Bağ kirişlerindeki kesme kuvvetinden dolayı duvarlarda oluşan toplam eksenel yük

$L$ : Perde duvarlar arasındaki moment kolu

$M_w$ : Her bir perde duvardaki devrilme momenti

- Chaallal *vd.*, (1996) istatistiksel çalışma sonucu önerdiği formül;

$$DC = k \frac{H_b^a}{D_w^b L_b^c}$$

Burada

$H_b$ : Bağ kirişinin yüksekliği

$D_w$ : Bağımsız perde duvar uzunluğu

$L_b$ : Bağ kirişin açıklığı



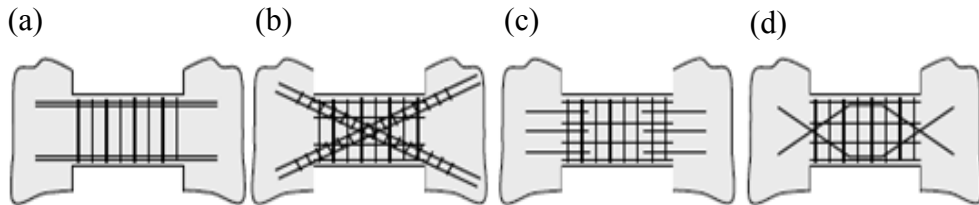
diğer katsayılar ise Çizelge 2.1’de verilmiştir.

**Çizelge 2.1:**  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , ve  $k$  katsayıları(*Chaallal vd.*, 1996).

<b>Kat sayısı</b> <b>n</b> (1)	<b>k</b> (2)	<b>a</b> (3)	<b>b</b> (4)	<b>c</b> (5)
6	2.976	0.706	0.615	0.698
10	2.342	0.512	0.462	0.509
15	1.697	0.352	0.345	0.279
20	1.463	0.265	0.281	0.19
30	1.295	0.193	0.223	0.106
40	1.19	0.145	0.188	0.059

### 2.1.1.2 Betonarme bağ kirişleri

Betonarme bağ kirişleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ilk olarak tekrarlı yükler altında sünek davranışın oluşması üzerine yoğunlaşmıştır. 1970’lerden önce bağ kirişlerinde donatı planı olarak Şekil 2.3a’de gösterilen eğilmeye maruz yapısal kirişlerden alışlagelmiş donatı planı uygulanmaktaydı. 1964’de meydana gelen Alaska depremi sonrasında incelenen yapılardan olan McKinley Binalarında oluşan hasar sonucu (Şekil 2.4), bu tip kirişlerde yeterli kesme donatısının bulunmamasından dolayı gevrek göçme mekanizmaların oluştuğu görülmüştür. Bundan sonra bağ kirişlerinde oluşacak gevrek davranışların önlenmesi amacıyla bazı araştırmacılar bu kirişler üzerinde alternatif donatı yerleşim çalışmaları başlatmıştır.



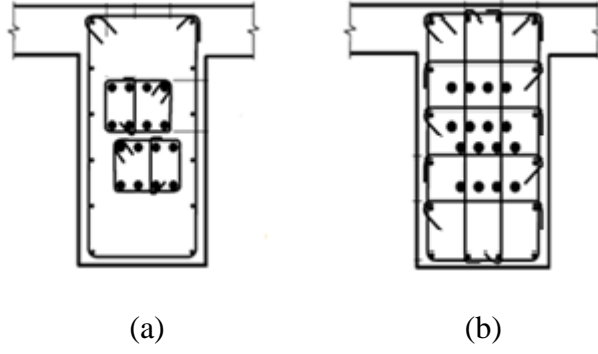
**Şekil 2.3:** Bağ kirişlerde donatı düzenleri (Barney ve diğerleri, 1978).



**Şekil 2.4:** Mt. McKinley Apartmanı ( Paulay 1969b)

Paulay ve Binney (1974) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda çapraz donatıların kirişlerdeki konvansiyonel donatılara göre daha sünek davranış gösterdikleri gözlemlenmiştir. Bu çapraz donatı yaklaşımı ilk defa ACI 318-99 yönetmeliğindeki hükümlere dahil edilmiştir. Deprem bölgelerinde inşa edilen yapılardaki çapraz şekilde donatılan betonarme bağ kirişlerinde çok fazla donatıya ihtiyaç duyulması inşaat aşamasında ciddi sıkıntılara neden olmaktadır (Harries *vd.*, 2005).

Çapraz şekilde donatılan betonarme bağ kirişlerine alternatif olacak veya bu kirişlerin sargı detaylarını azaltacak birçok çalışma yapılmıştır (Wallace, 2007; Fortney *vd.*, 2008; Naish *vd.*, 2009). Yapılan bu çalışmalardan Naish *vd.*, (2009) tarafından yapılan çalışmalar ACI 318-08 yönetmeliğine Şekil 2.5b' de görüldüğü gibi dahil edilmiştir. Burada Şekil 2.5a' daki yalnız çapraz donatıların etrafını saran yatay donatı uygulamasına alternatif olarak tüm kirişin etrafına saracak yatay donatı uygulaması önerilmiştir.



**Şekil 2.5:** Bağ kirişi donatı detayı: (a) ilk ACI 318 uygulaması; ve (b) ACI 318 yönetmeliğine yeni eklenen uygulama

### 2.1.2 Hibrid Bağ Kirişli Perde Duvarlar

Şiddetli depremler altında birbirlerine bağ kirişleri ile bağlanan perdeler arasında büyük sismik kuvvetler aktarılmaktadır. Bu kuvvetlerin aktarımını sağlayan bağ kirişlerinde, önemli sayılabilecek derecede rijitlik ve dayanım kaybı yaşanmadan büyük miktarda enerji sönmüleme kabiliyeti beklenmektedir. Bunun sağlanabilmesi için betonarme bağ kirişlerinin özel olarak donatılmaları gerekmektedir ve bu da bağ kirişlerinin derinliğini önemli miktarda artırmaktadır. Kat yüksekliklerin sınırlı olduğu yapılarda bu tür sistemlerin uygulanabilirliği pek mümkün olmamaktadır. Günümüzde çelik ve betonarmenin avantajları birleştirilerek hibrid perdeli sistemler oluşturularak bu sorunun üstesinden gelinmeye çalışılmıştır.

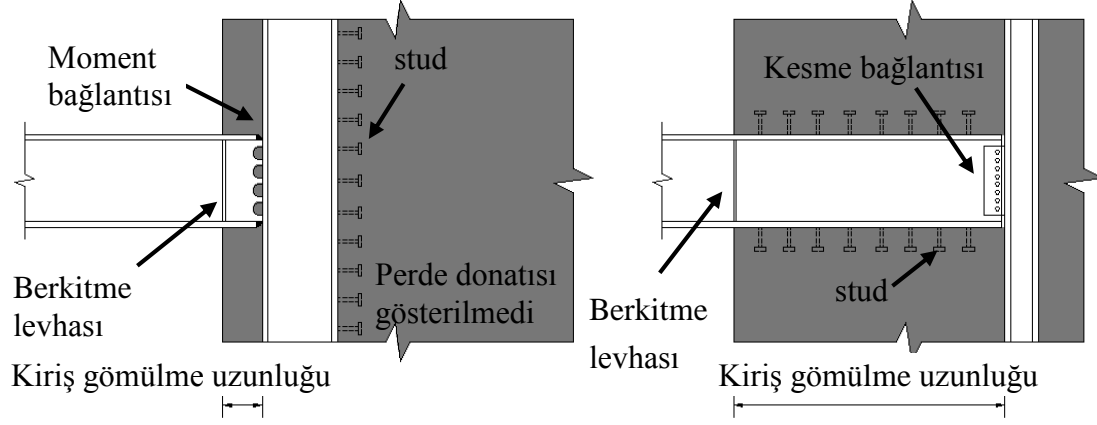


**Şekil 2.6 :** İnşaat aşamasındaki çelik bağ kiriş ile bağlı perde duvar sistemi (Nurol Life 2015).

### 2.1.2.3 Çelik bağ kirişleri

Çelik bağ kirişleri dışmerkez çelik çaprazlı perdeli sistemlerde en önemli enerji yutabilen elemanlardır. Çelik bağ kirişin buradaki rolü betonarme bağ kirişinin bağ kirişli perdeli sistemde oynadığı rolle aynıdır (Harries *vd.*, 2000). Kesmeden dolayı

göçmenin engellendiği ve eğilme mafsallarının oluşması sağlanan betonarme bağ kirişlerin aksine, çelik bağ kirişlerinde büyük miktarda enerji yutabilme kesme davranışının ortaya çıkarılması ile sağlanabilmektedir. Bu davranışın sağlanabilmesi için çelik bağ kirişte yerel ve yanal burkulmanın ayrıca önlenmesi gerekmektedir.(Harries *vd.*, 1992)



**Şekil 2.7:** Çelik bağ kirişi (El-Tawil *vd.*, 2009 referansından alınarak çizilmiştir).

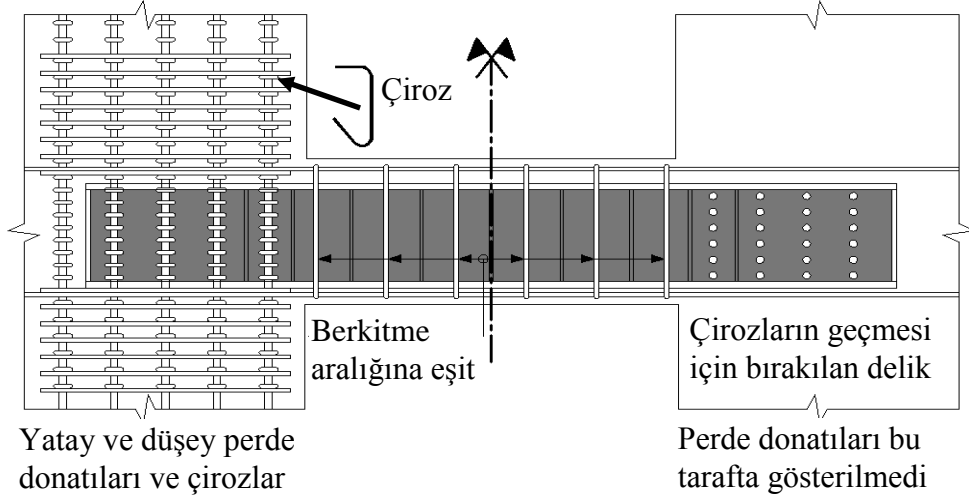
Harries *vd.*, (1992) çelik bağ kirişi kullanılması durumunda oluşacak avantajları aşağıdaki listelemiştir:

- Sistemin süneklik ve enerji tüketim kapasitesini artırır;
- Kiriş gömülme bölgesi iyi derecede detaylandırılırsa süneklik artar;
- Betonarmeye nazaran işçilik hatasını ve olası donatı yığının yerleştirilmesi zorluklarını ortadan kaldırır;
- Bağ kirişte yerel ve yanal burkulmanın önlenmesi durumunda süneklik artar;
- Kalıp işi önemli miktarda azalır.

Bağ kirişler uzunluklarına bağlı olarak sadece kesmeye (kısa bağ kiriş), kesme ile eğilmeye birlikte (orta bağ kiriş) ya da sadece basit eğilmeye (uzun bağ kiriş) çalışırlar. Literatürde genel olarak Kassai ve Popov (1986)'da yaptığı  $e \leq 1.6M_p / V_p$  için kısa bağ kiriş,  $1.6M_p / V_p \leq e \leq 3M_p / V_p$  için orta bağ kiriş,  $3M_p / V_p \leq e$  için uzun bağ kiriş sınıflandırması kabul görmektedir. Harries *vd.*, (1997) uzun bağ kiriş için verilen değeri  $2.6M_p / V_p \leq e$  olarak belirlemişlerdir ve ASCE41 (2006)'da bu değer kabul görmektedir.

#### 2.1.2.4 Kompozit bağ kirişi

Bir başka hibrid bağ kirişi olan kompozit bağ kirişinde, Gong ve Shahrooz (2001a, 2001b), kompozit bağ kirişlerinin etkisini incelemek için yaptıkları deneyler sonucu, çelik kirişlerin betonla örtülmesi/gömülmesi sonucu kesitin kesme kapasitesinin arttığını göstermişlerdir.



Şekil 2.8: Kompozit bağ kirişi (El-Tawil vd., 2009 referansından alınarak çizilmiştir).

#### 2.1.2.5 Çelik ve kompozit bağ kirişinin gömülme mesafesinin hesabı

Birbirlerine çelik bağ kirişi ile bağlanan betonarme perdeli sistemlerde çelik bağ kirişi en önemli enerji yutucu elemandır. Çelik bağ kirişin tüm kapasitesine ulaşır yüksek miktarda sünek davranış gösterebilmesi için gömülme mesafesinin hesabı önem arz eder.

Mattock ve Gaafar (1982) tarafından Şekil 2.9’da gösterildiği gibi  $C_f$  ve  $C_b$  gerilmeleri arasındaki moment koluna bağlı olarak gömülme formülü geliştirilmiştir. Burada  $C_b$  için parabolik bir gerilme dağılımı kabulü yapılmışken,  $C_f$  için  $0.85f_c'$  değerine eşit düzgün dağılım bir gerilme yaklaşımı kabul görmüştür.

$$V_u = 0.9f_b\beta_1b_f l_e \left( \frac{0.58 - 0.22\beta_1}{0.88 + \frac{a}{l_e}} \right)$$

Burada

$$a = M_u/V_u(L/2)$$

$M_u$ : Taşıma gücü kiriş moment kapasitesi

$V_u$ : Taşıma gücü kiriş kesme kuvveti

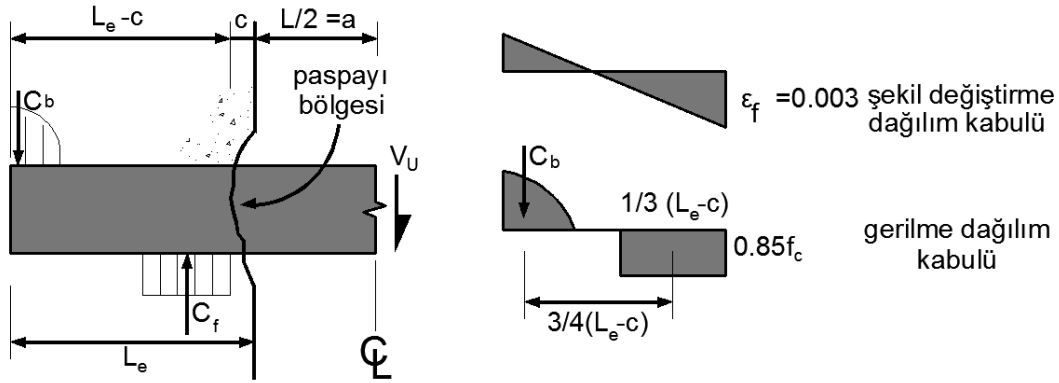
$t_{wall}$ : Perde duvar genişliği

$b_f$ : Kiriş flanş genişliği (Shahrooz vd., 1993)

$\beta_1$ : Ortalama beton basınç gerilmesinin maksimum gerilmeye oranı

$$f_b = 4.5\sqrt{f'_c} \left(\frac{t_{wall}}{b}\right)^{0.66} \text{ (MPa)}$$

$l_e$ : Gömülme uzunluğu



**Şekil 2.9:** Gömülme uzunluk hesabı için Mattock ve Gaafar (1982) yöntemi (Harries vd., 2000 referansından alınarak çizilmiştir).

Mattock ve Gaafar (1982)' in geliştirdiği model dışında

- Kent ve Park (1982) betondaki gerilme dağılımını hesaplarırken başlık bölgesindeki yatay donatı tarafından sağlanan sargı etkisi dikkate alarak;
- Minami (1985) stres dağılımının  $2f'_c$  'ye eşit olacak şekilde gömülme uzunluğu boyunca düzgün bir şekilde dağıldığı düşünerek;
- Marcakis ve Mitchell (1980) gömülme elemanının rijit hareket ettiği varsayımı yaparak

değişik gömülme formülleri önermişlerdir.

Mattock ve Gaafar (1982) tarafından tavsiye edilen formül, önerilen formüller arasında en olumsuz sonucu verdiği ve bu formül Shahrooz *vd.*, (1993) tarafından da kullanıldığı için bu çalışma kapsamında tercih edilmiştir.

## 2.2 Eşdeğer Döşeme Modelleri

Yüksek yapıların tasarımı esnasında kullanılan matematiksel modellerde, döşemelerin kabuk eleman ile modellenmesi oldukça yaygın bir yöntemdir. Ancak kullanılan kabuk ağının detaylı olması ve eleman sayısının fazla olması durumunda, doğrusal ya da doğrusal olmayan çözümlerlerin ya çok uzun sürede tamamlanmasına ya da hiç tamamlanamamasına neden olabilmektedir. Yüksek yapılarda kabuk döşemelerin çubuk elemanlar ile modellendiği eşdeğer çerçeve sistemleri bu soruna yaklaşık bir çözüm olarak kullanılmaktadır.

Eşdeğer çerçeve sistemini modellemek için birçok analitik model mevcuttur (Vanderbilt ve Corley 1983).

Düşey ve yatay yüke maruz kalan döşeme sistemleri genel olarak

- Elastik sonlu elemanlar yöntemi ile;
- Kolonlar arasındaki etkili döşeme genişliğini eğilme elemanları olan kirişler ile temsil eden efektif kiriş genişliği yöntemi ile;
- Eğilme ve burulma elemanlarının birlikte kullanılmasıyla oluşturulan eşdeğer çerçeve yöntemi ile

çözülür (Hwang ve Moehle 2000). Sonlu elemanlar yönteminde kolonlar çubuk elemanlar ile döşeme ise kabuk elemanlar ile temsil edilir. Efektif kiriş genişliği yönteminde kolon ve döşemeler birbirlerini rijit düğüm noktasında birleştirilen çubuk elemanlar ile tanımlanır. Eşdeğer çerçeve yönteminde ise kolon ve döşemeler birbirlerine düğüm noktasında yaylar ile birleştirilen çubuk elemanlar ile bağlanır (FEMA356, 2000).

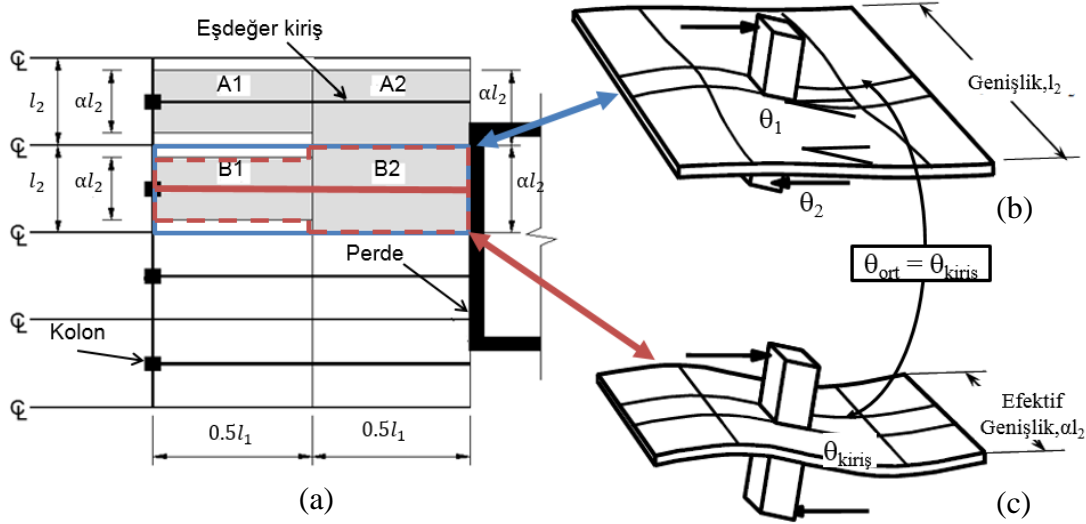
Efektif kiriş genişliği modelinde Pecnold (1975), Allen ve Darvall (1977) ve eşdeğer kolon modelinde ise Corley *vd.*, (1961), Corley ve Jirsa (1970) statik yükler altında klasik kabuk teorisi ve sonlu elemanlar yöntemini kullanarak döşeme kabuk elemanlarının rijitliğini tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu araştırmalarda düşey ve sismik yüklerin birlikte etkimesi altında histeretik davranış ve döşeme sistemlerinin düğüm noktalarındaki moment transfer kapasitesi dikkate alınmamıştır. Günümüzde ise Luo ve Durrani (1995a, 1995b), Grossman (1997), Hwang ve Moehle (2000), Dovich ve Wight (2005) betonarme döşeme sistemlerinde deneysel sonuçlara dayanarak efektif döşeme genişliği ve rijitlik modelleri üzerinde çalışmalarına devam

etmişlerdir. Hueste ve Wight (1997) yapılan bu çalışmalarını art germe döşeme sistemlerine uyarlamıştır.

### 2.2.1 Efektif kiriş genişliği yaklaşımı

Döşeme ve kolon içeren bir sistemde, döşeme tüm genişliği boyunca efektif olarak çalışmaz. Şekil 2.10b'da tipik kolon döşeme bağlantı davranışı gösterilmiştir. Resimde de gözüktüğü üzere düğüm noktasının dönmeye maruz kaldığı sırada kolon kenarındaki döşeme kolonlar birlikte dönerken, döşemenin daha uzaktaki parçası aynı dönmeyi gerçekleştiremez.

Bazı basit modellerde gerçek döşeme Şekil 2.12c' de görüleceği gibi kendi yatay genişliği boyunca düzgün bir şekilde dönecek döşeme-kiriş elemanları ile değiştirilir. Burada kiriş derinliği gerçek döşeme ile aynı alınırken kiriş genişliği ise döşemenin yatay genişliğinin belirli bir kısmını ifade edecek şekilde modellenir (Hwang ve Moehle 2000).



**Şekil 2.10:** Eşdeğer kiriş konsepti (ATC72, 2010 ve ASCE/SEI 41 Supplement 1 referanslarından alınarak hazırlanmıştır).

#### 2.2.1.6 Elastik Efektif Genişlik

Banchik (1987) sonlu elemanlar tekniği kullanarak efektif genişlik çözümleri sunmuştur. Bu çözümler kare kolonların orta, kenar ve köşe birleşimleri için ayrı ayrı uygulanmıştır.



Hwang ve Moehle (2000) tarafından elastik efektif döşeme genişliği için aşağıdaki formüller önerilmiştir.

Orta kolon kiriş birleşimleri için,

$$b = \alpha l_2 = c_1 + l_1/3 \quad (2.1)$$

Kenar kolon kiriş birleşimleri için,

$$b = \alpha l_2 = c_1 + l_1/6 \quad (2.2)$$

Burada;

$c_1$ : Kolonların hesap doğrultusundaki boyutu

$l_1$ : Hesap yapılan doğrultudaki açıklığın merkezden merkeze uzaklığı

$b$ : Elastik efektif kiriş genişliği

$\alpha l_2$ : Elastik efektif kiriş genişliği

Yukarıdaki denklemlerde verilen formüller döşeme kiriş elemanlarının rijit bir şekilde birleştiği varsayımı altında yapılmıştır. Eğer çubuk eleman modellerinde rijit düğüm noktası yoksa denklem (2.1) ve denklem (2.2) de verilen değerler,

$$1/(1 - \frac{c_1}{l_1})^3 \quad (2.3)$$

katsayısı ile çarpılarak değiştirilir.

Yatay açıklık mesafesinin, ( $l_2$ ), yanal yükler altında ki döşeme elemanlarının rijitlik üzerindeki etkisi çok azdır. Mesafenin artması yanal rijitliği oldukça az artırmaktadır Mehraind and Aalami (1974), Pecknold (1985) ve Allen and Darvall (1977).

### 2.2.1.7 Çatlamanın Rijitlik üzerindeki Etkisi

Yatay yer değiştirmeler moment dağılımını önemli derecede etkiler. Bu nedenle çatlamanın yapı sistemlerinin rijitliğinde yapacağı değişiklikler önemli olur.

Sismik analizin gerekliliği olarak dayanımın, histeretik davranışın ve doğrusal olmayan rijitliğin analitik modelde dikkate alınması gerekir. Yapısal modeller üzerindeki yetersiz deney verisi eksikliğinden dolayı Vanderbilt and Corley (1983) döşeme rijitliğinde alt sınır değer olan, tüm kesit alanının 1/3 değerini önermişlerdir. Daha ileriki araştırmalarda Hwang and Moehle (2000) alt sınır değerine göre daha kritik sonuç veren aşağıdaki formülü önermişlerdir.

$$\beta = 4c_1/l_1 \geq 1/3 \quad (2.4)$$

Art germe döşeme sistemlerinde çatlamanın daha az meydana gelmesinden dolayı  $\beta$  değerinin daha büyük bir sayı alınması uygun olur. Kang and Wallace (2005)

tarafından yapılan analitik çalışmalar efektif giriş genişliği modelinde,  $\alpha$  değeri için 0.75 ve 0.70 ve  $\beta$  değeri için 1/3 ve 2/3 arasında değerleri kullanmak deneysel ve analitik verilerle uyum göstermiştir..

Tezdeki bu çalışmada  $\beta$  değeri olarak Vanderbilt and Corley (1983) tarafından önerilen ve Kang and Wallace (2005) tarafından deneysel olarak doğrulanan 1/3 değeri kullanılmıştır.

### **2.3 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Teoriye Göre Modellemesi**

Betonarme ve çelik yapıların tasarımında doğrusal olmayan davranışın kullanılması uzun yıllara dayanmaktadır. Ancak, modern teknolojinin gelişerek daha ayrıntılı sayısal hesabı mümkün kılması ve tasarımda doğrusal olmayan analizin yapılmasına olanak tanınmasıyla birlikte doğrusal olmayan davranışın daha ayrıntılı ve gerçekçi biçimde göz önüne alınması ve modellenmesi gibi hedefler ortaya çıkmıştır. Ayrıca, güvenilir bir doğrusal olmayan analiz için yapının göçmeye kadar olan ve elastik olmayan limit durumlarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi de büyük bir önem arz eder. Günümüze kadar elastik olmayan elemanların davranışını idealize edebilmek için birçok model geliştirilmiştir. Bu bölümde de, yapı elemanlarının doğrusal olmayan teoriye göre çözümlenmelerinde nasıl modellendikleri üzerinde durulacaktır.

#### **2.3.1 Plastik mafsallı modeli**

Malzeme bakımından doğrusal olmayan yapı sistemlerinde elemanların belirli bir dayanım kapasitesi mevcuttur. Eleman üzerindeki yük değerleri arttıkça rijitliklerinde azalma olur ve dayanım değerlerine ulaşırlar. Dayanım değerine ulaşan eleman sabit sayılabilecek yük değeri altında kalıcı deformasyonlar yapmaya başlar ve bu durum eleman daha fazla yük taşıyamayacak yani deformasyon yapamayacak duruma gelene kadar devam eder. Doğrusal olmayan analizde bu davranış *plastik mafsallar* yoluyla modellenir. Literatürde plastik mafsallara örnek olarak bir çok çalışma vardır (Clough vd. (1965), Giberson (1967), Nigam (1970), Porter ve Powell (1971), Takizawa Aoyama (1976), Orbison (1982), Hilmy ve Abel (1985), Powel ve Chen (1986) ve Zhao (1993).

Doğrusal olmayan davranışın olduğu varsayılan bölgenin eleman yüksekliği boyunca yayılı olarak veya yoğunlaşmış bir bölge olarak dikkate alınması durumuna göre *yayılı* ve *yığılı plastik davranış* kabulleri bulunmaktadır.

Yığılı plastik davranış kabulünde bütün plastik şekil değiştirmelerin sonlu uzunluktaki bir bölgede toplandığı ve bu bölgede şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde meydana geleceği varsayılmaktadır. Bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal

elastik davrandığı varsayılır. Bu modelde plastik mafsalsal, elemanın kuvvet-şekil değiştirme ilişkisini fenomenolojik olarak tarif eden, deneysel çalışmalardan elde edilen azalım kurallarını ve mühendislik mekaniğinin ilkeleri ile belirlenen moment eğrilik ilişkisini içeren dönen yaylar ile temsil edilir. Şekil değiştirme ölçümü de mafsalsalın dönmesine bağlı olarak yapılır. Plastik mafsalsal doğrusal olmayan analiz modellerinde rijit plastik mafsalsal veya eğrilik mafsalsal olarak iki ayrı şekilde tanımlamamız mümkün.

Rijit plastik mafsalsal konseptinde eleman akma kuvvetine gelinceye kadar herhangi bir şekil değiştirmeye uğramaz. Mafsalsal başlangıçta sonsuz rijit kabul edilir ve mafsalsalın akma kuvvetine ulaştıktan sonra döndüğü varsayılır.

Eğrilik mafsalsalında ise kuvvet deformasyon ilişkisi mafsalsaldaki dönme yerine eğilmeye bağlı olarak hesaplanır. Mafsalsalda akma kuvvetine kadar dönme oluşmayacağı ancak eğrilik oluşacağı aşikârdır. Oluşan bu eğrilikten dolayı başlangıçta sonsuz rijitlik yerine belirli bir rijitlik değeri alınır.

### 2.3.2 Yayılı plastik mafsalsal modeli

Yığılı plastik mafsalsal modelinde plastik deformasyonların sonlu uzunluktaki bir noktada toplandığı varsayımı yapılmıştı, yayılı modelde ise plastik şekil değiştirmelerin eleman uzunluğu boyunca belirli bir plastik bölgeye yayıldığı varsayımı yapılmıştır. Bu bölge analiz modellerinde sabit bir değer olarak alınarak eğilme mafsalsal veya fiber elemanlar tarafından modellenir.

Yayılı mafsalsal modelini kullanırken karşılaştığımız en büyük zorluk plastik mafsalsal boyunun ne olacağıdır. Gerçek bir kiriş veya kolon davranışında plastik mafsalsal boyu yükün değişimine göre devamlı bir şekilde değişir. Ancak analiz modelinde bu değişimi hesaba katmak pek pratik olmayacağı için plastik mafsalsal boyun hesabı için bazı araştırmacılar tarafından belirli formüller geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanları Park ve Pauley (1975), Pauley ve Priestley (1992), Fardis and Biskinis (2003) 'de geliştirdikleri formüllerdir. Betonarme konsol bir kolon için Pauley ve Priestley' in geliştirdikleri formül aşağıda verilmiştir.

$$L_p = 0.08 L + 0.022 d_b f_y \quad (\text{MPA}) \quad (2.7)$$

Burada,  $L_p$  plastik mafsalsal boyu,  $L$  konsol uzunluğu,  $d_b$  betonarme donatı çapı,  $f_y$  çelik akma dayanımını göstermektedir. Yapılan araştırmalarda tipik bir kolon, kiriş elemanlarında yukarıdaki denklem yaklaşık olarak aşağıdaki formülü verdiği görülmüştür:

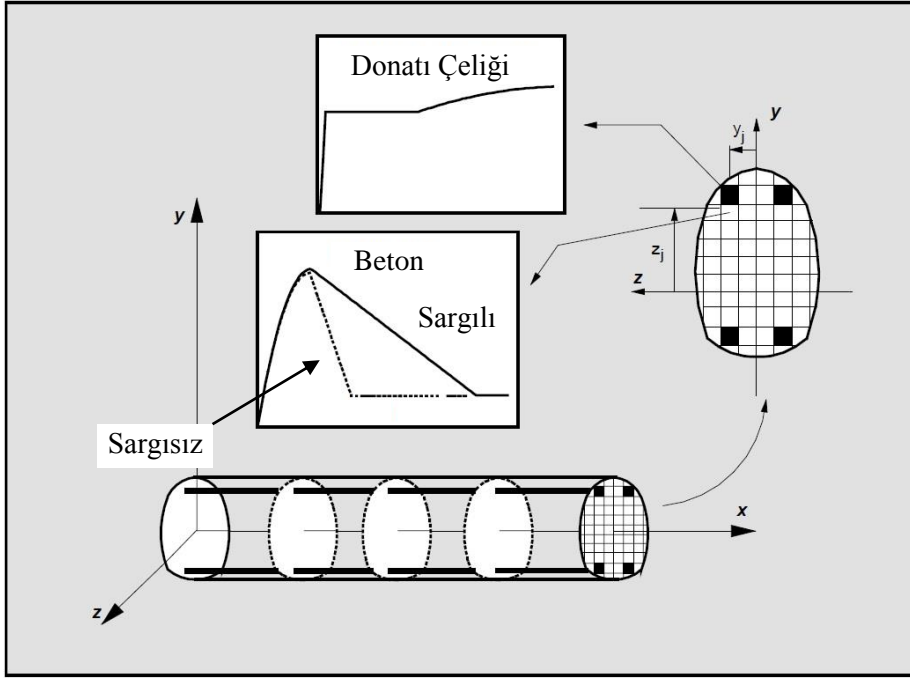
$$L_p = 0.5D \quad (2.8)$$

Burada,  $D$  elemanın eğilme eksenine dik derinliğidir.

Analizde tutarlılık için elastik bölgedeki parçaların eğilme rijitliği eğilme mafsalındaki bileşenlerin başlangıç rijitliklerine eşit olmalıdır.

### 2.3.3 Fiber

Perde duvarlarda genellikle doğrusal olmayan davranışı modellemek için fiber elemanlar kullanılır. Şekil 2.11’ de görüldüğü gibi dikdörtgen bir betonarme duvar kesiti beton ve çelik liflerinin toplamı olarak tanımlanır. Perde duvarların düzlem içi rijitliği, düzlem dışı rijitliğine oranla çok fazla olduğundan sadece düzlem içi rijitlik tanımlanır. Düzlem dışı rijitlik ise göz ardı edilebilir. Betonarme duvarın düzlem içi rijitliğini modelleyebilmek için duvarı tek yönde belirli sayıda parçaya bölmek gerekir. Her bir parça, tüm özellikleri geometrik merkezine toplanmış bir lif olarak çalışır. Bu liflerde sadece aksel davranış tanımlanır ve tüm kesitin eğilme davranışı tüm bu liflerin uzama-kısalma ilişkileri ile tanımlanabilir. Bu kesit eğilme davranışının ile liflerin uzama-kısalma ilişkileri ile tanımlanabilmesi için düzlem kesitlerin düzlem kalacağı kabulü ve eğilme momenti altında gerilme dağılımının lineer olacağı kabulü yapılır.



Şekil 2.11: Fiber modeli (ATC72, 2010'dan alınmıştır).

Kesitte tanımlanan beton ve çelik liflerin uzama kısalma rijitlikleri, kesit eğilme rijitliğini oluşturur. Her bir fiber belirli bir uzunluğa sahiptir ve uç uca eklenerek elemanı meydana getirir. Fiberlerin uzama-kısalma davranışları ve rijitlikleri, yani

malzeme modeli, ne kadar hassas tanımlanır ise kesit davranışı da gerçeğe o kadar yakın elde edilebilir.

Fiber kesit modelinin, plastik mafsal modeline göre bazı avantajları vardır. Bunlar;

- Modelin doğası gereği, aksenal kuvvet ve eğilme davranışı arasındaki etkileşim zaten elde edilmiş durumdadır,
- Eğilme davranışı boyunca tarafsızlık ekseninin hareketi hesaba katılır,
- Her bir fiber elemanın uzama-kısalma davranışı elde edildiğinden, daha detaylı ve hassas hasar kontrolü yapılabilir.

Fiber kesit modeli, sadece aksenal davranışları içerdiğinden, elemanda kayma ve burulma davranışı elastik kabul edilir. Eğer detaylı bir sonuç isteniyorsa bu etkiler için ayrı olarak plastik mafsal tanımlanmalıdır.

## 2.4 Enerji Sönümlenme

Yapısal sistemlere deprem ve rüzgar sırasında büyük miktarda enerji girişi olur ve bu enerji dinamik davranış altında enerji prensipleriyle açıklanabilir şekilde başka bir enerji formuna dönüşür (Denk. 2.9).

Günümüzdeki konvansiyonel binalarda bu enerjinin büyük bölümü yapısal elemanların şekil değiştirmeleri ve deformasyona uğramaları yani hasar almaları veya yıkılmaları sonucu başka bir enerji formuna dönüşmektedir. Bu tür yapılarda bazen hasar seviyesinin kabul edilemez boyutlara ulaşması veya yapısal elemanlarda oluşacak hasar seviyelerinin düşürülmesinin istenmesinin sonucu böyle sistemlerde ek elemanlar kullanımı gündeme getirilmiş ve bu sayede enerjinin bu ek elemanlar tarafından yutulması sağlanmıştır. Pratikte bu tür elemanlara ek enerji sönümlenme elemanları yani sönümleyiciler denilmektedir.

$$E_L = E_S + E_K + (E_{DD} + E_{ES}) + E_H \quad (2.9)$$

Burada

$E_L$ : Yapıya giren enerji

$E_S$ : Yenilenebilir şekil değiştirme enerjisi

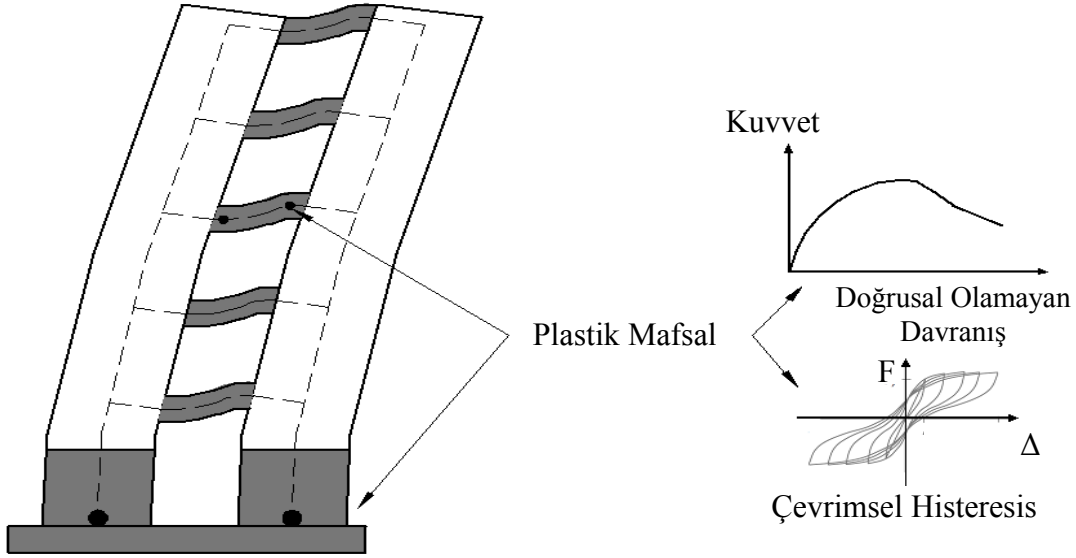
$E_K$ : Yapının kinetik enerjisi

$E_{DS}$ : Yapının doğal sönümü

$E_{ES}$ : Ekstra sönüm

$E_H$ : Histeretik sönüm

Yapının depremden sonra göçmemesi için sönümleyebildiği enerjinin depremin isteminden daha fazla olması gerektiği düşünülebilir. Geleneksel sismik tasarımda enerji talebi yapının doğrusal olmayan deformasyonlar sonucu oluşturduğu histeretik enerji,  $E_H$ , tarafından sönümlenir. Yapının depreme karşı direnci ekstra enerji yutma özelliğine sahip özel elemanlar kullanılarak artırılabilir. Bu elemanlar orta ölçekli depremden rijit eleman olarak davranarak yapısal deformasyonları azaltırken, şiddetli depremler altında önemli derecede enerji yutarak yapısal deformasyonları sınırlandırır. Bu sayede yapısal elemanlar korunarak deprem hareketi altında daha iyi performans elde edilir.



**Şekil 2.12:** Histeretik enerji gösterimi (Erkus, 2012'den referans alınarak hazırlanmıştır).

**Çizelge 2.2:** Enerji sönüm kaynakları (Erkus, 2012'den referans alınarak hazırlanmıştır).

Yapı bileşenleri		Davranış	Matematik model	Enerji sönümleme
Ana yapısal elemanlar		Doğrusal olmayan histeretik davranış	Kuvvet-Deformasyon	Yapısal histeretik enerji
Yapısal ve yapısal olmayan elemanlar		İçsel davranış	Kuvvet-Hız	İçsel sönüm veya içsel enerji
SEDD	Deplasmana bağlı (Histeretik)	Doğrusal olmayan histeretik davranış	Kuvvet-Deformasyon	Ek sönüm
	Hıza bağlı (SEDD)	Viskoz	Viskos Dashpot	Ek sönüm
		Viskoelastik	Viskoz Dashpot + Doğrusal yay	Kuvvet-Hız & Kuvvet-Deformasyon

Yüksek yapılarda sönümü artırmak için ek sönümleyicilerin kullanılması oldukça yaygın bir yöntemdir. Geçtiğimiz son otuz yılda birçok enerji sönümleme sistemleri geliştirilmiş ve bunlardan bazıları yüksek bina tasarımlarında kullanılmıştır;

Deplasmana bağlı sönümleyiciler:

- Sürtünmeye dayalı sönümleyiciler (İng. Friction ampers);
- Metallerin akmasına dayalı sönümleyiciler (İng. Metallic yielding dampers);

Hıza bağlı sönümleyiciler:

- Visko-elastik sönümleyiciler (İng. Visco-elastic dampers);
- Viskoz sönümleyiciler (İng. Fluid viscous dampers);

Diğer sönümleyiciler,

- Ayarlı kütle sönümleyiciler (İng. Tuned mass damper).

Sönümleyici kullanmanın avantajlarından kısaca bahsetmek gerekirse;

- Yapının kullanımındaki kesintiyi en aza indirmek;
- Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda deformasyon hasarını azaltmak;
- Tasarım kuvvetlerini azaltmak;

#### **2.4.1 Sürtünmeye dayalı sönümleyiciler**

Birbirlerine temas eden iki yüzeyin göreceli olarak hareket etmesi sonucu meydana çıkan kuvvet sürtünme olarak bilinir. Sürtünme kuvvetinin en önemli özelliği ise gelen enerjiyi ısıya çevirerek enerji sönümlemesidir. Bu tür bir prensiple çalışan sürtünmeye dayalı sönümleyiciler deprem enerji girişine maruz kalan yapılarda kullanıldığı zaman yanal salınımı artırarak deprem kuvvetlerini, yapısal deformasyonları ve yapının süneklik gereksinimini azaltırlar.

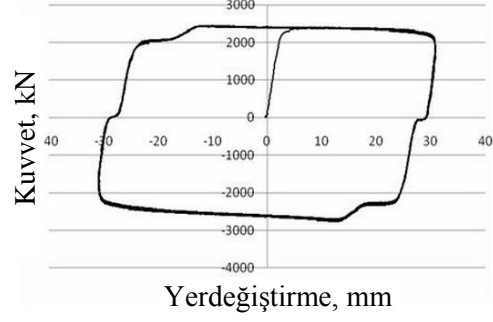
Sürtünmeye dayalı sönümleyici kullanmanın avantajları

- Kuvveti sınırlandırır;
- İnşası kolaydır;
- Diğer sönümleyici cihazlara göre daha ucuzdur;
- Mekanik parçaları bulunmaz.

Sürtünmeye dayalı sönümleyici kullanmanın dezavantajları;

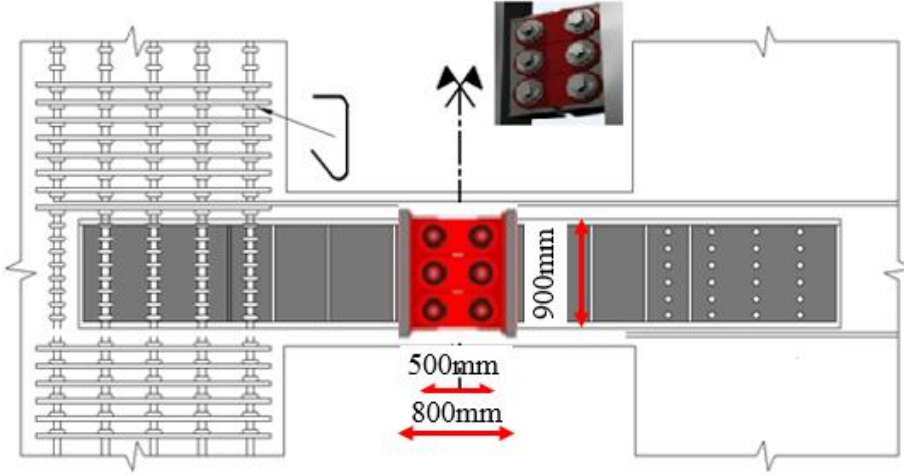
- Yüksek derecede doğrusal olmayan davranış göstermesi,
- Akma öncesi düşük genlikli salınımlarda sisteme rijitlik katması,
- İstenmeyen kalıcı deformasyonların oluşma ihtimali.

Yukarıda bahsedilen dezavantajlar klasik sürtünmeye dayalı sönümleyiciler için geçerlidir. Bu tez kapsamında kullanılan dönme sürtünmesine dayalı sönümleyicilerde yukarıdaki dezavantajlar söz konusu değildir. Şekil 2.13’de Damptech firması tarafından üretilen sürtünmeye dayalı sönümleyici ve bu sönümleyicinin deney sonrası elde edilen histeresisi görülmektedir.



Şekil 2.13: Sürtünmeye dayalı sönümleyici (Damptech).

Şekil 2.14’ de bu çalışmada kullanılan, Damptech firması tarafından bağ kirişleri yerine kullanılmak için üretilen sürtünmeye dayalı örnek bir sönümleyici görülmektedir. 200 ton kapasiteye sahip bu sönümleyici, her biri yaklaşık 60-70 ton kapasiteye sahip 3 ayrı plakadan oluşmaktadır. Her plaka 300 mm yüksekliğe, 1200 mm açıklığa ve 500 mm genişliğe sahiptir. Sönümleyicinin kapasitesi plaka sayısına bağlı olarak istenilen seviyelere ayarlanabilir.



Şekil 2.14: Sürtünmeye dayalı sönümleyicinin bağ kiriş olarak kullanımı.

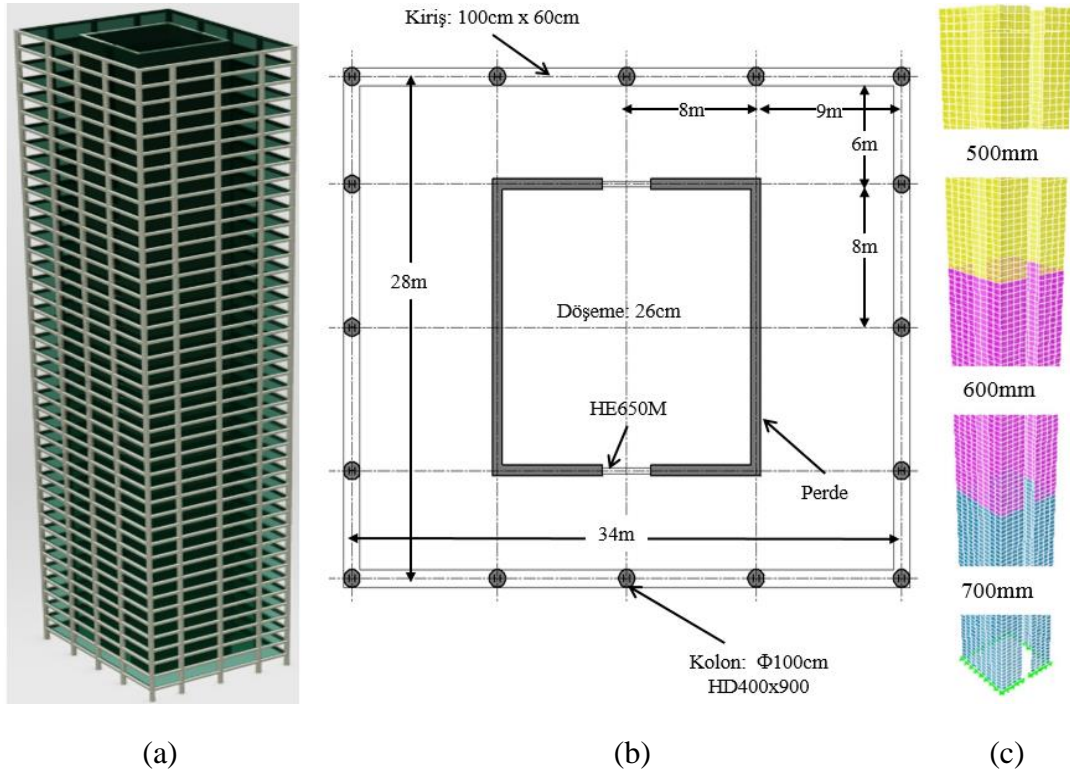


### 3. TEST BİNASI

Bölüm 3.1’ de test binası hakkında genel bilgiler verilirken, Bölüm 3.2’ de taşıyıcı sistem hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 3.3’ te test binası tasarımında ve doğrusal olmayan zaman tanım alanı hesaplarında kullanılan depremsellik verileri hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 3.4’ te kullanılan deprem kayıtlarının nasıl ölçeklendirildiği anlatılmıştır. Bölüm 3.5’ te kabuk elemanların eşdeğer kirişlerle nasıl modellendiği üzerinde durulmuştur. Son olarak Bölüm 3.6’ da orijinal model ile kabuk model arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

#### 3.1 Tasarım

Bu çalışmadaki yüksek yapının tasarımı, İstanbul / Şişli ilçesi, Mecidiyeköy Mahallesi mevkiinde inşa edilen yüksek bir yapı örnek alınarak yapılmıştır. Projenin kalıp planları doğrusal olmayan modelleme aşamasında kolaylık sağlaması için basite indirgenmiştir. Tasarımı yapılacak binanın yüksekliği 163.4m olup toplamda 43 normal kattan oluşmaktadır. Planda dikdörtgen bir yapıya sahip ofis binası basite indirgenmiş hali ile yaklaşık 952 m<sup>2</sup> ‘lik tip kat alanına sahiptir. Kat yükseklikleri tüm katlarda 3.8m alınmıştır. Yapının bodrum katları analiz safhasında hesaba katılmamıştır. B grubu zemin üzerinde inşa edilecek yapının tasarımı yerli ve yabancı yönetmelik ve kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1: Test binası: (a) 3D görünüş; (b) Tipik kalıp planı; (c) Perde görünüş.

### 3.2 Taşıyıcı Sistem Tanımı

#### Çekirdek Perdeler

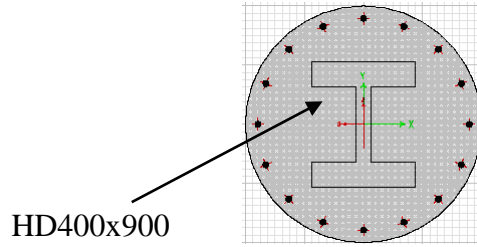
Betonarme çekirdek perdelerin tasarımı yapıya etkiyen deprem ve rüzgar gibi yanal yüklerin %90 'ını karşılayacak şekilde yapılmıştır. Bu doğrultuda temel üstünde perde kalınlıkları 70 cm ile sınırlandırılmıştır. Üst katlarda ise performans dayalı tasarım ilkeleri doğrultusunda perde kalınlıkları azaltılarak daha elverişli çözümler elde edilmiştir. Katlara göre çekirdek perde kalınlıkları,

- -12.00 ile +57.00 kotları arası 700 mm
- +57.00 ile +114.00 kotları arası 600 mm
- +114.00 ile +163.4.00 kotları arası 50m mm

#### Kompozit Kolonlar

Kolonlar, yanal sistemin parçası olarak düşünülmemesine rağmen, tasarımı deprem yüklerinin %25 karşılayacakmış gibi yapılmıştır. Doğrusal olmayan analizde kolaylık sağlamak maksadıyla gerçekte tasarımı yapılmış yapı içerisinde değişken olan kompozit kolonlar test binasında tek tip olarak seçilmiştir.

- 100x100 kompozit kolonlar HD400x900



Şekil 3.2: Kompozit kolon (Section Designer).

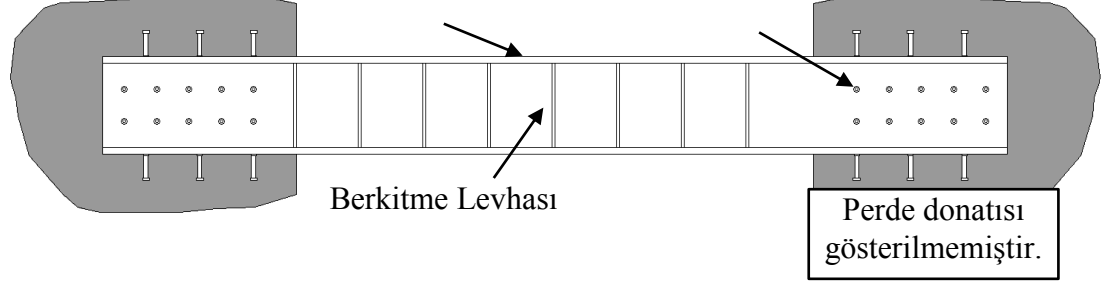
#### Kirişler

Kat çerçevesinde yer alan ana çerçeve kirişleri 100x60cm ebatlarında seçilmiştir. Tipik olarak seçilen bu kirişlerin yanal sisteme katkısı olduğu gibi mantar döşeme sisteminde kolonlarda oluşabilecek zımbalama sorununu da ortadan kaldırmaktadır. Bundan dolayı eşdeğer kiriş elemanlar için doğrusal olmayan analizde burulma elemanları tanımlanmamış kolonlarda zımbalama etkisi dikkate alınmamıştır.

#### Bağ Kirişleri

Yapının deprem davranışı sırasında, bölüm 2.1.1' de anlatıldığı üzere perdeler arası etkileşimi sağlayan bağ kirişlerinde büyük şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Bu elemanların yeterli sünekliği sağlaması için betonarme tasarımında yüksek miktarda donatı yerleşimi ve buna bağlı olarak büyük eleman boyutları ortaya

çıkılmaktadır. Bunun yerine, istenilen şekil değiştirmelere çok daha küçük tek bir eleman ile karşı koyabilmek ve mimari kat yüksekliğinin sınırlandırılmış olmasından dolayı bağ kirişlerinde, inşası yapılmış yapının tasarımında, yapısal çelik elemanlar kullanılmıştır. Tüm katlarda çelik bağ kirişi olarak HE650M' kullanılmıştır. Bağ kirişleri, ETABS programında kabuk elemanlar yerine çubuk elemanlar yardımıyla modellenmiştir.



**Şekil 3.3:** Çelik bağ kirişi.

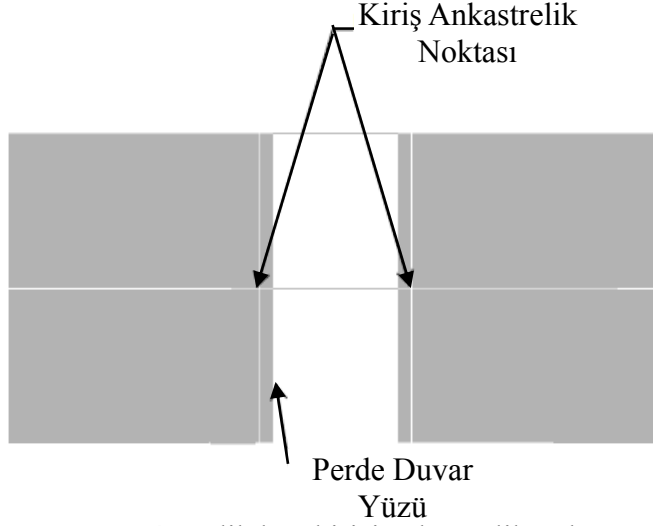
Shahrooz *vd.*, (1993), Gong *vd.*, (1998), Harries *vd.*, (1977) yaptıkları deney sonuçlarına göre; çelik veya kompozit çelik kirişlerin perde duvar yüzünde bağlantıları tam anlamıyla ankastre değildir. Yanal ötelenmenin ve perde duvara gelen kuvvetlerinin yeterli doğrulukta hesaplanabilmesi için, tam anlamıyla oluşmayan bu ankastrelik davranışının analiz modellerinde yapıya bir miktar daha esneklik verilerek hesaba katılması gerekmektedir. Shahrooz *vd.*, (1993), Gong *vd.*, (1998), deney sonuçlarına dayanarak analiz modellerindeki efektif ankastre noktasının kiriş gömülme uzunluğunun 1/3' ü olarak alınarak bu esnekliğin verilmesini tavsiye etmişlerdir.

$$g = g_{\text{temiz}} + 0.6l_e \quad (3.1)$$

Burada,

$g_{\text{temiz}}$  : Perdeler arasındaki net açıklık,

$l_e$ : Gömülme uzunluğu.



**Şekil 3.4:** Çelik bağ kirişi ankastrelik noktası.

Tasarımı yapılacak yapının ön tasarım aşamasında gömülme uzunluğu bilinmemektedir. Çelik bağ kirişin rijitliğinin azaltılmasınınını buna bağlı olmasından dolayı, ön tasarım yapılırken çelik kirişin efektif rijitliği (kesme ve eğilme bileşenleri) orijinal rijitliğinin %60 'ı kadar alınabilir (Harries vd., 1997).

### 3.3 Depremsellik

#### 3.3.1 Tasarım esaslı deprem yer hareketi

Deprem kuvvetlerinin belirlenmesi ve hesaplara nasıl dahil edileceği hakkındaki kurallar Bayındırlık bakanlığı ve İstanbul büyükşehir belediyesi tarafından ayrı olarak hazırlatılan depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliklerinde belirlenmiştir.

##### 3.3.1.1 Genel yaklaşım

Türk deprem şartnamesinde ve uluslararası kapsamı olan güncel deprem şartnamelerinde deprem tasarımı bazlı yer hareketinin elde edilmesinde aşağıdaki esaslar geçerli olmaktadır.

*Türk deprem şartnamesinde* (DBYYHY, 2007), tek seviyeli bir tasarım öngörülmektedir. Tek seviyeli tasarımdan kasıt, tek performans seviyesini tanımlayan tek bir tasarım depreminin kullanılmasıdır. Türk yönetmeliğinde tasarıma esas deprem hareketi, aşılma olasılığı 50 yıllık süre için %10 olan yer hareketi olarak kabul edilmektedir.

Tasarıma esas olarak alınan spektral ivme, (Etkin Yer İvmesi Katsayısı, diğer bir deyişle deprem bölgesi katsayısı) %5 sönüm oranı için elastik tasarım ivme spektrumu ile ilişkili olarak bulunmaktadır. Bu deprem hareketi altında şartname hükümlerine

göre tasarımı ve inşası yapılan bir binada ‘Can Emniyeti’ düzeyine tekabül eden bir performans öngörülmektedir.

*İstanbul yüksek yapılar deprem yönetmeliğinde* (İYBDY, 2008); Boğaziçi üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı tarafından İstanbul Büyükşehir Belediyesi için hazırlanmış bulunan İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği kapsamında yüksek binaların performansa göre tasarımında esas alınacak deprem düzeyleri aşağıda tanımlanmıştır.

(D1) deprem düzeyi, yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı fazla olan, görece olarak sık ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketini ifade etmektedir. (D1) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen ortalama dönüş periyodu ise 72 yıldır.

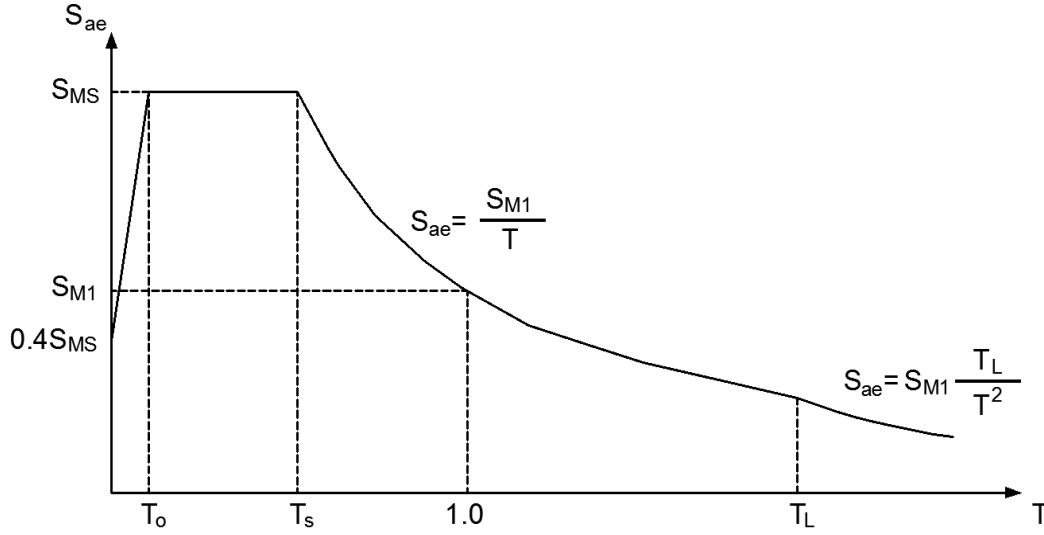
(D2) deprem düzeyi, yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (D2) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen ortalama dönüş periyodu ise 475 yıldır.

(D3) deprem düzeyi, yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların maruz kalabileceği en şiddetli deprem yer hareketini ifade etmektedir. (D3) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşı gelen ortalama dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

### **3.3.2 Tasarım esaslı ivme spektrumu**

Test binasının deprem tasarımı, proje sahası ile ilgili özel bir firma tarafından gerçekte yapılan çalışma ve raporlar sonucu elde edilen bilgiler altında gerçekleştirilmiştir. Bu rapora göre temel zemini DBYYHY(2007) kapsamında zemin grubu B1, yerel zemin sınıfı ise Z1 olarak nitelendirilen ve İYBDY(2008) veya IBC(2006) şartnameleri kapsamında “B/C” arası zemin sınıfına ( $V_s = 360\text{m/s}$ ) eş düşen sınıf olarak belirlenmiştir.

Tasarım esaslı davranış spektrumunun elde edilmesi için İYBDY (2008) deprem şartnamesinde 0.2s ve 1sn periyotlarındaki zemin-bağımlı spektral genliklere ( $SA(0.2s)$  ve  $SA(1s)$ ) dayalı olarak elde edilen ivme spektrumları kullanılmıştır. Bu aşamada yerel zemin koşullarının spektral ivmeler üzerindeki etkisinin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla anılan şartnamelerde yer alan spektral ivme modifikasyon katsayıları kullanılabilir. Ancak tasarımı yapılacak bina için referans alınan zemin koşullarından elde edilen spektral ivmelerde herhangi bir azaltma yapılmamıştır.



Şekil 3.5: İYBDY (2008) Tasarım ivme spektrumu.

Deprem senaryoları için kullanılacak tasarım spektrumu parametreleri Çizelge 3.2' de verilmiştir. Bu çizelgedeki parametreler kullanılarak elde edilen tasarım ivme spektrumları Şekil 3.6' da gösterilmiştir.

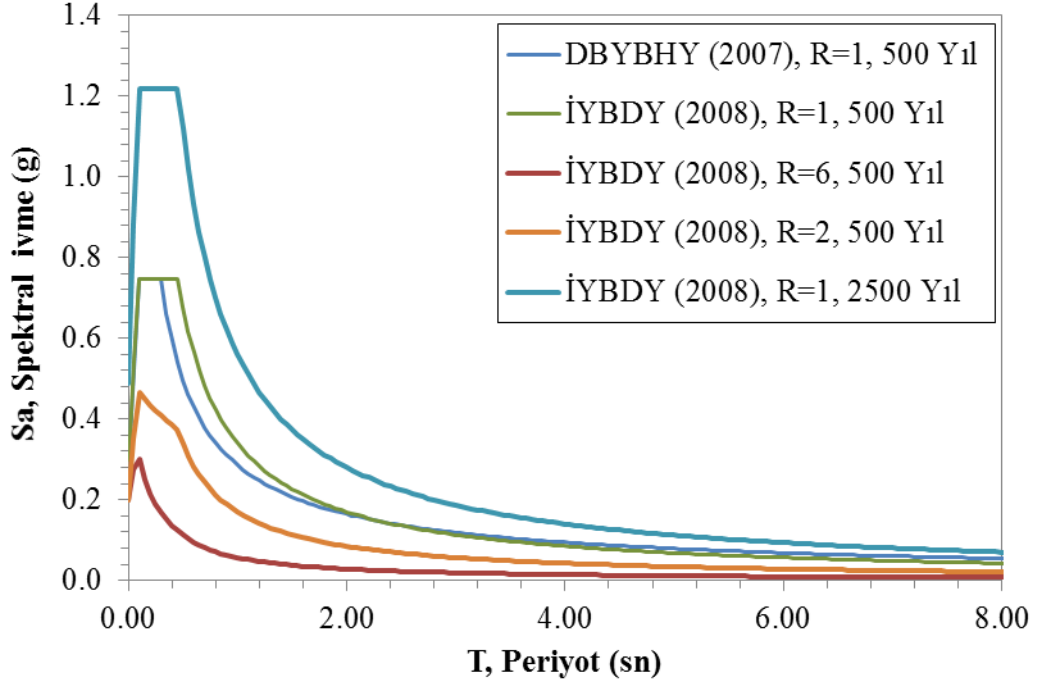
Çizelge 3.1 : Probabilistik en büyük yer ivmesi ve spektral ivme değerleri

PROBABİLİSİK ENBÜYÜK VE SPEKTRAL İVME DEĞERLERİ (V <sub>s30</sub> = 760 m/s)				
TASARIM DEPREMİ	ORTALAMA YİNELENME SÜRESİ - Aşılma Olasılığı	ENBÜYÜK YER İVMESİ	SPEKTRAL İVME	
			S <sub>s</sub> =0.2s	S <sub>1</sub> =1.0s
D1-Depremi	72 Yıl – 50 yılda %50	0.135g	0.33g	0.125g
D2-Depremi	475 Yıl – 50 yılda %10	0.31g	0.75g	0.34g
D3-Depremi	2475 Yıl – 50 yılda %2	0.45g	1.22g	0.56g

Çizelge 3.2: İYBDY (2008) ve DBYBHY (2007) tasarım spektrum değerleri.

İYBDY		DBYBHY2007	
Zemin Grubu	B/C	Zemin Grubu	Z2
R <sub>x,y</sub>	6	R <sub>x,y</sub>	6
Sönüm	5%	Sönüm	5%
F <sub>a</sub>	1	Bölge	2
F <sub>v</sub>	1	A <sub>0</sub>	0.3
S <sub>s</sub>	0.75	T <sub>A</sub>	0.10
S <sub>1</sub>	0.56	T <sub>B</sub>	0.30
S <sub>MS</sub>	0.75		
S <sub>M1</sub>	0.56		

Aşağıda İYBDY (2008)' e göre D2 depremi için bulunan tasarım ivme spektrumu değerlerinin DBYBHY (2007)' de verilen tasarım ivme spektrumu değerlerinden küçük olup olmadığı kontrol edilmiştir.



Şekil 3.6: D1, D2, D3-Depremleri için hesaplanan eş-risk tasarım spektrumu.

### 3.4 Zaman Tanım Alanında Analiz

#### 3.4.1 Zaman tanım alanı analizinde kullanılacak deprem kayıtlarının belirlenmesi

Zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinin yapılabilmesine olanak sağlayan deprem kayıtlarının elde edilebilmesi için üç farklı kaynaktan bahsetmek mümkündür:

- Yapay yollar kullanılarak benzeştirilmiş kayıtları,
- Kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş kayıtlar
- Gerçek depremlerden elde edilen ivme kayıtları.

Gerçek deprem kayıtlarının yer hareketlerinin özellikleri (genlik, faz ve frekans içeriği) hakkında bilgiler içermelerinden dolayı diğer yöntemlere göre önemli bir üstünlük kurar.

Deprem kayıtlarının seçilmesinde, depremin büyüklüğü, süresi, faylanma tipi, en büyük yer ivmesi yırtılma yönü, yerel zemin koşulları ve kaydın spektral içeriği önemli belli başlı parametreleri oluşturmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan deprem kayıtlarının seçiminde Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (İng. Pasific Earthquake Engineering Research center-PEER) veri bankasındaki kayıtlardan yararlanılmıştır.

Deprem sırasında kayıt edilen verilerin genel olarak tasarım spektrumuna uyumlu olmamasından dolayı, gerçek deprem kayıtlarının, tasarımda kullanılan ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Literatürde birçok ölçeklendirme yöntemi mevcuttur. Bu yöntemlerin bir bölümü ivme sinyalinin frekans içeriğinin değiştirilmesi esasına dayalıdır ve genellikle konu hakkında uzman kişiler tarafından yapılmaktadır. Diğer yöntemler ise, kayıtların bir skalar ile ölçeklendirilmesine dayalıdır ve uygulaması basit programalar ile sağlanabilmektedir.

Deprem ivmelerinin ölçeklendirilmesinde genel olarak aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır:

- Zaman tanım alanında ölçeklendirme;
- Frekans tanım alanında ölçeklendirme.

### **3.4.2 Deprem Yönetmeliği 2007'ye Göre Kayıtların Seçilme Koşulları**

Deprem yönetmeliğinde, bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan deprem hesabı için yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanımına izin verilmektedir. Kullanılacak kayıtlarının aşağıda verilen özellikleri taşıması istenir:

- Deprem kaydının kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Kullanılacak deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması  $A_0 \cdot g$ 'den daha küçük olmayacaktır.
- Kullanılacak ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot  $T_1$ 'e göre  $0.2T_1$  ile  $2T_1$  arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tanımlanan elastik spektral ivme değerlerinin %90'ından daha az olmayacaktır.
- Zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır.



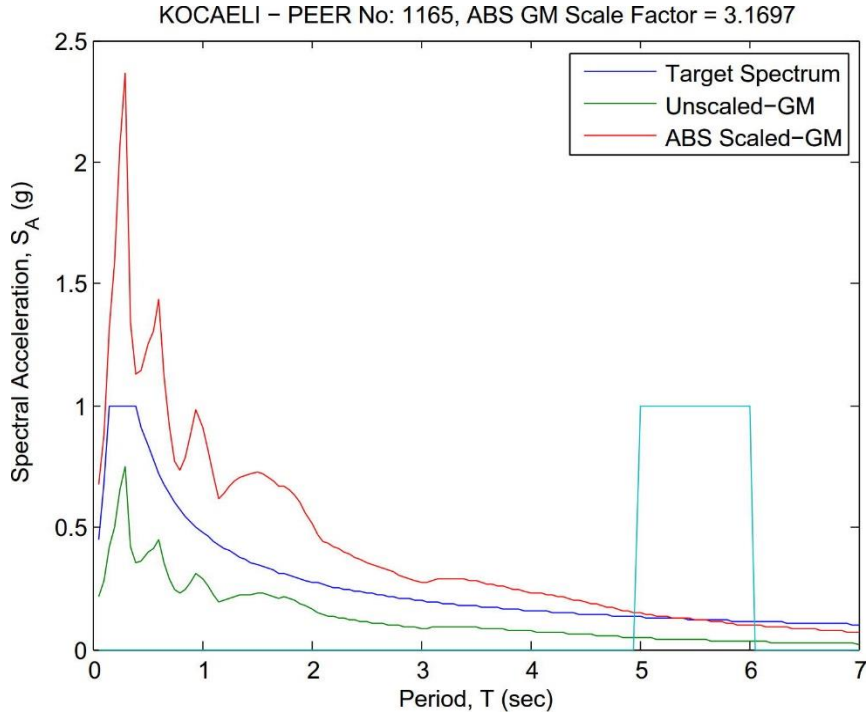
### 3.4.3 Analizde kullanılan deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi

Bu çalışmada, zaman tanım alanındaki doğrusal olmayan analizlerde Türk deprem yönetmeliği (DBYBHY, 2007) nde belirtilmiş olan koşullar çerçevesinde tasarım ivme spektrumuna uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilmiş toplamda 7 adet deprem yer hareketi kullanılmıştır (Çizelge 3.3). Bu tezde, zaman-tanım çözümlenmeleri için kullanılan deprem ivme kayıtlarının tasarım spektrumuna ölçeklendirilmesi için basitleştirilmiş bir yöntem kullanılmıştır.

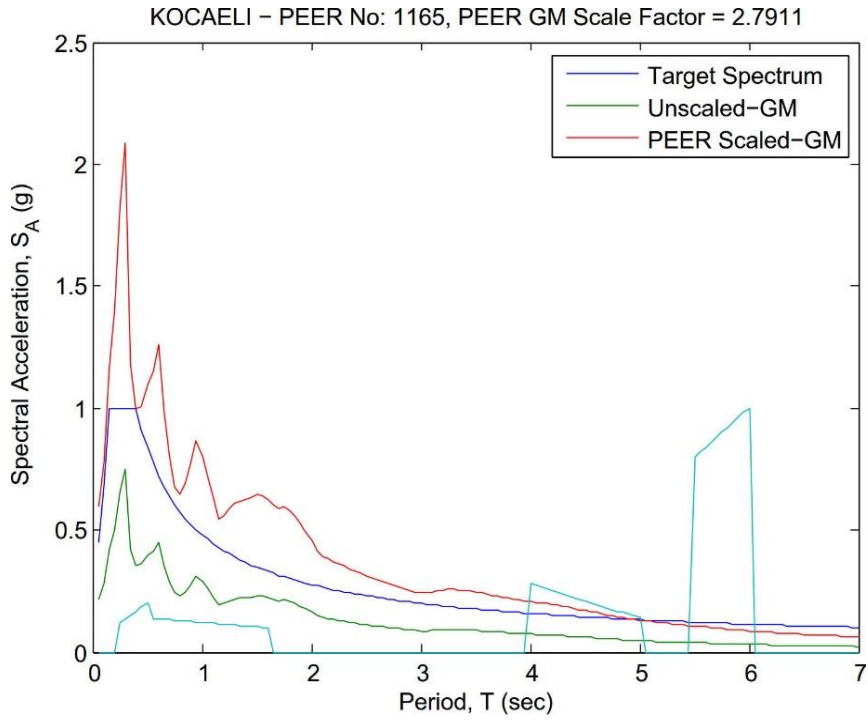
Klasik zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi, gerçek deprem kaydına ait belirli bir sönüm oranı için elde edilmiş olan tepki spektrumunun, istenilen belirli bir periyot aralığında hedef tasarım spektrumuna eşleştirilmesi esasına dayanmaktadır (Şekil 3.7). Bu tezde kullanılan zaman tanım alanında ölçeklendirme yönteminin esası, yapısal modların yapı davranışına olan katkılarının ölçeklendirmede kullanılan ağırlık katsayısı üzerinden ifade edilmesine dayalıdır (Erkuş *vd.*, 2015). Ağırlık katsayısı modal kütle katılım oranlarına bağlı olarak belirlenmiştir. Burada gerçek deprem kaydına ait belirli bir sönüm oranı için elde edilmiş olan tepki spektrumu, istenilen farklı periyotlar aralığında hedef tasarım spektrumunun üstünde ve altında kalan hata paylarının ağırlıklı kütlelerinin çarpılmasıyla elde edilen sonuçların toplamının sıfır olacak şekilde, hedef tasarım ivme spektrumuna eşleştirilir (Şekil 3.8). Bu yöntemin kullanılmasındaki amaç zaman-tanım analizlerine yapının tüm etkin modlarının göz önüne alınmak istenmesidir.

**Çizelge 3.3:** Doğrusal olmayan analizlerde kullanılan deprem kayıtları.

Deprem No.	PEER No.	Deprem	Yıl	Büyük.	Fay Uzak. (km)	$V_{s30}$ (m/s)	Ölçek (500 Yıl)	Ölçek (2500 yıl)
S1	1605	Düzce	1999	7.14	6.6	276	0.49	0.85
S2	180	Imperial	1979	6.53	4	206	0.67	1.1
S3	174	Imperial	1979	6.53	12.5	196	1.31	1.9
S4	1787	Hector M.	1999	7.13	11.7	685	1.5	2.48
S5	1165	Kocaeli	1999	7.51	7.2	811	1.39	2.29
S6	1176	Kocaeli	1999	7.51	4.8	297	0.56	0.92
S7	821	Erzican	1992	6.69	4.4	275	0.8	1.09



Şekil 3.7: Belirli periyot aralığına bağlı deprem kaydı ölçeklendirme yöntemi.



Şekil 3.8: Belirli periyot aralığına bağlı deprem kaydı ölçeklendirme yöntemi.

### 3.5 Eşdeğer Çerçeve Modeli

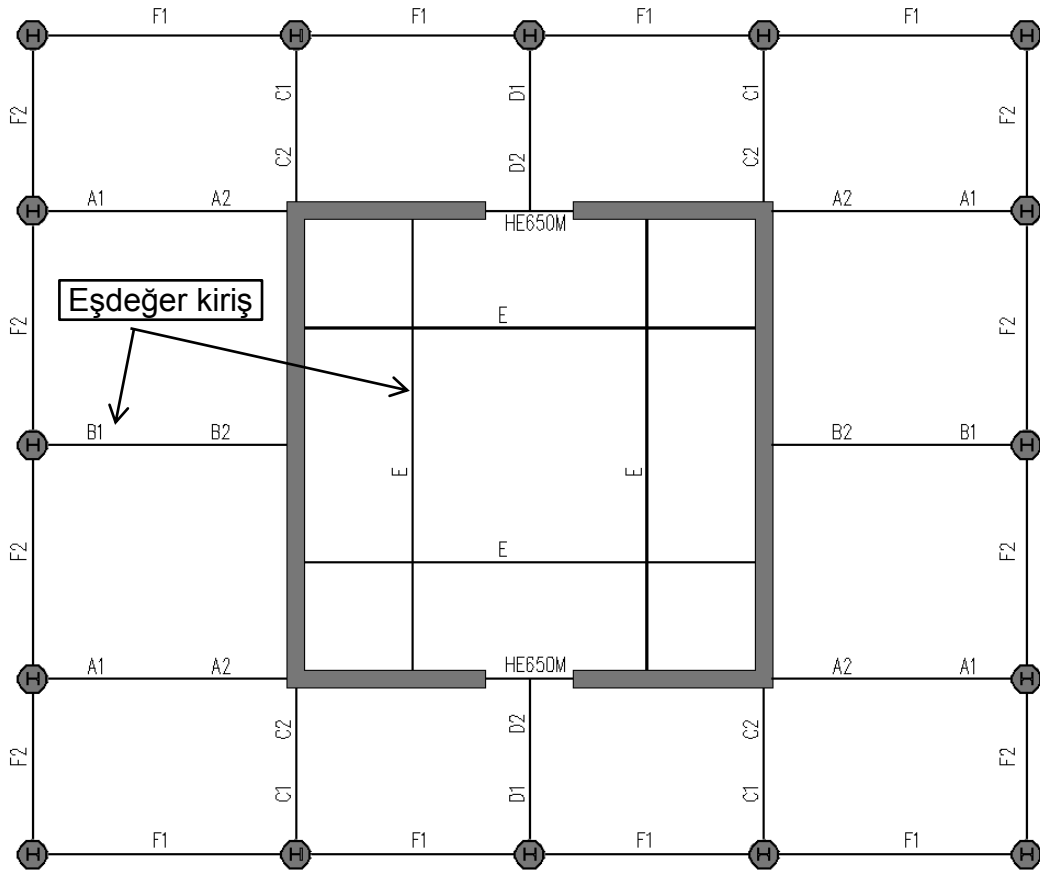
Döşeme sistemlerinin orta şiddetli deprem altında dahi doğrusal olmayan şekilde davranması nedeniyle böyle sistemlerin günümüz bilgisayar programlarında üç boyutlu doğrusal olmayan analizleri pek pratik değildir. Kullanılan kabuk ağında eleman sayısının fazla olması durumunda, doğrusal olmayan çözümlerinin ya çok uzun sürede tamamlanmasına ya da hiç tamamlanamamasına neden olabilmektedir. Yapılan bu çalışmada analiz sürelerini kısaltılmak amacıyla test binasının döşemeleri eşdeğer kirişlerle modellenmiştir (Şekil 3.9).

Tasarım binasındaki döşemeler bölüm 2' de anlatıldığı gibi Hwang ve Moehle (2000) tarafından önerilen efektif kiriş genişliği yöntemi kullanılarak çubuk elemanlar yardımıyla modellenmiştir. Kabuk elemanlar yerine kullanılan çubuk elemanlar (eşdeğer döşeme kirişleri) yatay genişliği efektif kiriş genişliğini ve derinliği de döşemenin gerçek derinliğini ifade edecek şekilde dikdörtgen kesitler tarafından modellenmiştir (Çizelge 3.4). Bölüm 2'de bahsedildiği gibi eşdeğer çerçeve modellerinde çoğu çalışma, düşey ve yanal kuvvetlere maruz kalan döşeme ve kolonlardan oluşan sistemler üzerinde yapılmıştır. Buna rağmen döşeme ve perdeden oluşan sistemler üzerinde hala ciddi tartışmalar devam etmektedir. Döşeme açıklığının perdeye paralel mi yoksa dik mi olduğuna bağlı olarak değişik davranışlar ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada ki perdeye dik olarak bağlanan çubuk elemanların efektif kiriş genişlikleri, ATC72, 2010' de önerildiği gibi döşeme şerit genişliğine ( $l_2$ ) eşit olacak şekilde modellenmiştir.

Kabuk elemanların eşdeğer kirişlerle modellenmesi sayesinde yapı içerisindeki bilinmeyen sayısı azaltılarak analiz süreleri önemli miktarda düşürülmüştür. Döşemeleri kabuk elemanlar yardımıyla modellenen orijinal test binasında, 0.005 saniye zaman aralığı ve 5176 adım içeren bir deprem kaydı kullanılarak yapılan analizler yaklaşık olarak 12 saat sürerken, kabuk döşemelerin çubuk elemanlar ile modellendiği eşdeğer çerçeve modelinde bu analizler yaklaşık olarak 2 saat sürmüştür.

**Çizelge 3.4:** Hwang ve Moehle (2000) tarafından önerilen yaklaşım yapılarak elde edilen eşdeğer döşeme genişlikleri.

	$c_1$ (cm)	$l_1$ (cm)	$l_2$ (cm)	$\alpha$	$\beta$	$\alpha l_2$ (cm)	$\beta \alpha l_2$ (cm)
A <sub>1</sub>	100	900	700	0.72	0.44	500	222
A <sub>2</sub>	100	900	700	0.93	0.33	650	217
B <sub>1</sub>	100	900	800	0.63	0.44	500	222
B <sub>2</sub>	60	900	800	1	0.33	800	222
C <sub>1</sub>	100	600	850	0.47	0.667	400	267
C <sub>2</sub>	60	600	850	0.71	0.33	600	200
D <sub>1</sub>	100	600	800	0.5	0.5	400	200
D <sub>2</sub>	100	600	800	1	0.33	800	267
E	60	1600	800	1	0.33	800	267
F <sub>1</sub>	100	800	300	0.78	0.5	233	117
F <sub>2</sub>	100	800	450	0.78	0.5	233	117

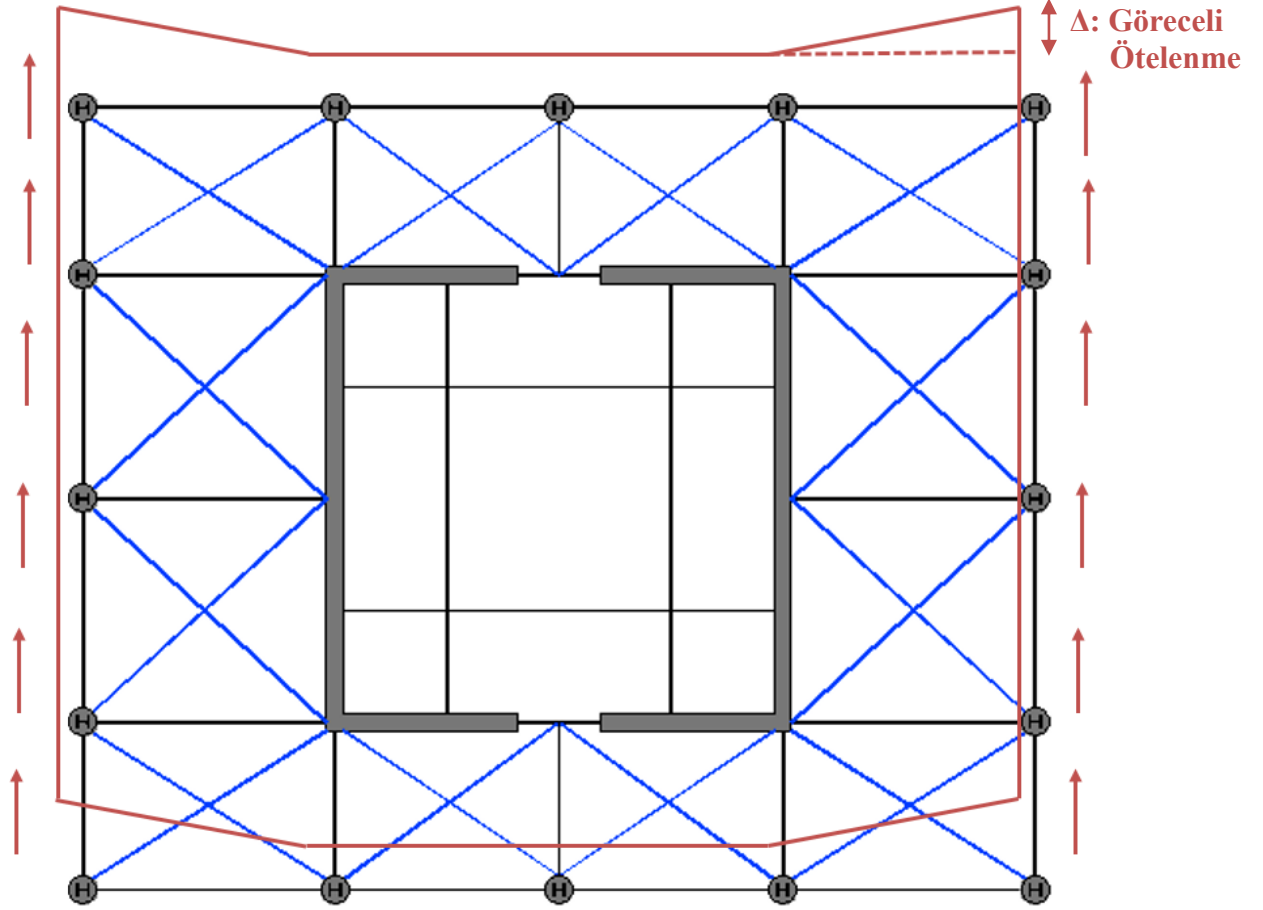


**Şekil 3.9 :** Eşdeğer çerçeve modeli.

Düzlem içi kuvvet aktarımını engelleyecek şekilde önemli miktarda boşluk içermeyen betonarme döşeme sistemi bulunan binalarda düzlem içi rijitliğin çok fazla olması ve

düzlem içi deformasyonlarının pek fazla oluşmaması yapıya önemli miktarda rijitlik katmaktadır. Kabuk modelde döşeme yerine eşdeğer kirişlerin kullanılması sonucu rijitlik bir miktar azalmıştır. Yapı içerisindeki azalan rijitliğin geri kazanılması için model içerisine Şekil 3.10' deki gibi çaprazlar ilave edilmiştir. Düzlem içi atılan bu çaprazlar sayesinde, yapı içerisindeki rijitliğin artırılmasının dışında, model içerisinde rijit diyafram yaklaşımı yapılmayarak bağ kirişlerine gelen eksenel yüklerin tasarım aşamasında dikkate alınması sağlanmıştır.

Düzlem içi çaprazların rijitlikleri yapılan ayrı bir çalışma ile belirlenmiştir. Şekil 3.10' da görüleceği gibi bu çalışmada uygulanan felsefe, kabuk model ve eşdeğer çerçeve modellerinde herhangi bir noktadan düzlem içine uygulanan yayılı bir kuvvet sonrası oluşan düzlem içi ötelenmelerinin aynı olması prensibine dayanır.

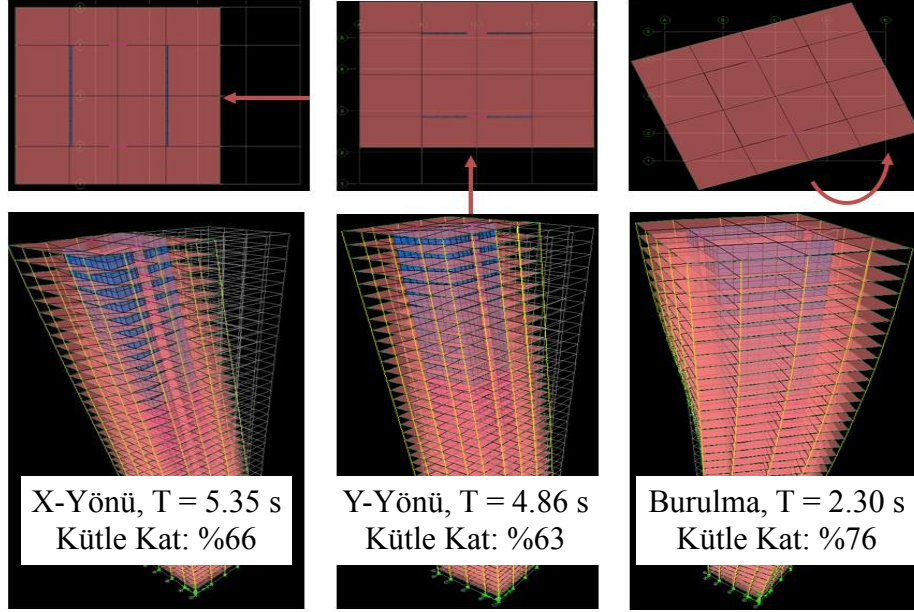


Şekil 3.10: Çaprazlı eşdeğer çerçeve modeli.

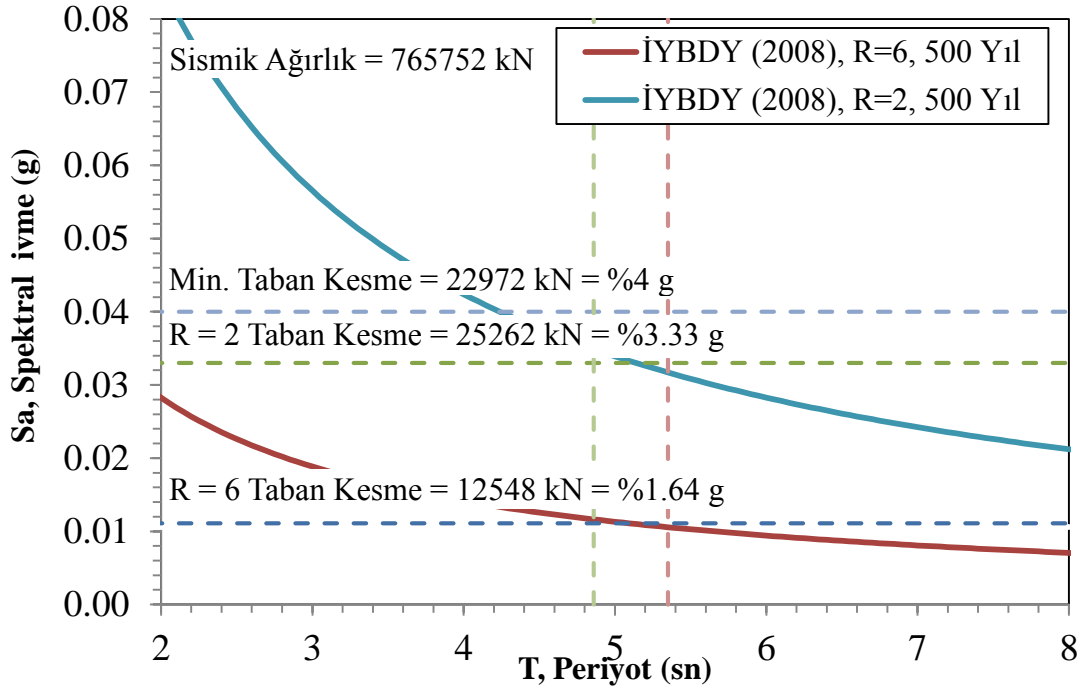
### 3.6 Orijinal Model ve Kabuk Model Analiz Sonuçları ve Karşılaştırması

Aşağıda orijinal yapının modal analiz ve tasarım spektrumu ile yapılan spektrum analizinden elde edilen periyotlar ve taban kesme kuvvetleri görülmektedir.

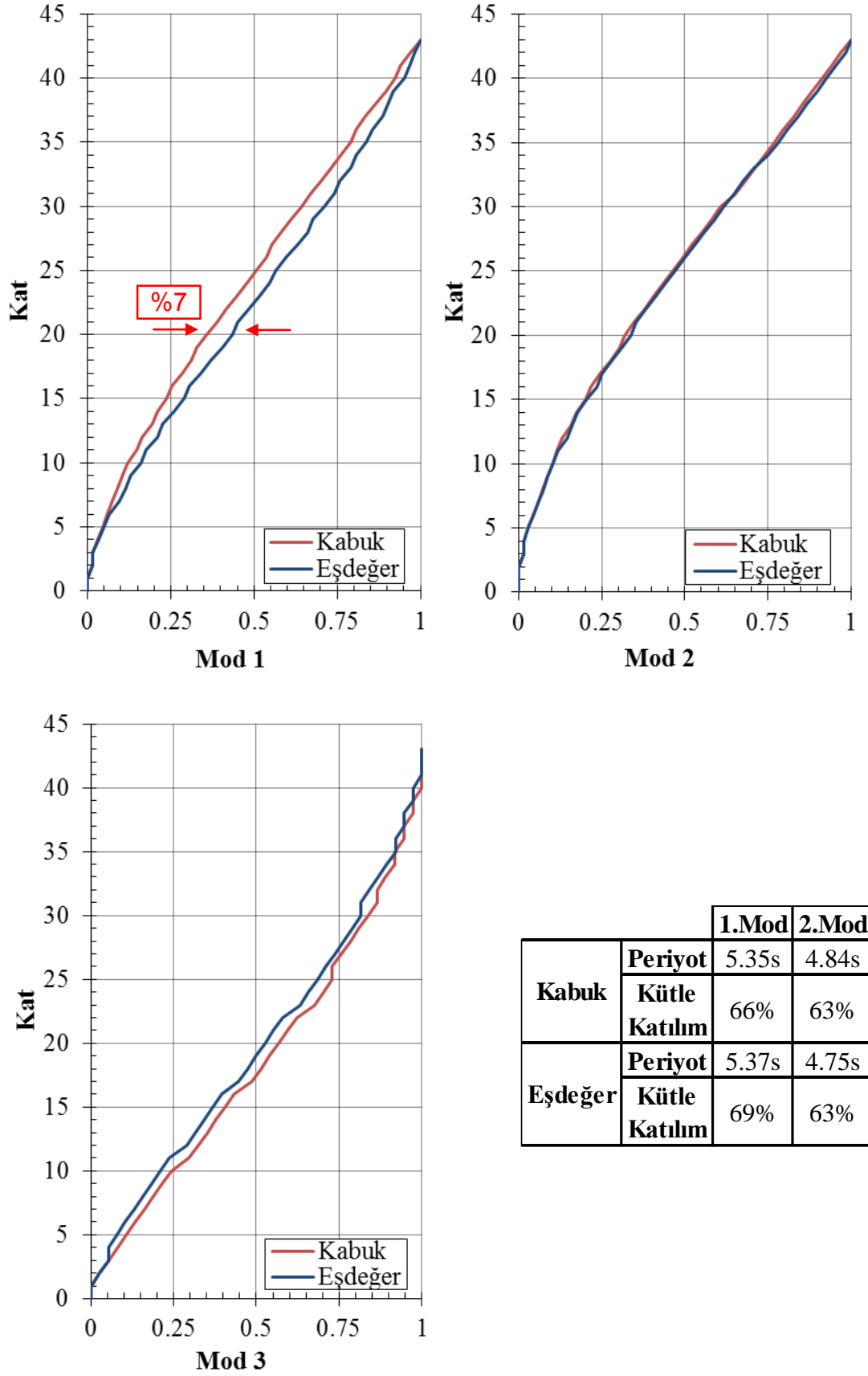
Orijinal matematiksel model ile eşdeğer çerçeve modellerinin yapısal davranışı eşdeğer statik, modal ve modal birleştirme yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar aşağıda resim ve grafikler halinde sunulmuştur.



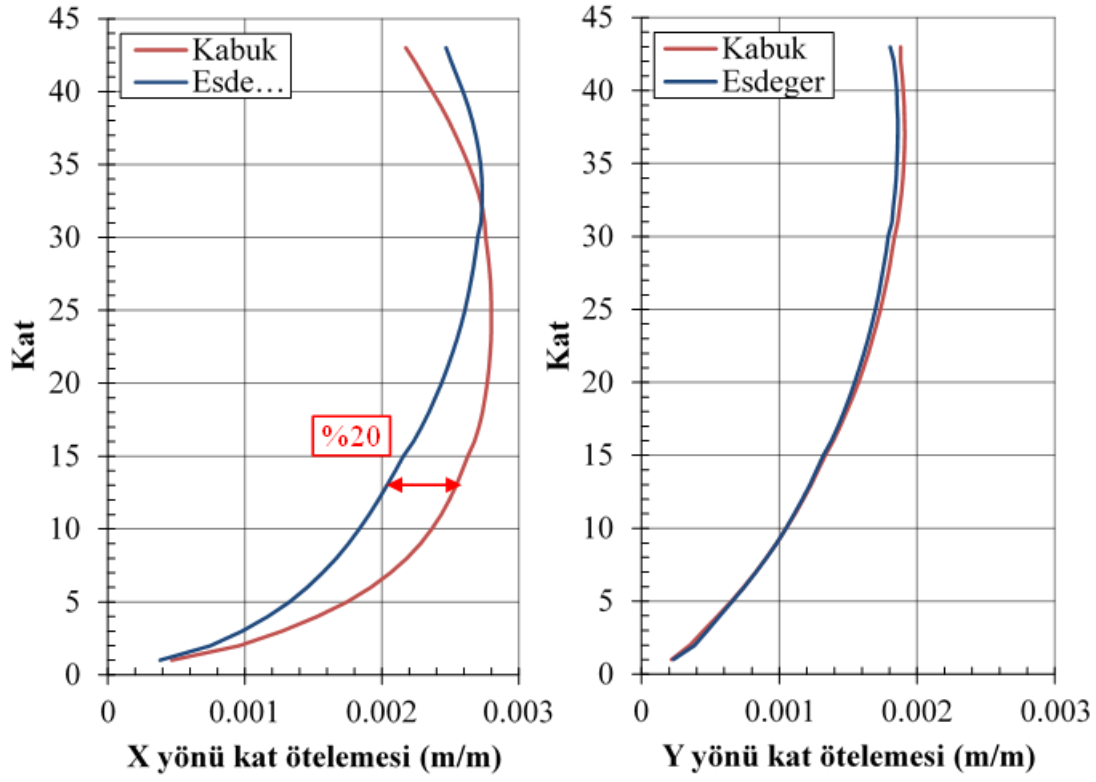
Şekil 3.11: Test binası periyot ve kütle katılım oranları.



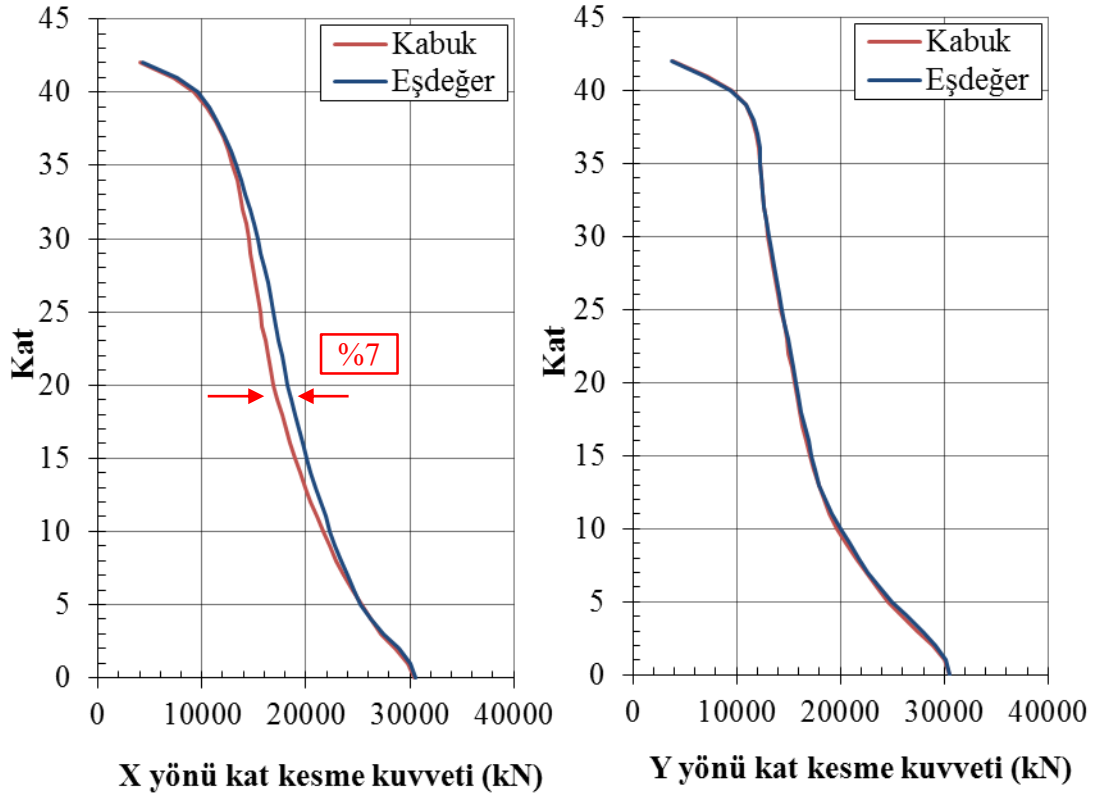
Şekil 3.12: Spektrum analizinden elde edilen taban kesme kuvvetleri.



**Şekil 3.13:** Normalize edilmiş modal yerdeğiştirme (m/m) ve periyotlar.

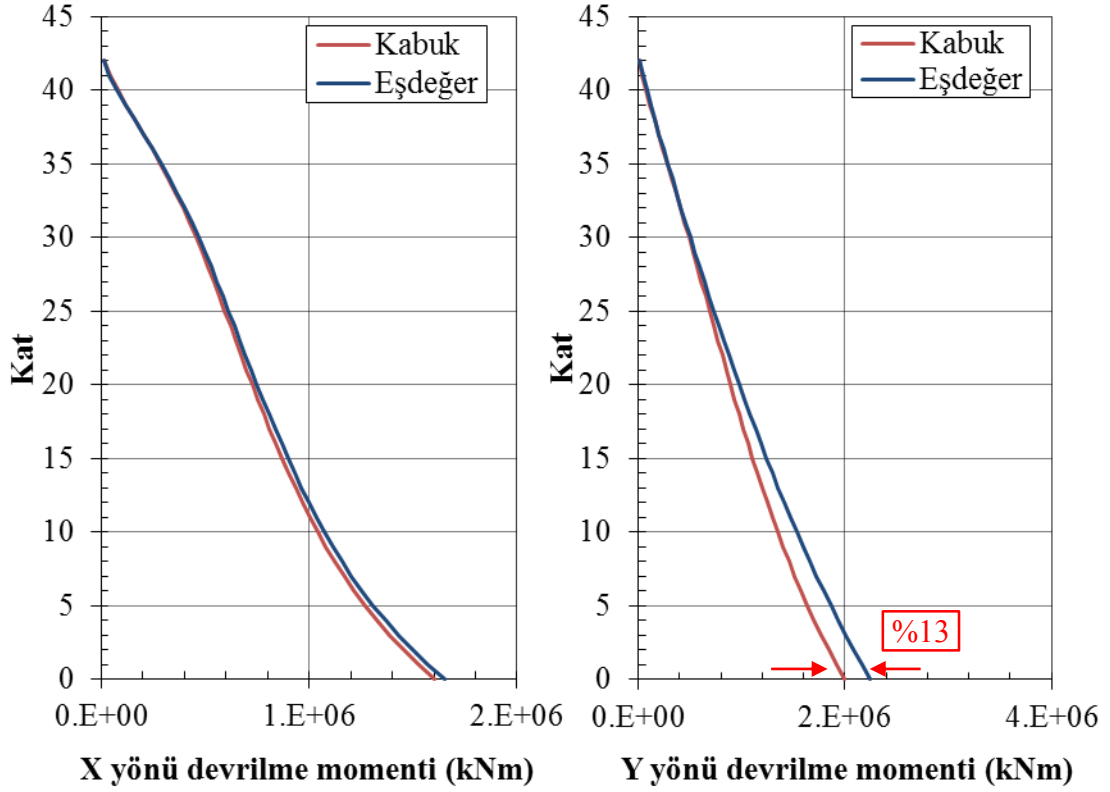


Şekil 3.14: X ve Y yönü görel kat ötelemesi.



Şekil 3.15: Tasarım deprem kuvvetleri altında kat kesme kuvvetleri.





Şekil 3.16: Tasarım deprem kuvvetleri altında kat devrilme momentleri.

Çizelge 3.5: Kabuk model ve Eşdeğer model mesnet reaksiyonları karşılaştırması.

Spectrum	Model	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
X	Kabuk	30705.8	9552.9	274206.5	2396.7	19652.2	219.9
	Eşdeğer	30442.0	9773.9	311467.5	2412.2	20475.5	224.0
	Oran	<b>1.01</b>	<b>0.98</b>	<b>0.88</b>	<b>0.99</b>	<b>0.96</b>	<b>0.98</b>
Y	Kabuk	11088.6	31167.3	198776.3	11564.7	2106.8	194.3
	Eşdeğer	11530.7	31062.5	206433.9	9880.4	2002.1	192.9
	Oran	<b>0.96</b>	<b>1.00</b>	<b>0.96</b>	<b>1.17</b>	<b>1.05</b>	<b>1.01</b>

Bu analiz sonuçlarından elden edilen verilere göre;

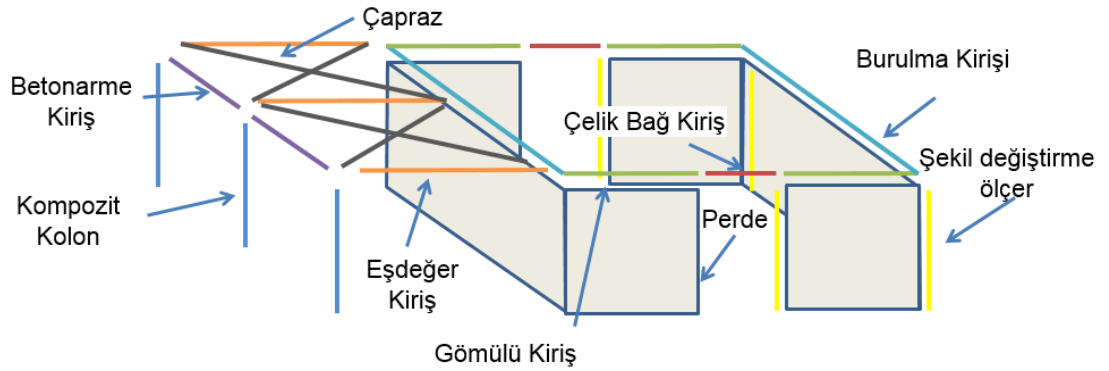
- Eşdeğer çerçeve modelinin yapı yanal rijitliğini, döşeme ve kolonlar arasındaki yük transferini elastik sınırlar içerisinde makul derecede yansıttığı görülmüştür;
- X yönünde yapılan analizler sonucu iki model arasında farklar gözlemlenmiştir. X yönünde meydana gelen bu farkların nedeninin döşemeler tarafından sağlanan perdeler arası bağıl davranışın eşdeğer kirişler tarafından tam olarak sağlanamamasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu farklar;

- *X* yönünde normalize edilmiş 1. Mod şekilleri karşılaştırıldığında iki model arasında %7 fark gözlemlenmiştir;
- *X* yönünde görelî kat ötelemeleri karşılaştırıldığında iki model arasında %20 fark gözlemlenmiştir;
- *X* yönünde kat kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında iki model arasında %7 fark gözlemlenmiştir;
- *Y* yönü kat devrilme momentleri karşılaştırıldığında iki model arasında %13 fark gözlemlenmiştir;
- *Y* yönünde yapılan analizlerden elde edilen verilere göre iki modelin de yaklaşık olarak aynı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedenininse yapı içerisindeki bağ kirişlerinin *X* yönünde olması ve *Y* yönündeki perdelerin çok rijit olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

#### 4. TEST BİNASININ DOĞRUSAL OLMAYAN TEORİYE GÖRE MODELLENMESİ

Yapının doğrusal olmayan analiz modeli PERFORM3D programı yardımıyla tanımlanmıştır. Kat içerisinde herhangi bir rijit diyafram tanımlaması yapılmamıştır. P-Delta etkisi  $P = D + 0.10 L$  aksel yüklemesi altında modele dahil edilip, tüm mesnetler temel seviyesinde ankastre mesnet olarak tanımlanmıştır.

Bu bölümde tipik çekirdek perdeye sahip yüksek binanın elemanları olan perdelerin, çelik bağ kirişlerinin, burulma kirişlerin, gömülü kirişlerin, çerçeve kirişlerin, kolonların ve sürtünmeye dayalı sönümleyicilerin nasıl modellendiği üzerinde durulmuştur. Şekil 4.1’ de doğrusal olmayan analiz modelindeki tipik bir katta kullanılan doğrusal ve doğrusal olmayan elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Doğrusal olmayan analiz modelinde kullanılan elemanlar.

##### 4.1 Çekirdek Perdesinin Modellenmesi

Çekirdek perde içerisindeki beton ve çelik malzemenin dayanımları doğrusal olmayan düşey fiber elemanlar kullanılarak tanımlanmıştır. Beton fiber elemanı tanımlanırken paspayı bölgesi içerisinde kalan kısım ihmal edilmiştir. Çekirdek perde içerisindeki beton Şekil 4.2’ de gösterildiği gibi başlık bölgesinde sargı etkisi dikkate alınarak modellenirken, geri kalan kısmı sargısız olarak modellenmiştir. Sargılı ve sargısız kısım içerisinde kalan betonun gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi ortalama dayanımı 45 Mpa olan beton için Mander *vd.*, (1988) ‘in önerdiği model kullanılarak Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’ de görüldüğü gibi, betonun çekme mukavemeti ihmal edilerek tanımlanmıştır. Burada betonun gerçek dayanımını yakalamak için LATBSDC (2014)’de önerildiği gibi tasarım değeri 1.3 katsayısı ile artırılmıştır. Sargısız normal yoğunluklu betonun elastisite modülü hesabı için Denk. 4.1 kullanılmıştır;

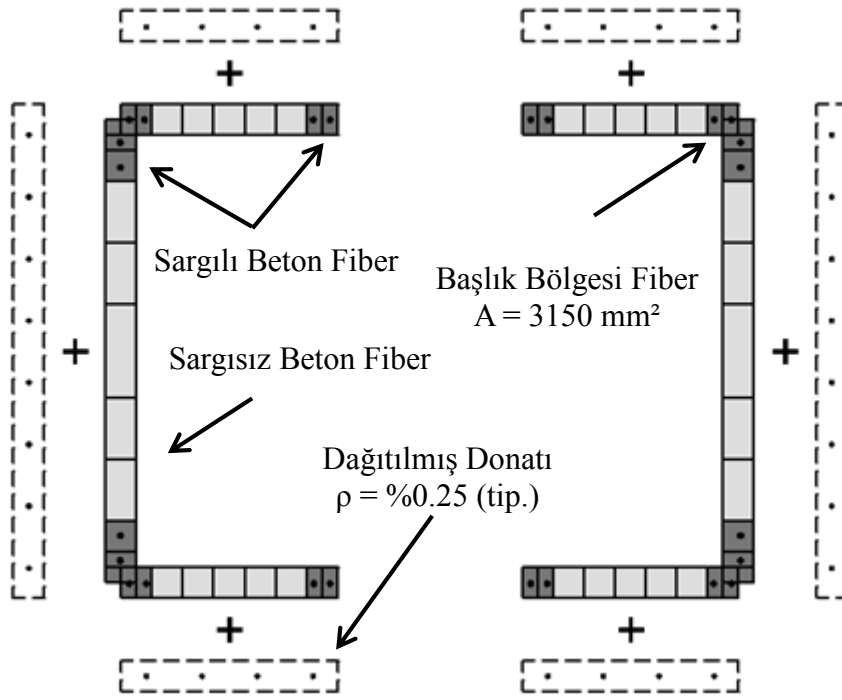
$$E_c = 3320 \sqrt{f'_c} + 6900 \quad (4.1)$$

Doğrusal olmayan analiz için kullanılan PERFORM 3D programında beton malzemesi için gerilme şekil değiştirme eğrisi 4 adet parçalı lineer eğri ile tanımlanmaktadır. Orijinal Mander malzeme modeli histeresisinde çevrimsel geri dönüş kuralları, rijitlik ve dayanım azalması gibi kurallar vardır. Bu çalışmada bu kurallar ihmal edilmiştir.

Betonarme donatı çeliği gerilme şekil değiştirme grafiği üç parçalı doğru olarak tanımlanmıştır. Pekleşme değeri %1.5 olarak hesaba katılmıştır. Burkulma, mukavemet kaybı ve çevrimsel bozulma ihmal edilmiştir.

PERFORM 3D içerisindeki perde elemanları iki ayrı paralel elemanın birleştirilmesiyle tanımlanmıştır. İlk eleman perde geneline yayılmış donatıyı temsil ederken ikinci eleman başlık bölgesindeki ilave donatıyı ve beton fiber elemanları temsil etmektedir.

Perde duvar elemanlar fiber elemlar ile tanımlandığı için eğilme rijitlikleri açık bir şekilde tanımlanmamıştır. Perde eğilme rijitliği malzeme modellerine bağlı olarak fiber elemanlarda şekil değiştirmenin artmasıyla birlikte azalmaktadır.



Şekil 4.2: Perde şematik fiber gösterimi.

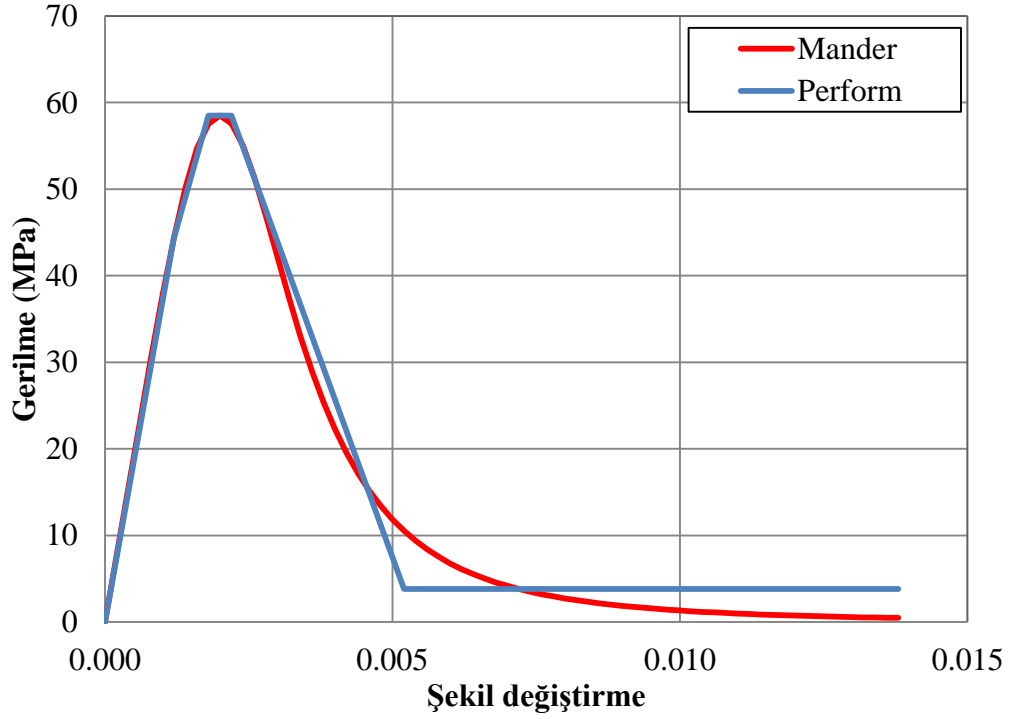
Kesme kuvveti kapasitesini belirleyen kayma modülü değeri çatlamamış kesitler için yaklaşık  $0.4E_c$  olarak alınabilir. Bununla birlikte kesitte çatlakların oluşması ile birlikte elemanların kesme kapasiteleri oldukça azalmaktadır. Dolayısıyla betonarme elemanların çatlamamış kesitlerine göre elde edilen kayma rijitlikleri, büyük

hesaplama yanışlarına neden olabilir. Bu bağlamda kayma modülünün azaltılarak 4.2 formülü ile 4.3 formülü arasında bir değer alınması önerilmektedir (Powell, 2006a).

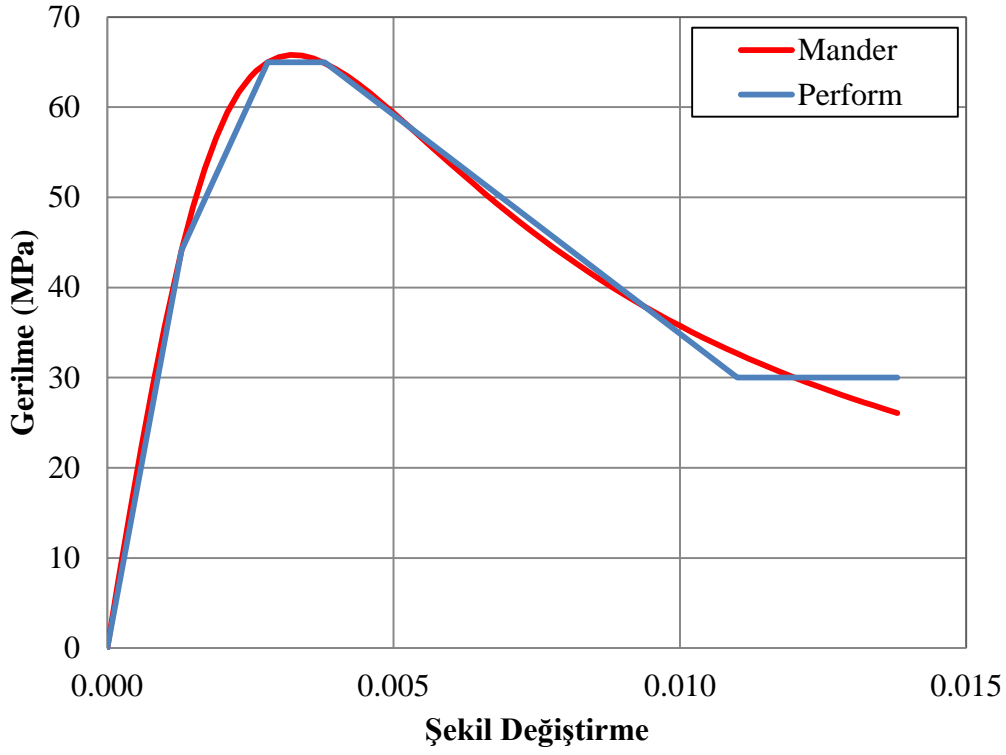
$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (4.2)$$

$$G_{ACI} = \frac{0.83\sqrt{f'_c}}{0.004} \text{ (Sekant Rijitliği)} \quad (4.3)$$

Powel (2007)'de önerildiği gibi plastik mafsal bölgesi içerisinde kalan çekirdek perdede elastik kesme modülü  $0.2E_c$  olarak tanımlanırken geri kalan kısımda elastik kesme modülü  $0.3E_c$  olarak tanımlanmıştır.

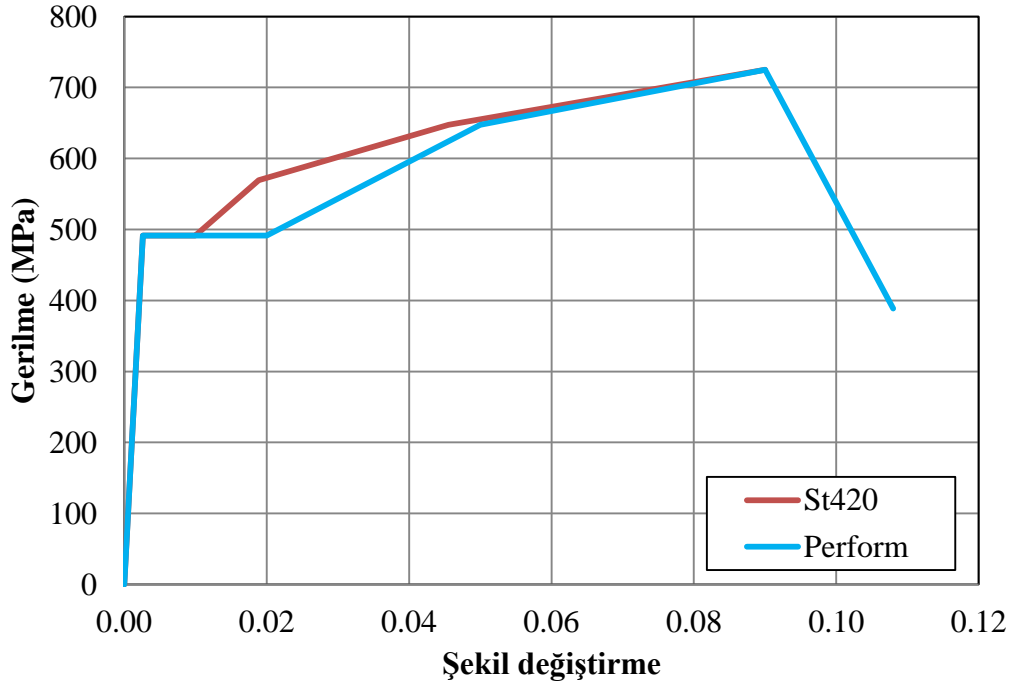


Şekil 4.3: Sargısız beton gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.



Şekil 4.4: Sargılı beton gerilme-şekil değişirme ilişkisi.

Şekil 4.5' de doğrusal elastik olmayan analiz aşamasında kullanılan ve ortalama akma dayanımı  $f_y = 491$ , ortalama kopma dayanımı,  $f_u = 630$  olan donatının gerilme-birim şekil değişirme ilişkisi gösterilmiştir.

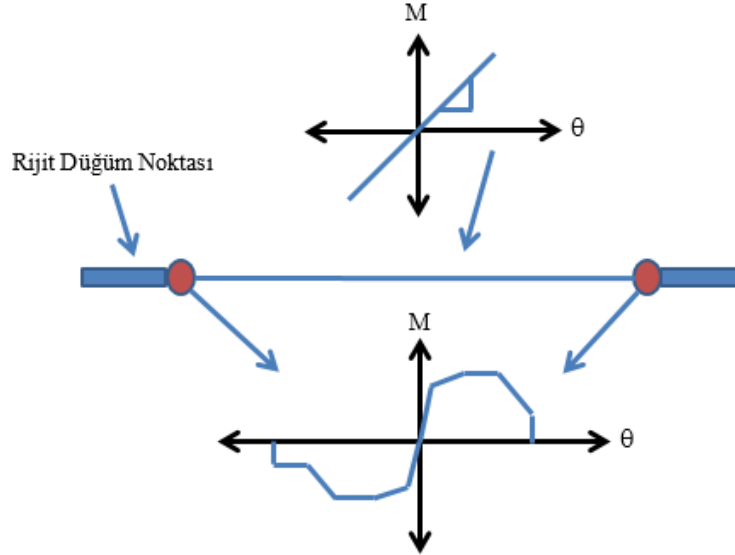


Şekil 4.5: Çelik doğrusal olmayan gerilme-şekil değişirme ilişkisi.

Çelik malzemesinin iskelet eğrisini tanımlarken kullanılan değişkenler;  $F_y$ , donatı çeliğinin beklenen gerçek dayanımı,  $\lambda$ , beklenen dayanımın hesaplanması için tasarım dayanımın çarpıldığı katsayı,  $F_u$  donatı çeliği beklenen kopma dayanımı,  $\epsilon_{sy}$ , donatı çeliği akma şekil değiştirme değeri,  $\epsilon_{su}$  donatı çeliği kopma şekil değiştirme değeridir.

#### 4.2 Çelik Bağ Kirişinin Modellenmesi

Moment mafsalı, büyük deplasmanlar altında yük-deplasman döngülerini kesme mafsalına göre biraz daha iyi yansıtır, çünkü moment mafsalı histeretik davranışı kontrol edebilmek için daha çok değişken içerir (ATC72, 2010). Okazaki vd., (2005)' in yaptıkları test sonuçlarına göre burkulması önlenmiş çelik bağ kirişinde efektif olarak moment-kesme etkileşimi yoktur. Bu yüzden çelik bağ kirişleri, uçlarında rijit düğüm noktası ve plastik mafsal olan elastik elemanlar tarafından Şekil 4.6'da gösterilen yaklaşım kullanılarak modellenmiştir.



Şekil 4.6: Tipik çelik bağ kirişi modeli.

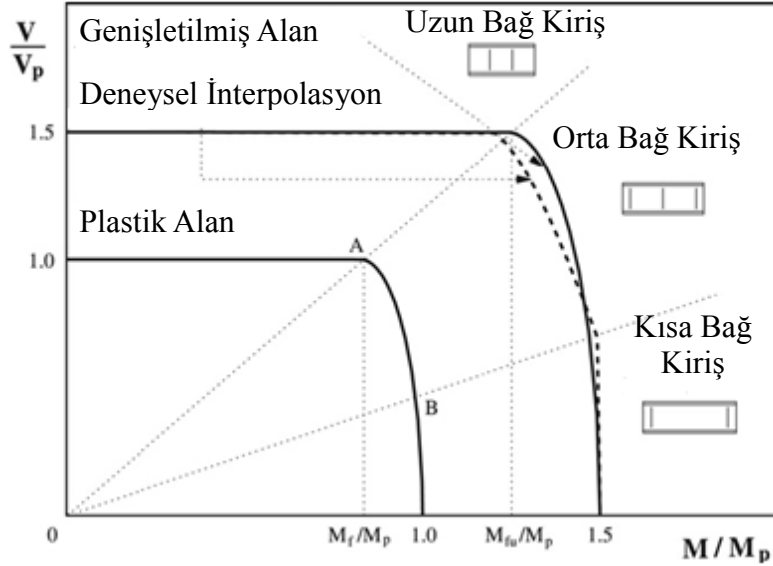
ASCE41 (2006) çelik bağ kirişinin deformasyon ilişkilerini dışmerkez çaprazlı çerçevelerdeki bağlantı elemana benzer olarak vermiştir. ASCE41 (2006)' daki tasarım kesme kapasitesine,  $V_p$ , göre normalize edilmiş iskelet eğrisi Şekil 4.8' de gösterilmiştir. Bu yönetmeliğe göre, yapılan testlerden daha büyük değer elde edilmedikçe pekleşme durumunda yüzde altı eğim kabul edilebilir. Popov ve Engelhardt (1988) tarafından çelik bağ kirişinin dayanım fazlalığı katsayısı geçmiş deney sonuçlarına bağlı olarak 1.50 olarak tavsiye edilmiştir. Bu sebepten dolayı test binasında kullanılan bağ kirişin pekleşme durumundaki kapasitesi,  $M_u = 1.5M_y$  olarak kabul edilmiştir.

Engelhardt ve Popov (1989) tarafından bağ kirişin uzunluğuna ( $1.6M_p / V_p$  ve  $3M_p / V_p$ ), bağlı olarak elde edilen deney sonuçlarına göre, bağ kirişin nihai dayanımını ifade eden aşağıdaki formül önerilmiştir:

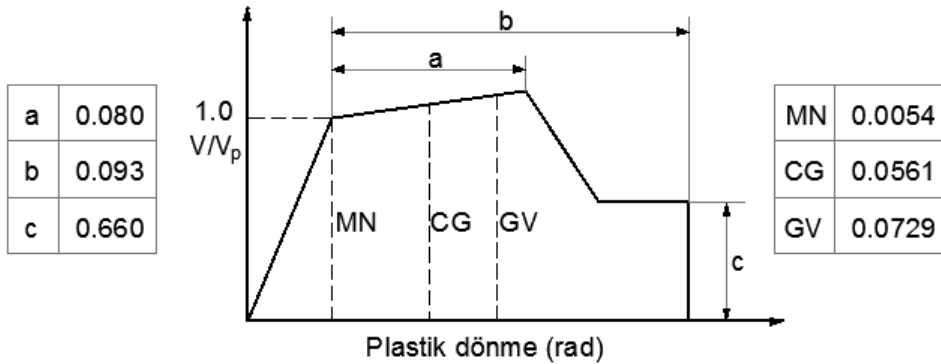
$$V_p = 0.6F_{ye}A_w, \quad e \leq 1.6M_p / V_p, \quad M_p = 0.5V_p e \quad (4.4)$$

$$M_p = F_{ye}Z, \quad e \leq 3.0M_p / V_p, \quad V_p = 2M_p / e \quad (4.5)$$

Burada,  $F_{ye}$  ortalama malzeme dayanımına göre elde edilen akma gerilmesi,  $A_w$  çelik kiriş gövde alanı,  $Z$  plastik mukavemet değeridir. İki değer arasında lineer interpolasyon yapılacaktır. Uzun kirişe ait ( $3M_p / V_p$ ) olan formül bağ kirişteki plastik deformasyon limitlerinin ASCE41 (2006)' e göre ( $2.6M_p / V_p$ ) formülüne göre verilmesinden dolayı bu değerler ASCE41 (2006)'e uygun olacak şekilde değiştirilmiştir.



Şekil 4.7: Çelik bağ kirişi sınıflandırması (Engelhardt ve Popov 1989).



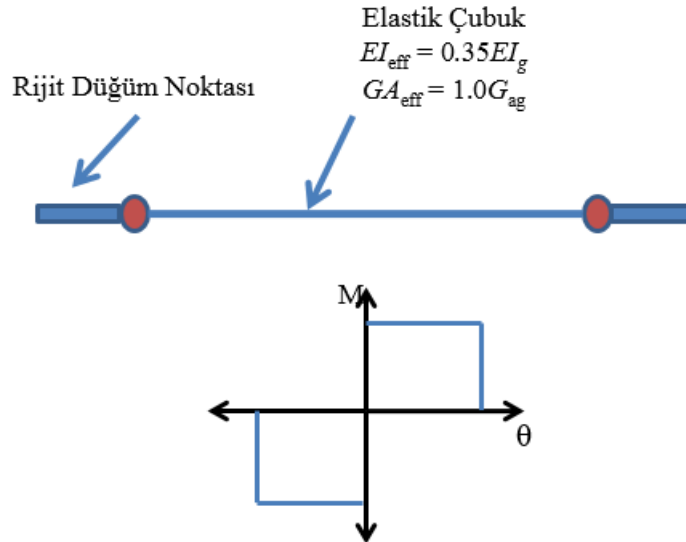
Şekil 4.8: ASCE41 (2006) EBF bağ kirişi model parametreleri.



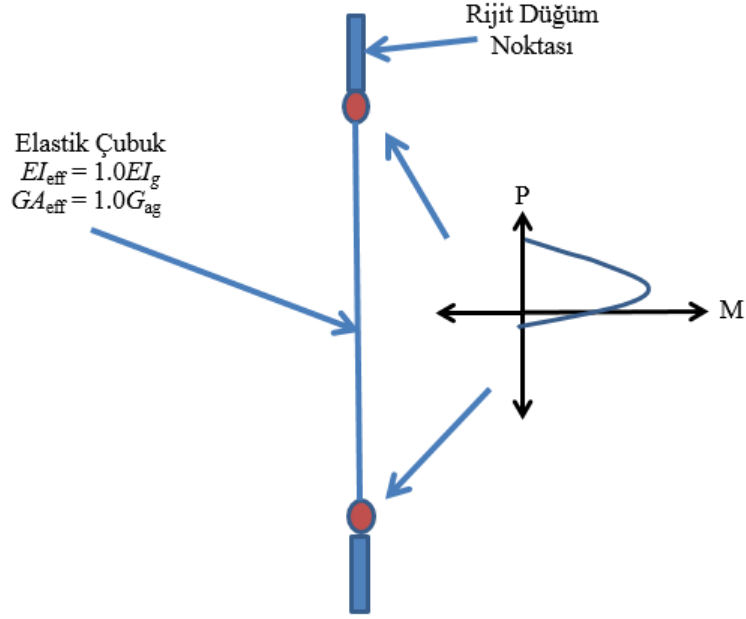
### 4.3 Kiriş ve Kolonların Modellenmesi

Model içerisindeki çevre kirişleri, uçlarında rijit düğüm noktası ve plastik mafsal olan elastik elemanlar tarafından Şekil 4.9’da gösterilen yaklaşım kullanılarak modellenmiştir. Kirişin elastik kısmı, kesit özellikleri ve rijitliği,  $EI_{\text{eff}} = 0.35EI_g$  (eğilme),  $GA_{\text{eff}} = 1.0G_{\text{ag}}$  (kesme) olacak şekilde modellenmiştir.

Kolonlar, uçlarında rijit düğüm noktası ve plastik mafsal olan elastik elemanlar tarafından Şekil 4.10’da gösterilen yaklaşım kullanılarak modellenmiştir. Kolonlar kompozit olduğu için elastik kısımları modellenirken rijitlikte herhangi bir azaltma yapılmamıştır. Kolonların plastik bölgesindeki akma momentleri, ortalama malzeme dayanımları kullanılarak elde edilen moment-eksenel kapasite diyagramına göre belirlenmiştir. İskelet eğrisi, dayanım kaybı ve çevrimsel yükleme sonucu meydana gelen azalimler dikkate alınmayarak elastik-mükemmel plastik olarak modellenmiştir.



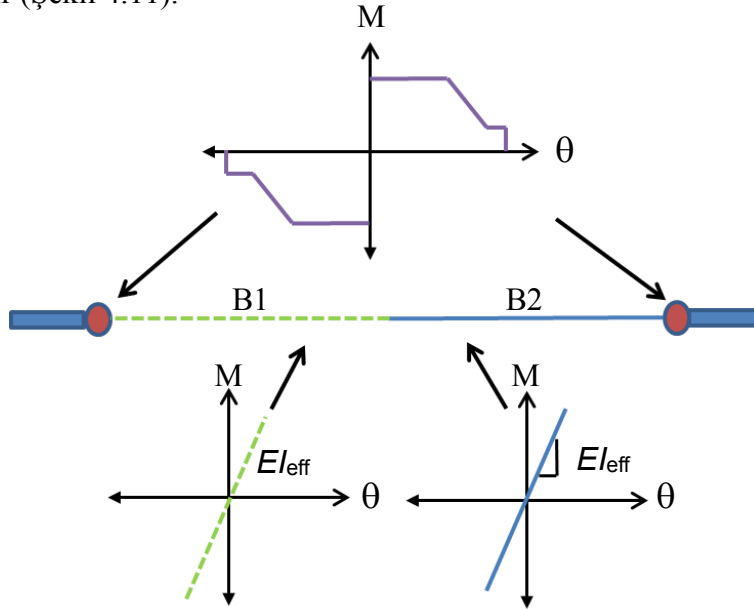
Şekil 4.9: Tipik kiriş modeli.



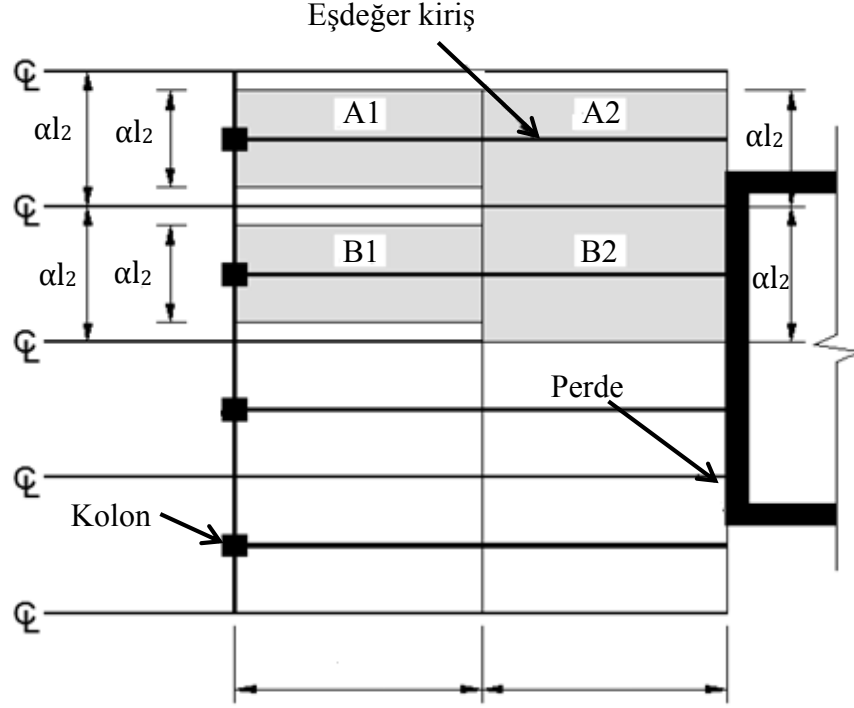
Şekil 4.10: Tipik kolon modeli.

#### 4.4 Eşdeğer Kirişlerin Modellenmesi

Model içerisindeki çevre kirişleri, uçlarında rijit düğüm noktası ve plastik mafsallı olan elastik elemanlar tarafından Şekil 4.11’ de gösterilen yaklaşım kullanılarak modellenmiştir. Kabuk döşemelerin çubuk elemanlar ile modellendiği eşdeğer çerçeve kirişlerin rijitlikleri,  $EI$ , hesaplanırken açıklık boyunca iki ayrı efektif kiriş genişliği kullanılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Şematik eşdeğer kiriş modeli.



**Şekil 4.12:** Efektif kiriş genişliği modelinin perdeli sisteme uygulanması  
(ATC72, 2010' dan referans alınarak çizilmiştir).

B1 kirişinin efektif genişliği  $c_1 / l_1$  ve  $c_2 / l_2$  oranında belirlenmiş olup, B2 kirişinin efektif genişliği  $l_2$  uzunluğuna eşit alınmıştır. B1 ve B2 kirişleri Hwang and Moehle (2000) tarafından önerilen döşeme açıklığının orta noktasında birleştirilmiştir. Çatlama sonrasında oluşacak rijitliğin,  $EL_{cr}$ , hesaplanması için kirişler  $\beta$  faktörü ile çarpılmıştır. Kirişlerin pozitif ve negatif akma momentleri, efektif kiriş genişliği içerisinde kalan döşeme eğilme donatıları tarafından hesaplanmıştır (Şekil 4.13). Şekil 4.12 'de eşdeğer kiriş şematik modeli gösterilmiştir.

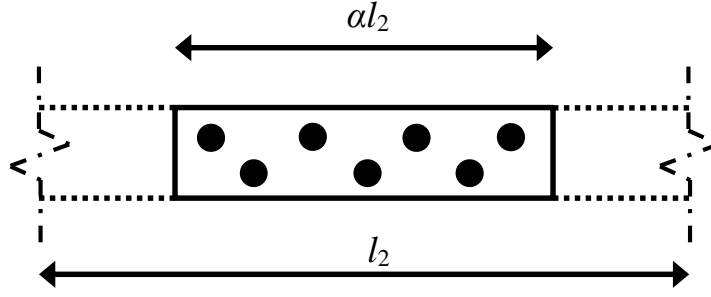
Eşdeğer döşeme yüksekliğinin orijinal döşeme yüksekliğine eşit olduğu varsayımı yapılarak nihai negatif eğilme momenti,  $\alpha l_2$  genişliği kullanılarak orta ve kenar birleşimleri için,

$$M_n = A_{\alpha_i l_2} f_y \left( \frac{d - A_{\alpha_i l_2} f_y}{1.7 A_{\alpha_i l_2} f_c'} \right) \quad (4.6)$$

Pozitif eğilme momenti ise,

$$M_n = \frac{1}{6} \alpha_i l_2 h^2 f_r \quad (4.7)$$

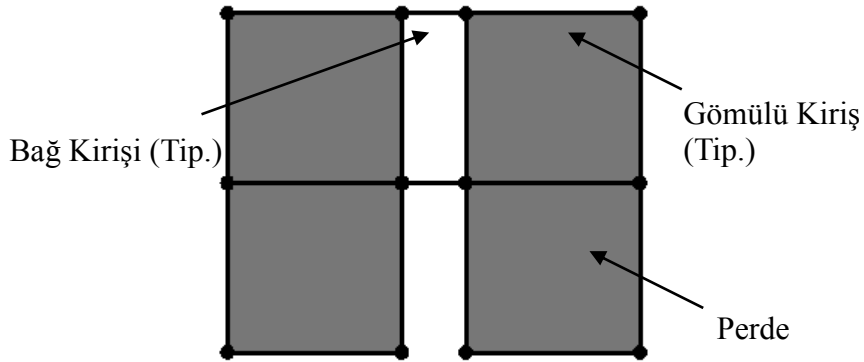
Formülü yardımı ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.13: Efektif kiriş genişliği kesit.

#### 4.5 Burulma ve Gömülü Kirişlerin Modellenmesi

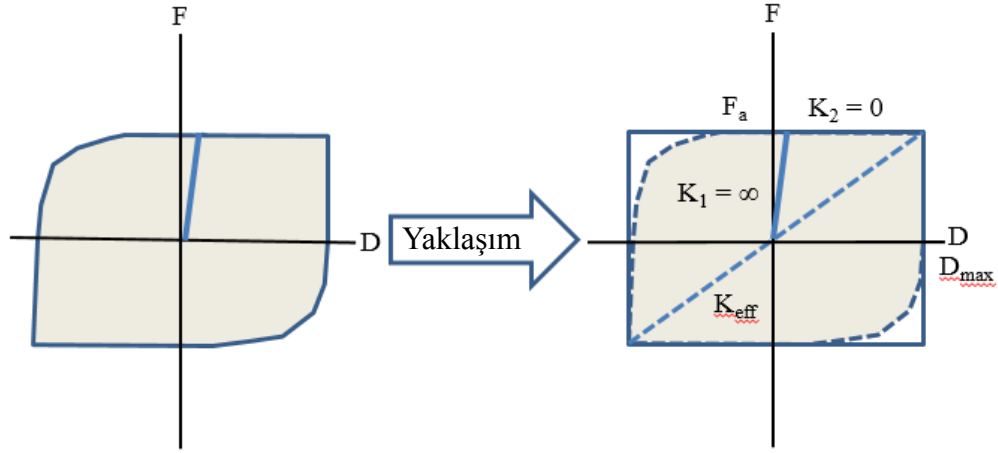
Powell (2007)'in önerdiği gibi bağ kirişleri duvarlara gömülü kirişler yardımıyla bağlanmıştır. Bu kirişlerin amacı bağ kirişleri ile perdeler arasında moment etkileşimini sağlamaktır. Gömülü kirişler modele dâhil edilmediği durumda bağ kirişleri perde yüzünde mafsallı bağlanmış gibi davranırlar. Bu kirişler Şekil 4.14' de görüldüğü gibi perde boyunca içeri doğru uzatılmışlardır. Powel (2007)' de bu elemanların eğilme rijitliği bağ kirişlerin rijitliğinin 20 katı kadar fazla alınmışken, aksenal rijitliği perde duvarın rijitliğinden büyük olmayacak şekilde tanımlanmıştır. Bu çalışmada da aynı yaklaşım yapılarak gömülü kiriş tasarımı yapılmıştır. Ayrıca perdeye eşdeğer kirişlerin bağlandığı yerde burulma rijitliği çok yüksek olan gömülü kirişler tanımlanmıştır. Bunun sebebi eşdeğer kirişlerden dolayı bütün yükün tek bir noktaya toplanmasının engellenmesi ve duvarın bir bütün olarak dönmesinin sağlayabilmektir.



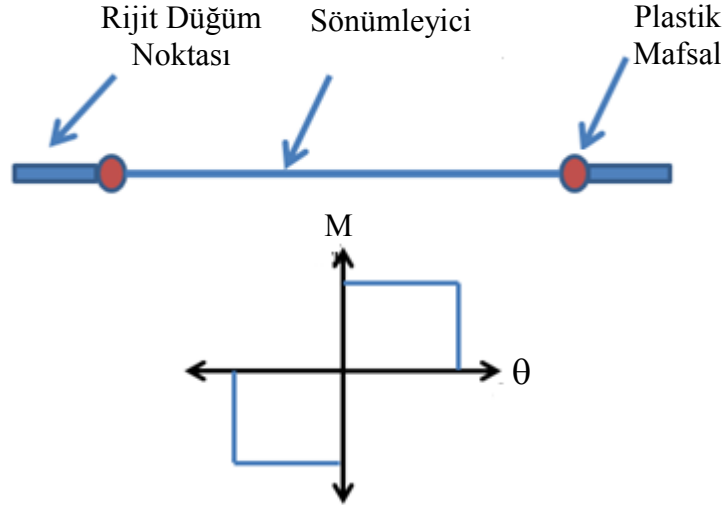
Şekil 4.14: Şematik Gömülü kiriş gösterimi.

#### 4.6 Sönümleyici Cihazların Modellenmesi

Model içerisindeki sönümleyici cihazlar, uçlarında rijit düğüm noktası ve plastik mafsallı olan elastik elemanlar tarafından Şekil 4.15'deki davranışı temsil edecek şekilde Şekil 4.16'da gösterilen yaklaşım kullanılarak modellenmiştir.



Şekil 4.15: Dönme Sürtünmesine dayalı sönümleyicinin davranışı ve yaklaşımı.

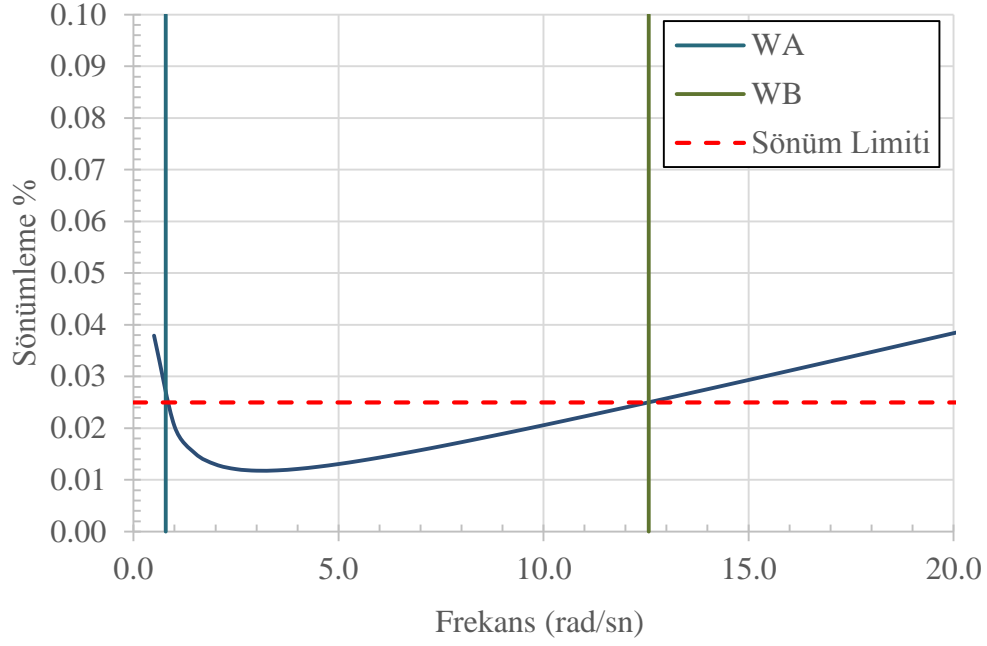


Şekil 4.16: Tipik Sönümleyici modeli.

#### 4.7 Sönüm

Yapı mod şekilleri, doğrusal olmayan analiz safhalarında yapısal elemanlarda meydana gelen deformasyonlardan dolayı rijitliğin sürekli değişmesi mod şekillerinin de değişmesine neden olmaktadır. Analiz safhalarında her adımda değişken bir modun bulunması ve her adımda bu modun hesaplanmasının uzun sürmesinden dolayı, modal bazlı sönümün doğrusal olmayan analizlerde kullanılması elverişsiz bir durum oluşturmaktadır (Powell, 2006b). Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde Şekil 4.12'de gösterildiği gibi analiz modelinde Rayleigh sönüm kullanılmıştır. Burada yüksek mod etkilerinin sönümlendirilmesi amacıyla Rayleigh sönüm eğrisinin %2.5 sönüm değerini kestiği ilk nokta, yapı hakim periyodunun 0.1 katına denk gelen frekans olacak şekilde, doğrusal olmayan şekil değiştirmeler nedeniyle oluşan rijitlik azalışlarının dikkate alınması amacıyla Rayleigh sönüm eğrisinin %2.5

sönüm değerini kestiği ikinci nokta, yapı hakim periyodunun 1.5 katına denk gelen frekans olacak şekilde seçilmiştir.



Şekil 4.17: Rayleigh sönüm grafiği.

## 5. SAYISAL İNCELEME VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde doğrusal olmayan model ile geliştirilen test binası için verilen bir tasarım spektrumuna ölçeklendirilmiş yedi deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Yapılan doğrusal olmayan analizler için üç ayrı senaryo düşünülmüştür. Bu senaryolarda orijinal yapı içerisindeki çelik bağ kirişleri sürtünmeye dayalı sönümleyiciler ile değiştirilmiştir. Birinci senaryoda test binası içerisinde farklı kapasiteye sahip sönümleyici elemanlar kullanılmasının yapı performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İkinci senaryoda yapı içerisinde farklı yerleşime sahip sönümleyici elemanlar kullanılmasının yapı performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üçüncü senaryoda ise yapı hasarını azaltmaya yönelik sönümleyici yerleşim çalışması yapılmıştır.

### 5.1 Test Binası Performans Değerlendirmesi

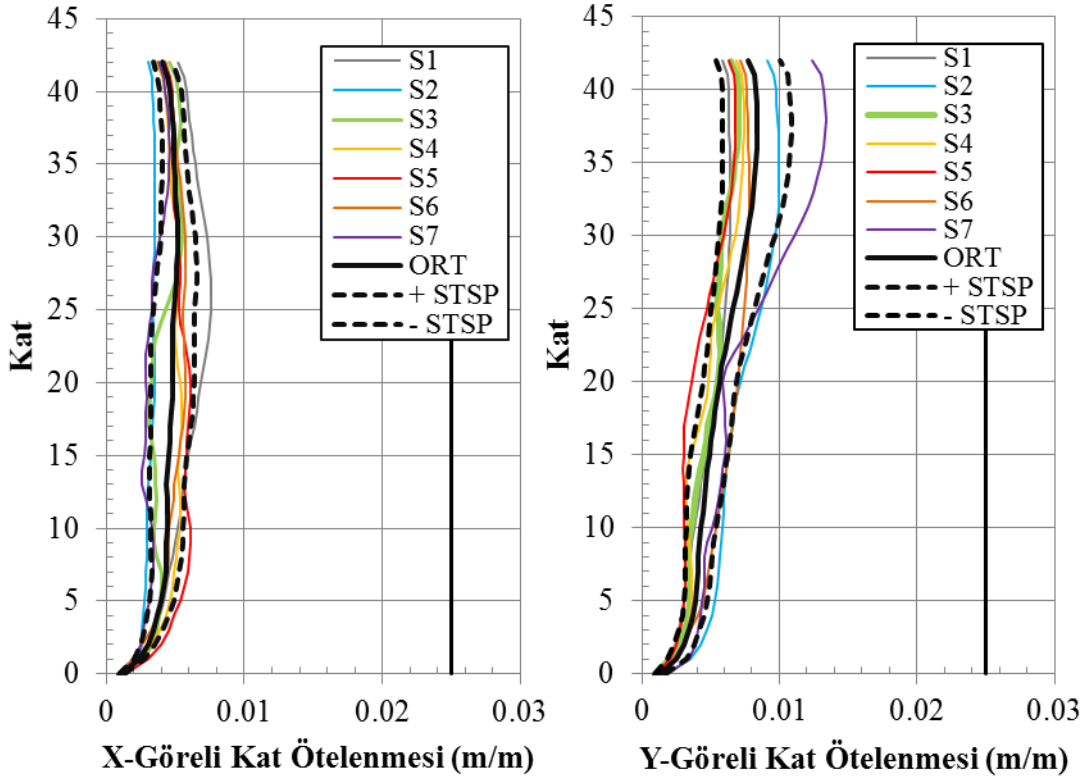
Bu bölümde ilk olarak, değişik senaryolar üzerinde yapılan doğrusal olmayan çözümlerinin karşılaştırılmasının daha iyi anlaşılabilmesi için orijinal yapının 500 yıllık tasarım depremi altında nasıl bir performans gösterdiği araştırılmıştır. Analiz sonucu elde edilen veriler aşağıda şekiller halinde verilmiştir.

**Çizelge 5.1:** 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem altında performans kabul kriterleri.

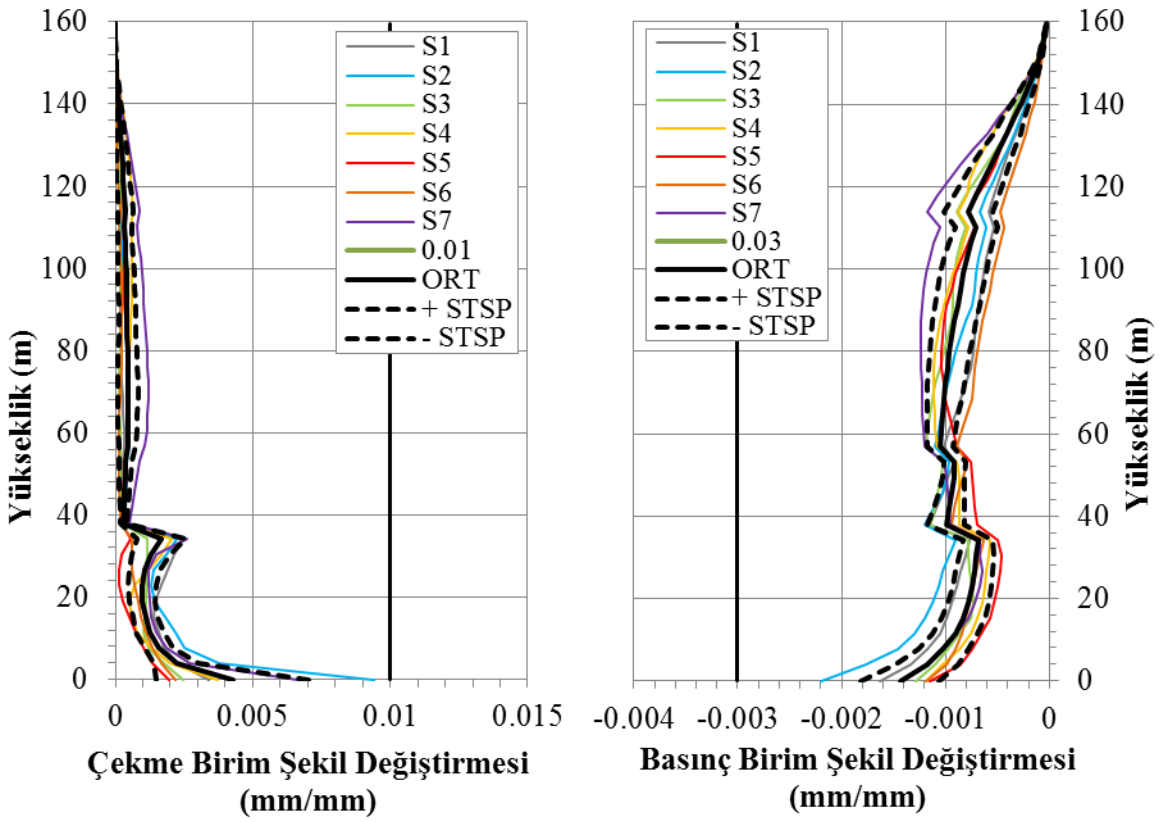
<b>Talep Parametreleri</b>	<b>Limit</b>
Görelî kat ötelenmesi	% 2.5
Çelik bağ kirişî dönme değeri	0.5 rad
Donatı aksel şekil değıştirme	0.05 çekme 0.02 basınç
Beton aksel şekil değıştirme	0.003 sargısız 0.015 sargılı
Perde kesme	Elastik

Şekil 5.1’de dinamik analizler sonrası elde edilen x ve y yönü görelî kat ötelenmeleri görülmektedir. Her iki yönde elde edilen değerlerin, İYBDY (2008)’ de 500 yıllık tasarım depremi için verilen ve görelî kat öteleme sınır değeri olan, %2.5 değeriinden küçük oldukları gözlemlenmiştir.

Şekil 5.2’de dinamik analizler sonrası elde edilen betonarme perde duvar üzerindeki aksel şekil değıştirmeler görülmektedir. Çelik ve beton için elde edilen bu değerlerin test binası için belirlenen performans kabul kriterlerinden daha küçük oldukları gözlemlenmiştir.



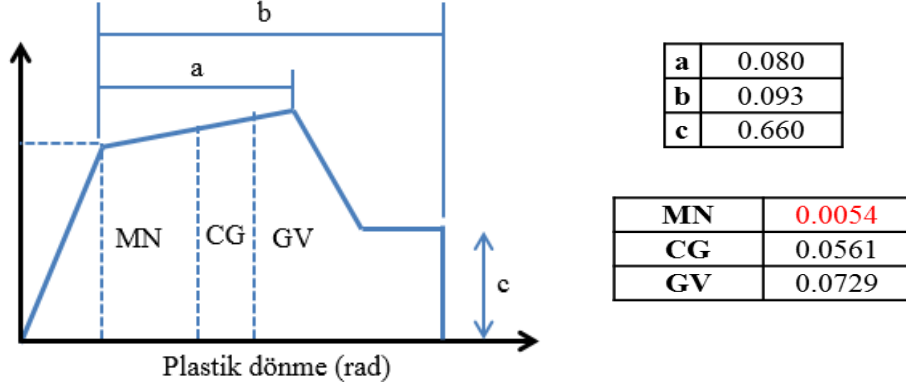
Şekil 5.1: Maksimum görelî kat ötelenmesi.



Şekil 5.2: Çekirdek perde başlık bölgesi maksimum eksenel şekil değişirmeleri.

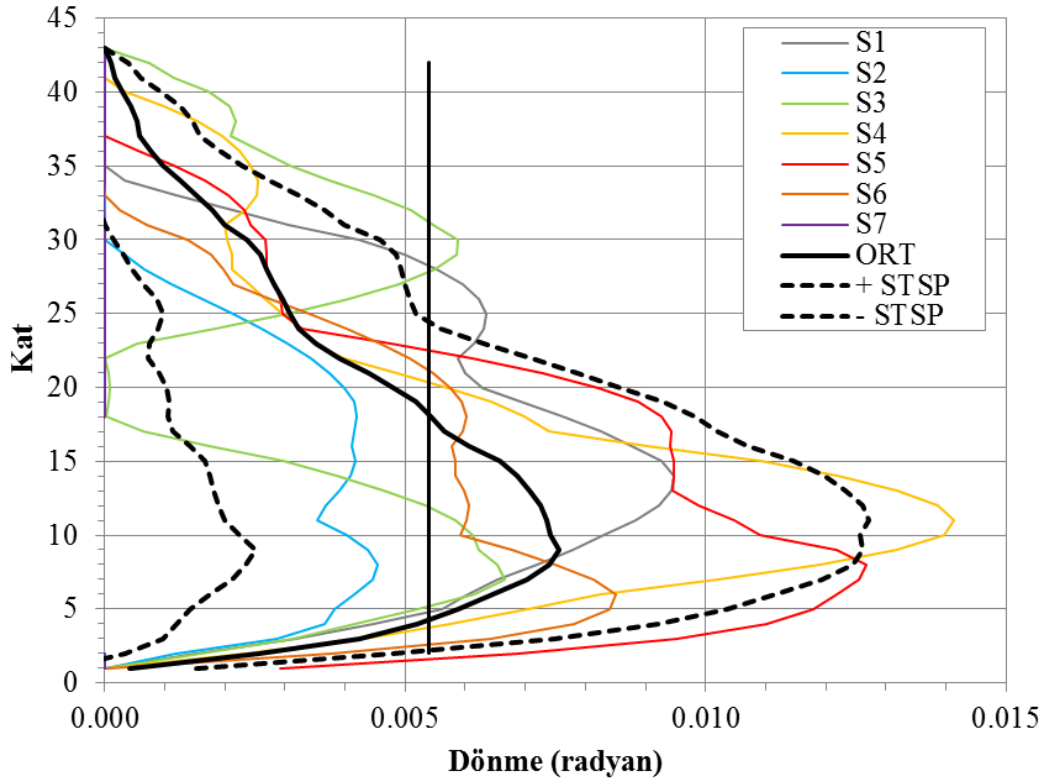


ASCE41 (2006) çelik bağ kirişinin deformasyon ilişkilerini dışmerkez çaprazlı çerçevelerdeki bağlantı elemana benzer olarak vermiştir. Şekil 5.3’de ASCE41 (2006)’daki tasarım kesme kapasitesine,  $V_p$ , göre normalize edilmiş iskelet eğrisi ve hasar limitleri gösterilmiştir.



Şekil 5.3: ASCE41 (2006) EBF bağ kirişi performans düzeyleri ve hasar limitleri.

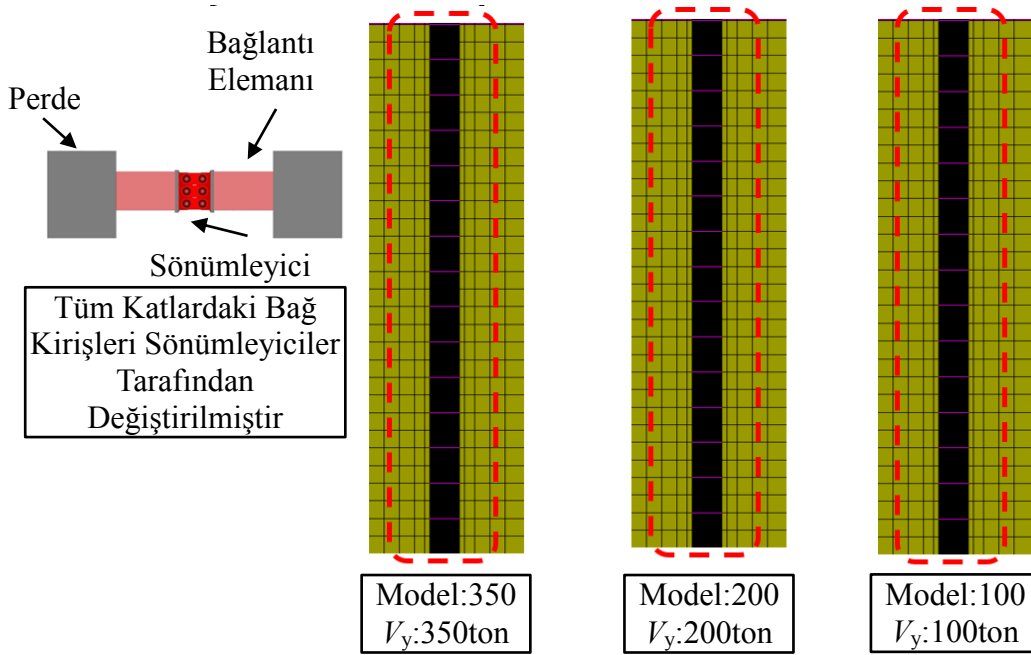
Şekil 5.4’de dinamik analizler sonrası elde edilen çelik bağ kirişleri üzerindeki plastik dönmeler görülmektedir. Plastik dönme değerlerinin 4. ve 18. katlar arası can güvenliği hasar sınırının altında oldukları gözlemlenirken, geri kalan katlarda bu dönme değerlerinin minimum hasar sınır değerinin altında kaldıkları gözlemlenmiştir.



Şekil 5.4: Çelik bağ kirişi dönme değerleri.

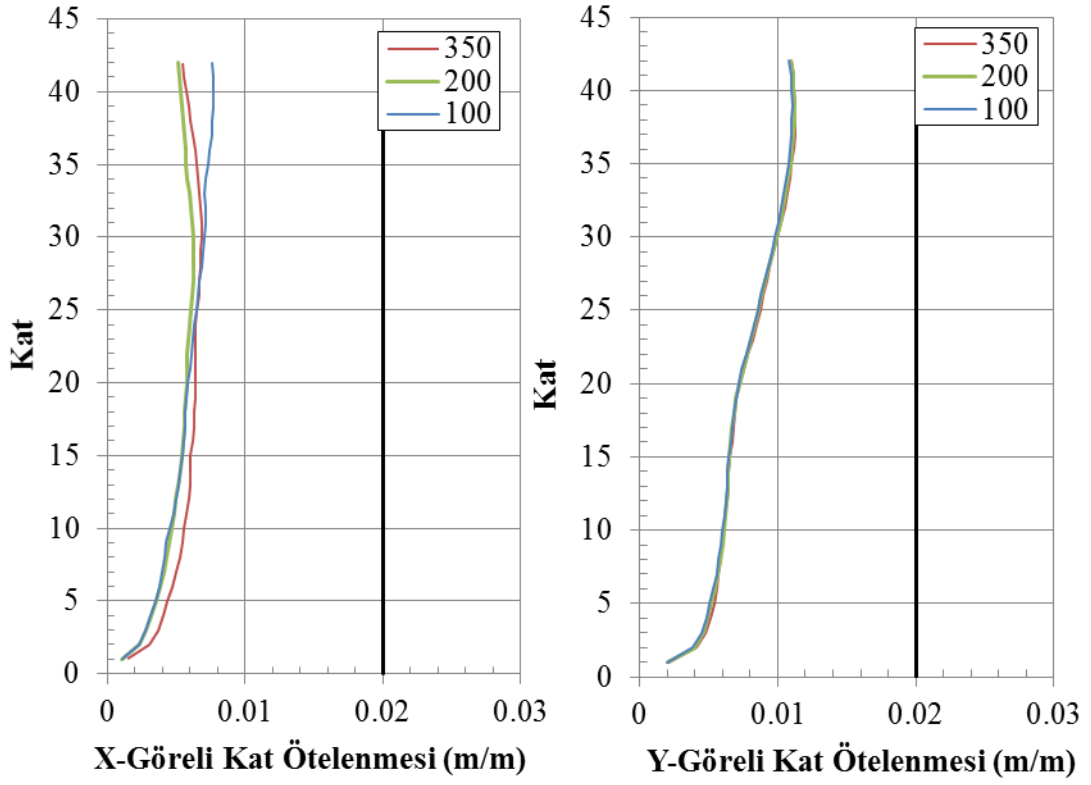
## 5.2 Kapasite Çalışması

Bu çalışmada, çelik bağ kirişleri yerine tüm katlarda sönümleyici cihazlar kullanılmıştır. Üç farklı kapasiteye sahip sönümleyici cihazlar üç farklı model üzerine yerleştirilerek farklı kapasiteye sahip cihazların yapısal davranış üzerinde ki etkileri incelenmiştir. Şekil 5.5'te kapasite çalışması için oluşturulan modeller gösterilmiştir. Model-350 aynı zamanda orijinal sistemdeki çelik bağ kirişleri temsil etmektedir.

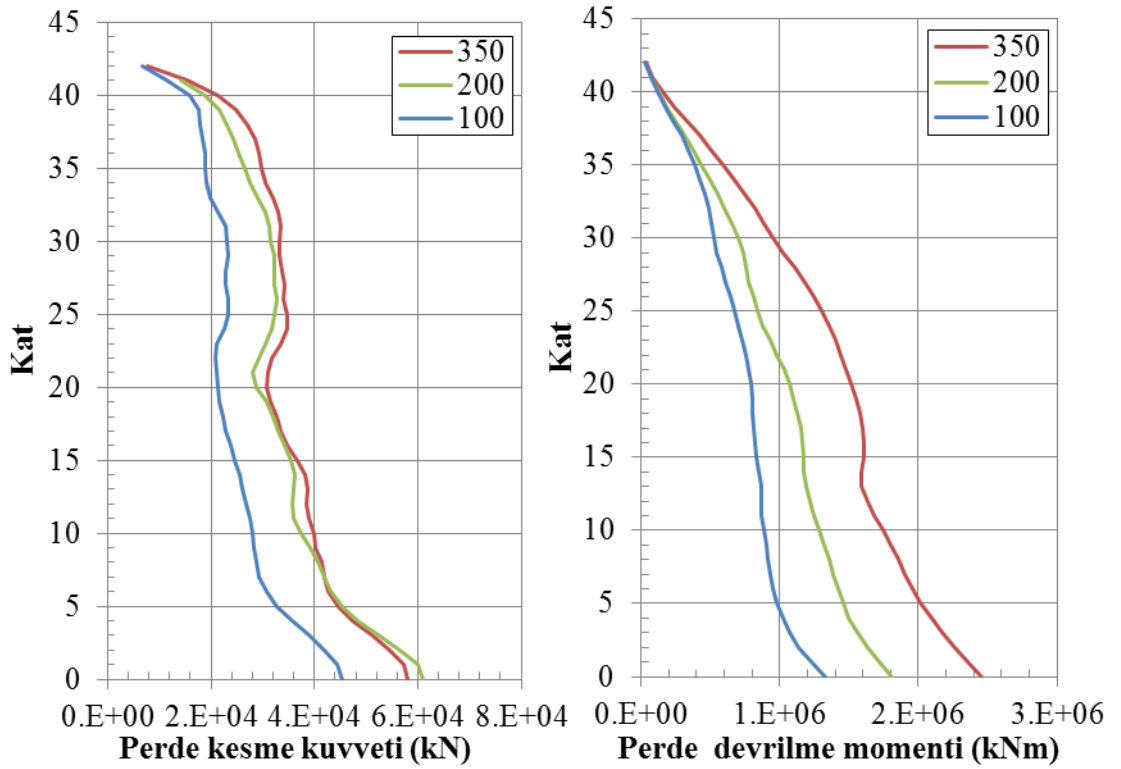


Aşağıdaki şekillerde gösterilen değerler, her model için, yedi deprem kaydı kullanılarak ayrı ayrı yapılan, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilen ortalama sonuçların karşılaştırmasını göstermektedir.

Şekil 5.6'da farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar görelî kat öteleme miktarı temel alınarak karşılaştırıldığında, bu modellerden elde edilen görelî kat ötelenmesi değerlerinin  $X$  yönünde birbirlerine yakın sonuç verdikleri gözlemlenmiştir. Model-350' de alt katlarda elde edilen görelî ötelenme miktarının daha büyük olduğu, Model-100' de ise üst katlarda elde edilen görelî ötelenme miktarının daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin ise Model-350'de bağ kirişlerinde ki enerji sönümlemesinin alt katlarda yığılması ve Model-100' de bağ kirişlerindeki enerji sönümlemesinin üst katlara doğru giderek yığılmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Yapı içerisinde  $Y$  yönünde herhangi bir bağ kirişi bulunmadığı için  $y$  yönündeki görelî kat ötelenmesi değerlerinin yaklaşık aynı sonucu verdikleri gözlemlenmiştir.



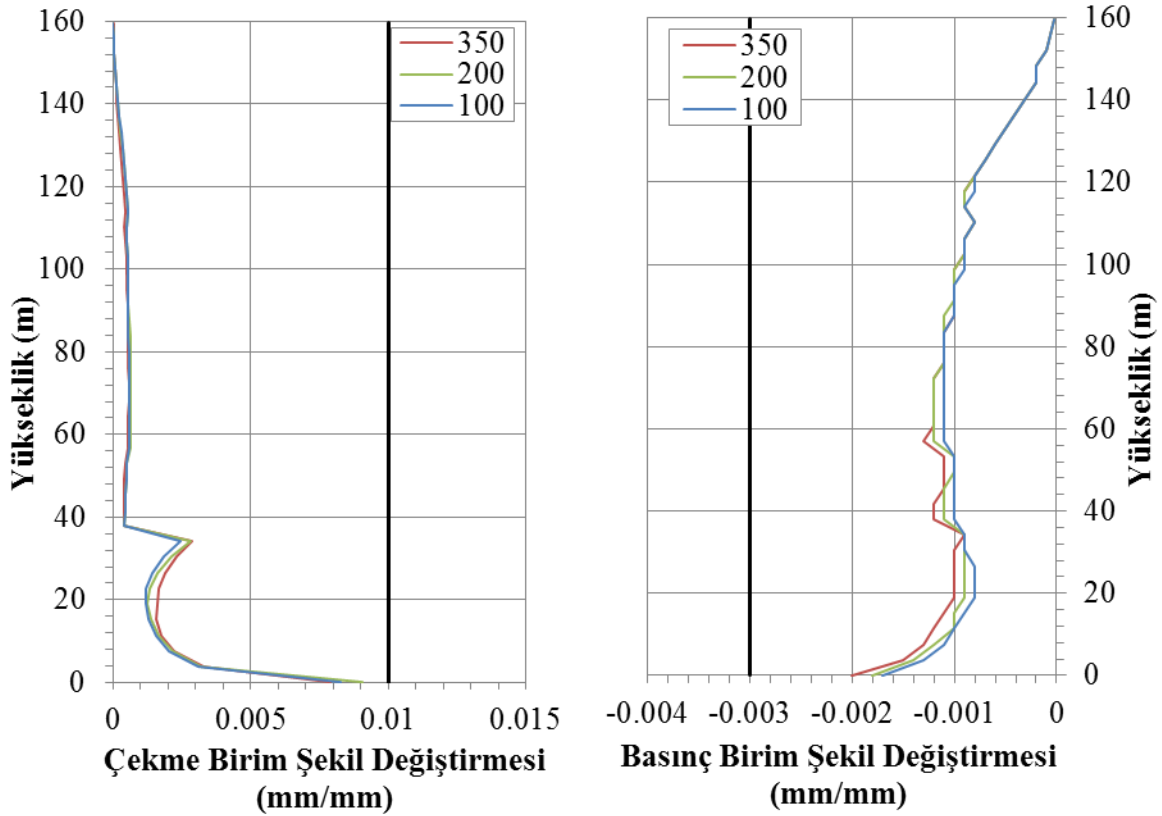
Şekil 5.6: X ve Y yönü ortalama görelî kat ötelenmesi.



Şekil 5.7: X yönü ortalama perde kat kesme kuvvet ve Y yönü ortalama perde kat devrilme moment diyagramı.

Şekil 5.7’de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar perde kesme kuvveti değerleri temel alınarak karşılaştırıldığında, Model-350 ve Model-200 deki değerlerin yaklaşık olarak aynı sonuç verdiği, Model-100’ de ise bağ kirişlerinde ki kapasitenin önemli miktarda düşmesiyle birlikte perdeye gelen kesme kuvvetinin de diğer modellere göre düştüğü gözlemlenmiştir. Sonuçlar devrilme momenti temel alınarak karşılaştırıldığında kesme kuvvetindeki değişimin aksine tüm modellerde kapasitenin düşmesiyle birlikte perdeye gelen momentlerinde düştüğü gözlemlenmiştir.

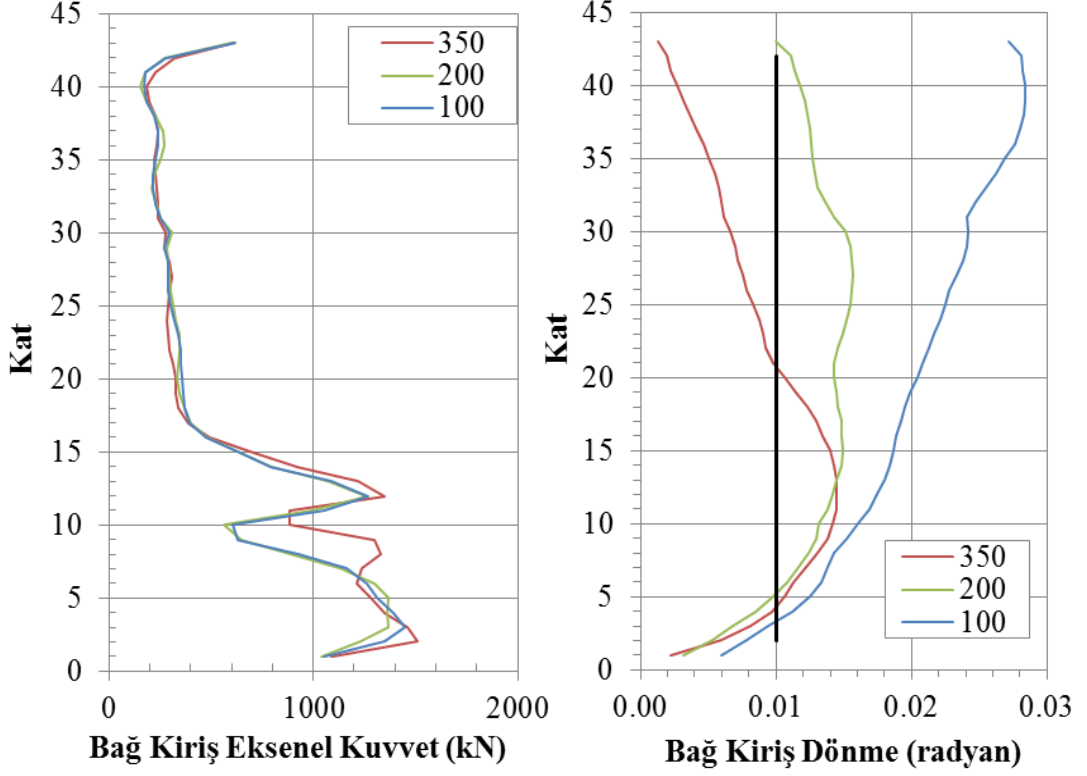
Şekil 5.8’de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar perde eksenel şekil değiştirme değerleri temel alınarak karşılaştırıldığında, tüm modellerde ki değerlerin yaklaşık olarak aynı olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 5.8:** Çekirdek perde başlık bölgesi maksimum eksenel şekil değiştirme diyagramı.

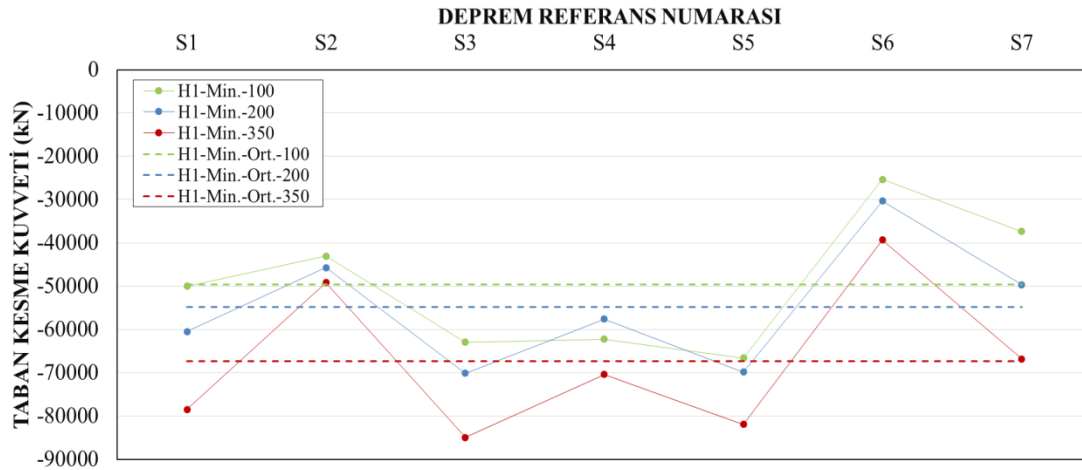
Şekil 5.9’da farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar bağ kirişine gelen eksenel kuvvet değerleri temel alınarak karşılaştırıldığında, üst katlarda tüm modellerdeki eksenel kuvvetlerin yaklaşık olarak aynı olduğu, alt katlarda ise Model-350’ deki eksenel kuvvetin diğer modellere göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar bağ kirişlerindeki plastik dönme değerleri temel alınarak karşılaştırıldığında, bağ kirişlerinin kapasitelerinin değişmesiyle birlikte plastik dönmelerinde önemli

miktarda değiştiği gözlemlenmiştir. Yüksek kapasiteye sahip sönümleyici kullanıldığında bağ kirişlerindeki hasarın alt katlarda yığıldığı, orta kapasiteye sahip sönümleyici kullanıldığında bağ kirişlerindeki hasarın tüm katlara dağıldığı, düşük kapasiteye sahip sönümleyici kullanıldığında ise hasarın üst katlara doğru yığılarak arttığı gözlemlenmiştir.

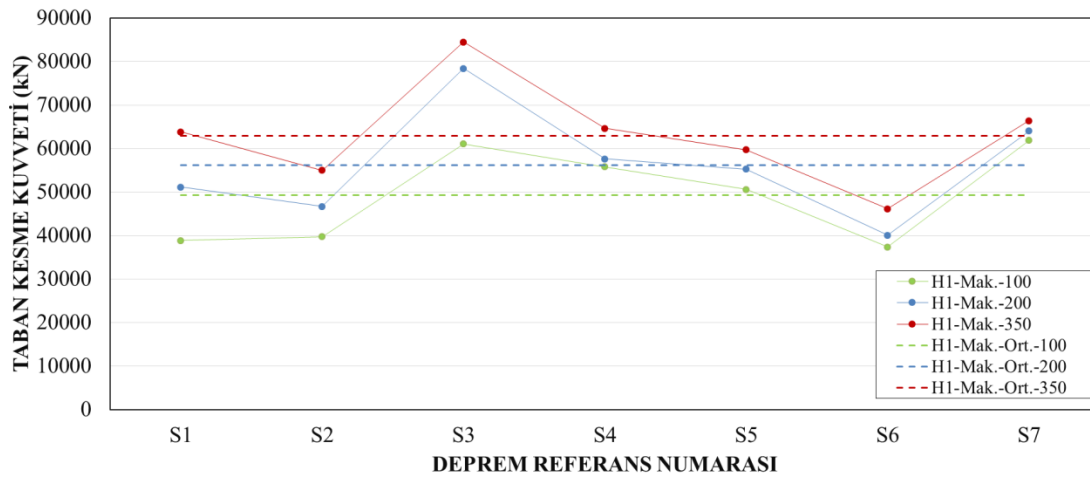


Şekil 5.9: Bağ kirişi aksel kuvvet ve plastik dönme diyagramı.

Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’ de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar H1 X yönü taban ortalama kesme kuvvetleri temel alınarak karşılaştırıldığında, yüksek kapasiteli sönümleyicilerin kullanıldığı modellerde taban kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. 300 ton kapasiteli sönümleyicilerin kullanıldığı modelden elde edilen ortalama taban kesme kuvveti, 200 ton ve 100 ton kapasiteli sönümleyicilerin kullanıldığı modellerden elde edilen ortalama taban kesme kuvvetinden sırası ile %12 ve %27 oranında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



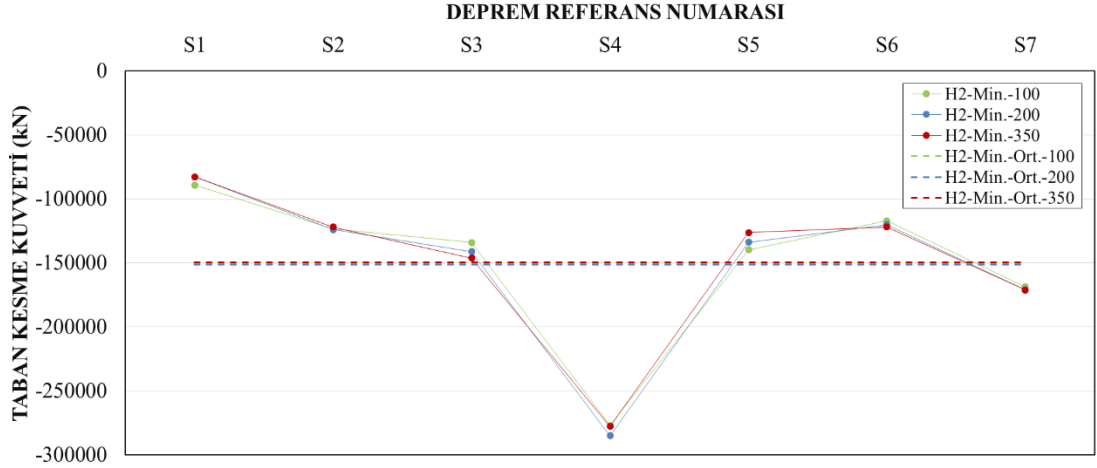
Şekil 5.10: X (H1) yönü minimum taban kesme kuvveti.



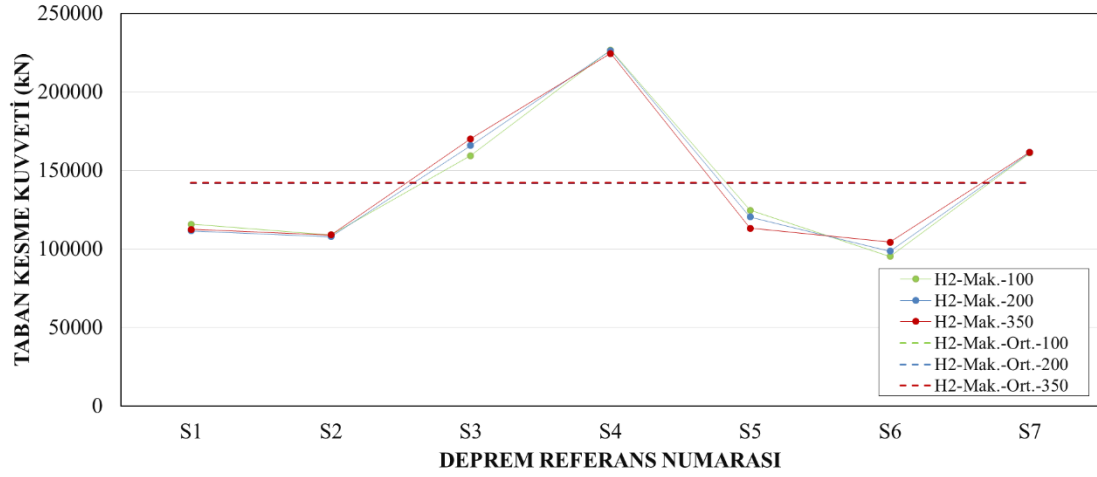
Şekil 5.11: X (H1) yönü maksimum taban kesme kuvveti.

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13' de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar Y yönü taban kesme kuvvetleri temel alınarak karşılaştırıldığında, yapı içerisinde Y yönünde sönümleyici bulunmadığından elde edilen taban kesme kuvvetlerinde önemli bir farka rastlanmamıştır.

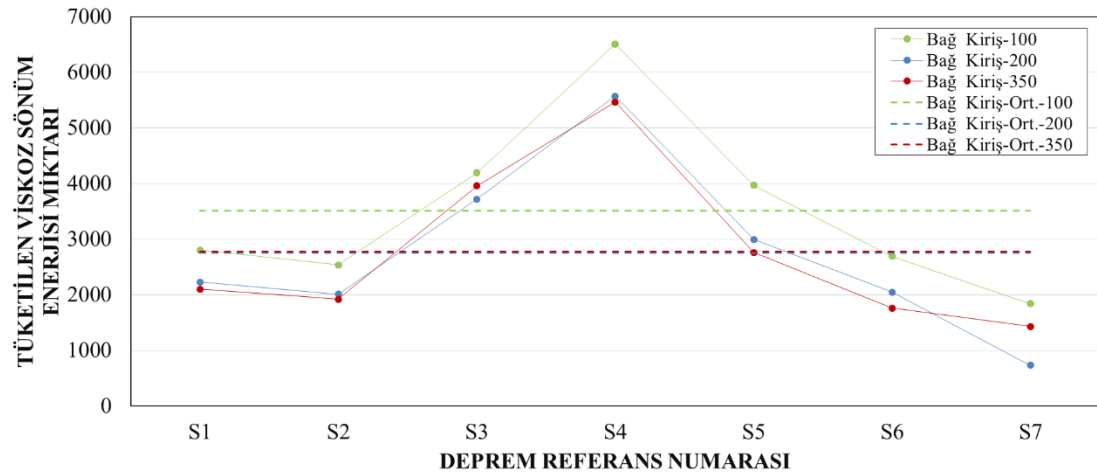
Şekil 5.14'de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar tüketilen viskoz sönüm enerjisi temel alınarak karşılaştırıldığında, bağ kirişlerinde tüketilen ortalama viskoz enerjinin 200ton ve 350ton kapasiteli sönümleyicilerin kullanıldığı modeller için çok yakın olduğu, 100 ton kapasiteli sönümleyicinin kullanıldığı model için ise yaklaşık %25 oranında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 5.12:** Y (H2) yönü minimum taban kesme kuvveti.

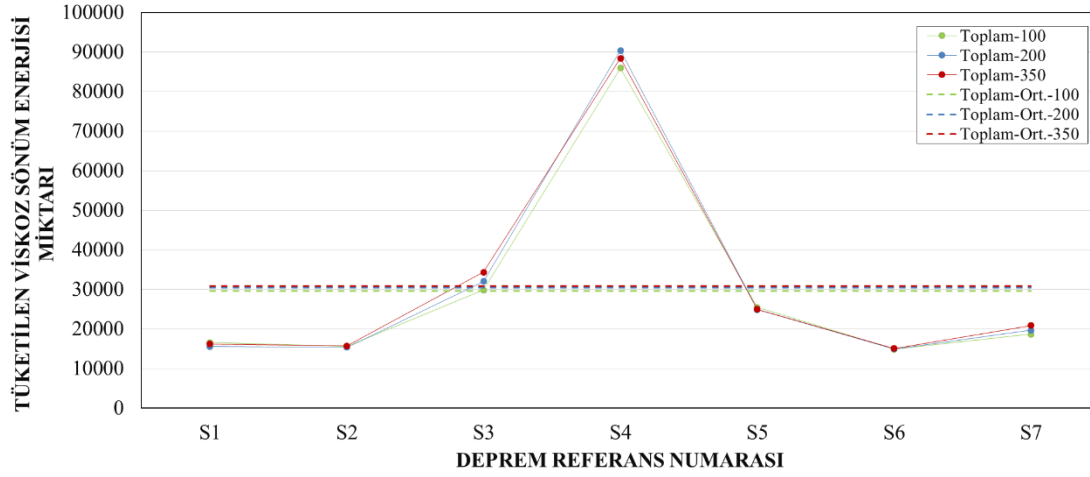


**Şekil 5.13:** Y (H2) yönü maksimum taban kesme kuvveti.



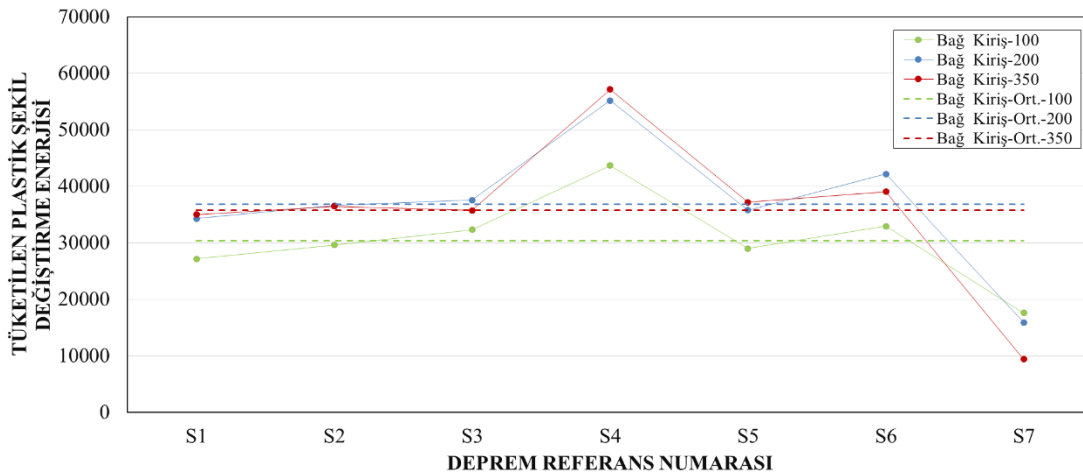
**Şekil 5.14:** Bağ kirişlerinde tüketilen viskoz enerji miktarı.

Şekil 5.15’de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar tüketilen toplam viskoz enerji temel alınarak karşılaştırıldığında, yapı içerisinde tüketilen toplam viskoz enerjinin her üç model için çok yakın oldukları gözlemlenmiştir.



Şekil 5.15: Tüketilen toplam viskoz enerji miktarı.

Şekil 5.16’da farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar bağ kirişlerinde tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi temel alınarak karşılaştırıldığında, bağ kirişlerinde tüketilen ortalama viskoz enerjinin 200 ton ve 350 ton kapasiteli sönümleyicilerin kullanıldığı modeller için çok yakın olduğu, 100 ton kapasiteli sönümleyicilerin kullanıldığı modelde ise tüketilen viskoz enerjinin diğer modellerden yaklaşık olarak %15 oranında daha az olduğu gözlemlenmiştir.

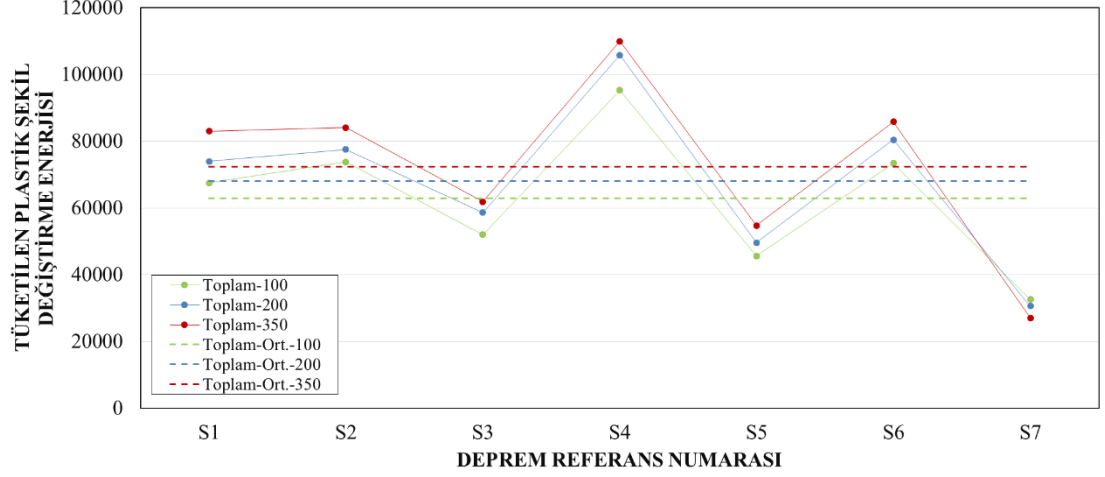


Şekil 5.16: Bağ kirişlerinde tüketilen plastik şekil değiştirme enerji miktarı.

Şekil 5.17’de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar yapı içerisinde tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi temel alınarak karşılaştırıldığında, 350 ton



kapasiteli sönümleyicilerin kullanıldığı modelden elde edilen ortalama tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisinin, 200 ton ve 100 ton kapasiteli sönümleyicilerin kullanıldığı modellerden elde edilen ortalama tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisinden sırası ile %6 ve %15 oranında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.17: Tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerji miktarı.

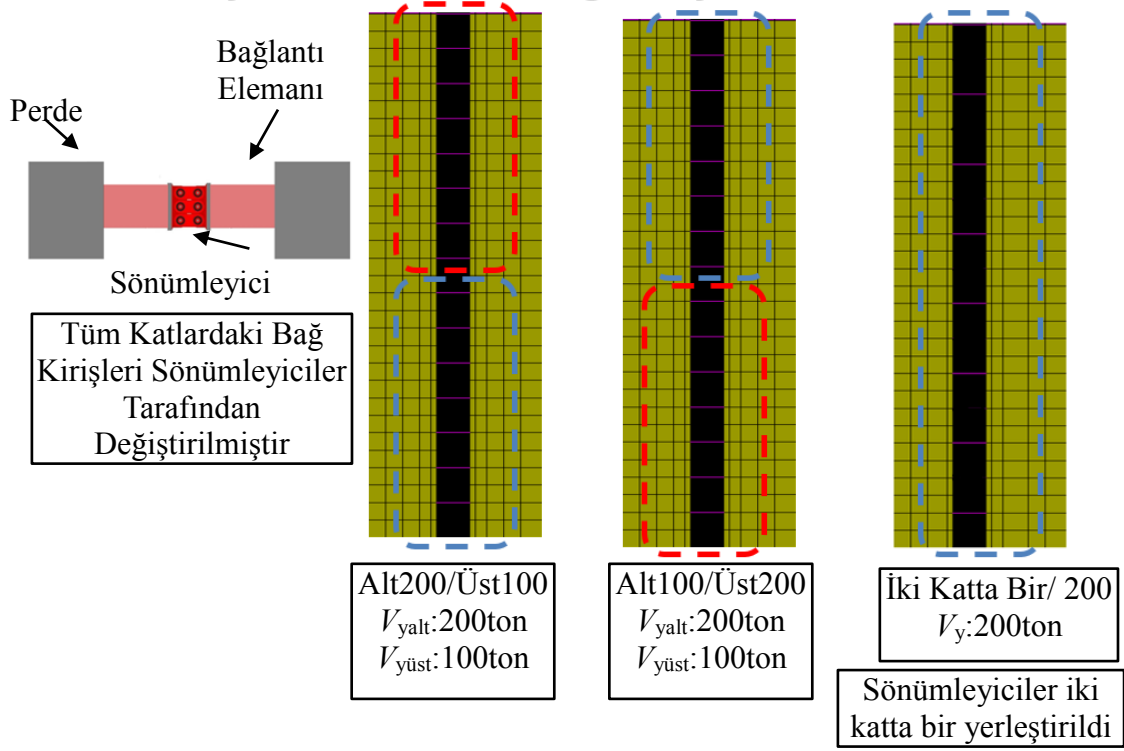
### 5.3 Yerleşim Çalışması

Bu çalışmada, çelik bağ kirişleri yerine tüm katlarda sönümleyici cihazlar kullanılmıştır. Farklı veya aynı kapasiteye sahip sönümleyici cihazlar üç farklı yerleşim halinde model üzerine yerleştirilerek farklı yerleşime sahip cihazların yapısal davranış üzerinde ki etkileri incelenmiştir. Şekil 5.18’de yerleşim çalışması için oluşturulan modeller gösterilmiştir. Model alt200/üst100’ de test binasının ilk 20 katına kadar akma kuvveti 200 ton olan sönümleyiciler yerleştirilmişken, diğer katlara akma kuvveti 100 ton olan sönümleyiciler yerleştirilmiştir. Model alt100/üst200’ de test binasının ilk 20 katına kadar akma kuvveti 100 ton olan sönümleyiciler yerleştirilmişken, diğer katlara akma kuvveti 200 ton olan sönümleyiciler yerleştirilmiştir. Model iki Katta Bir/200’ de ise yapı içerisinde iki katta bir akma kuvveti 200 ton olan sönümleyiciler yerleştirilmiştir.

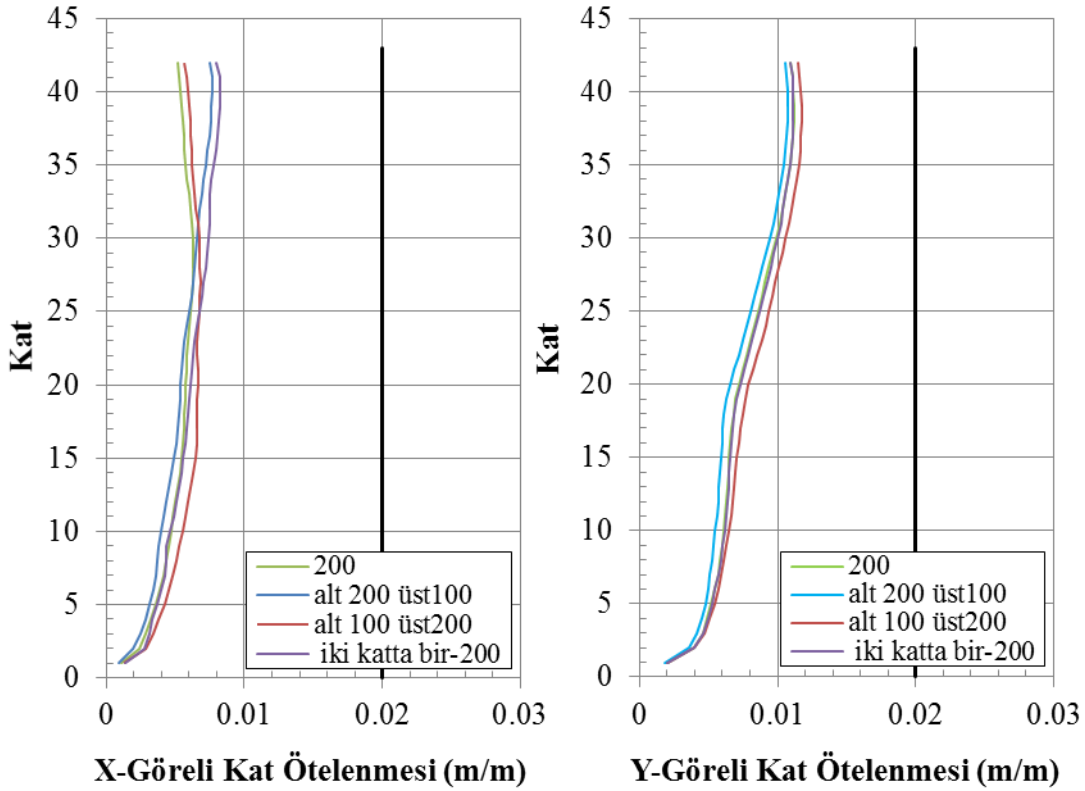
Değişik senaryolar üzerinde yapılan doğrusal olmayan çözümlerinin karşılaştırılmasının daha iyi anlaşılabilmesi için tüm katlarda akma kuvveti 200 ton olan, kapasite çalışmasında sonuçları gösterilen model aşağıdaki grafiklerde tekrar gösterilmiştir. Aşağıdaki şekillerde gösterilen değerler, her model için, yedi deprem kaydı kullanılarak ayrı ayrı yapılan, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilen ortalama sonuçların karşılaştırmasını göstermektedir.

Şekil 5.19’da farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar görece kat öteleme miktarı temel alınarak karşılaştırıldığında, bu modellerden elde edilen görece

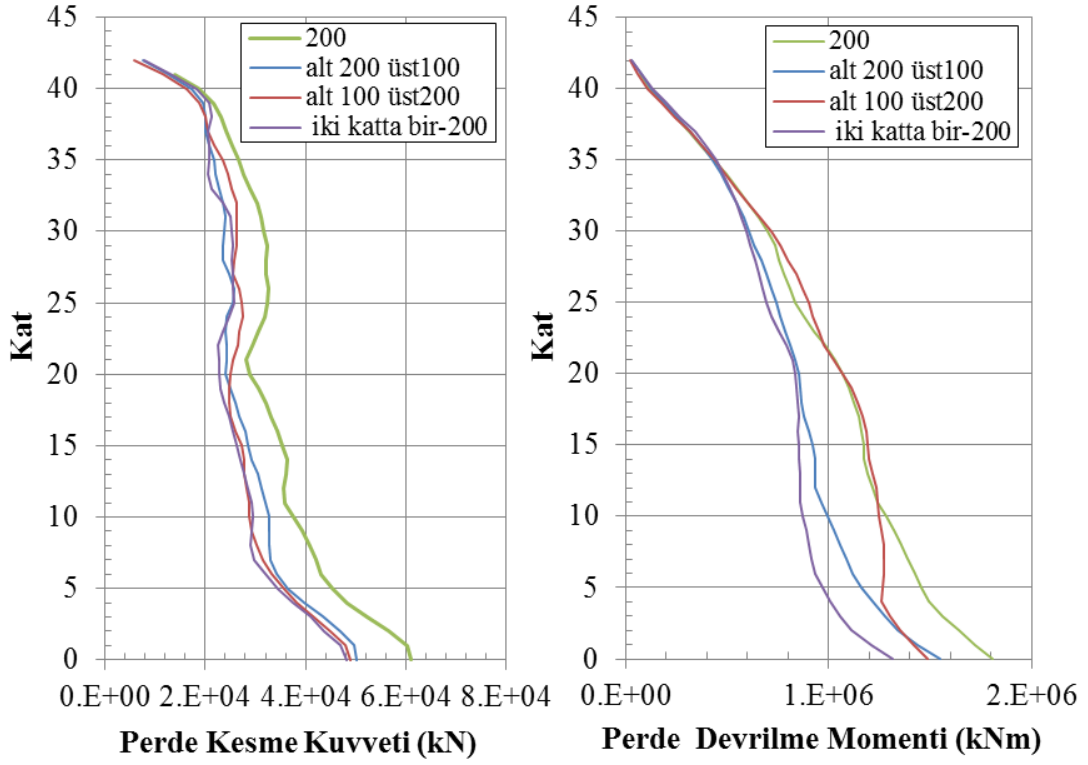
kat ötelenmesi değerlerinin  $X$  ve  $Y$  yönünde birbirlerine yakın sonuç verdikleri gözlemlenmiştir.



Şekil 5.18: Yerleşim çalışması modelleri.



Şekil 5.19:  $X$  ve  $Y$  yönü ortalama görelî kat ötelenmesi.

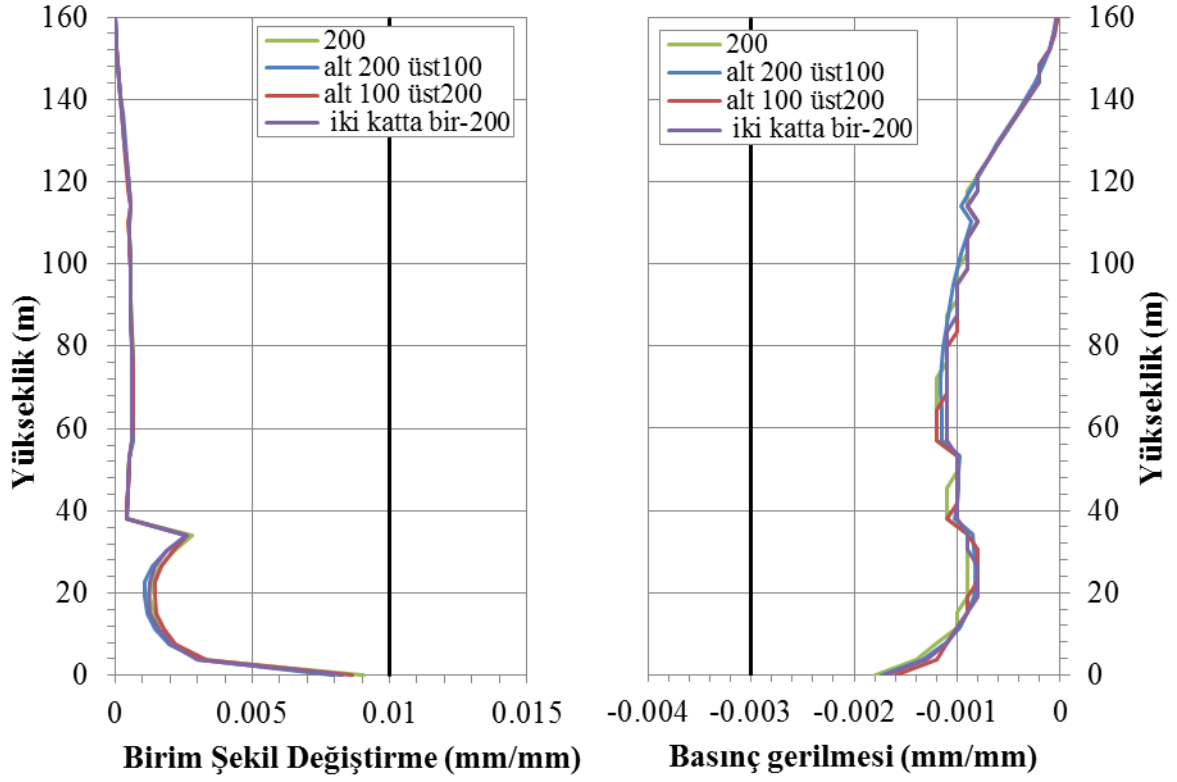


**Şekil 5.20:** X yönü ortalama perde kat kesme kuvvet ve Y yönü ortalama perde kat devrilme moment diyagramı.

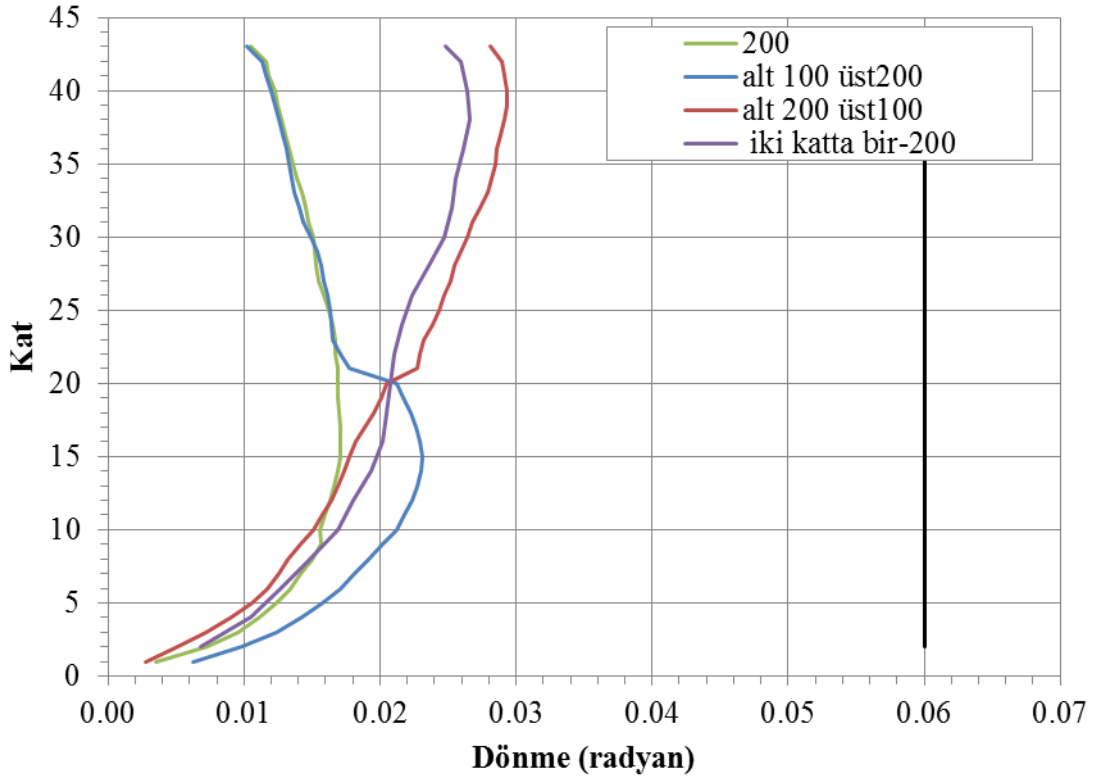
Şekil 5.20’de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar perde kesme kuvveti değerleri temel alınarak karşılaştırıldığında, farklı yerleşime sahip modellerdeki değerlerin yaklaşık olarak aynı sonuç verdiği ve Model-200’ e göre perdeye gelen kesme kuvvetinin düştüğü gözlemlenmiştir. Sonuçlar devrilme momenti temel alınarak karşılaştırıldığında kesme kuvvetindeki değişimin aksine kapasitenin ve yerleşimin değişmesiyle birlikte perdeye gelen momentlerinde değiştiği gözlemlenmiştir.

Şekil 5.21’de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar perde eksenel şekil değiştirme değerleri temel alınarak karşılaştırıldığında, tüm modellerdeki değerlerin yaklaşık olarak aynı olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 5.22’de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar bağ kirişlerindeki plastik dönme değerleri temel alınarak karşılaştırıldığında, bağ kirişlerinin kapasitelerinin değişmesiyle birlikte plastik dönmelerinde önemli miktarda değiştiği gözlemlenmiştir. Alt katlarda düşük üst katlarda yüksek kapasiteye sahip sönmüleyici kullanıldığında bağ kirişlerindeki hasarın alt katlarda yığıldığı, alt ve üst katlarda düşük kapasiteye sahip sönmüleyici kullanıldığı takdirde ise hasarın üst katlara doğru yığılarak arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.21: Çekirdek perde başlık bölgesi maksimum aksenal şekil değişirme diyagramı.

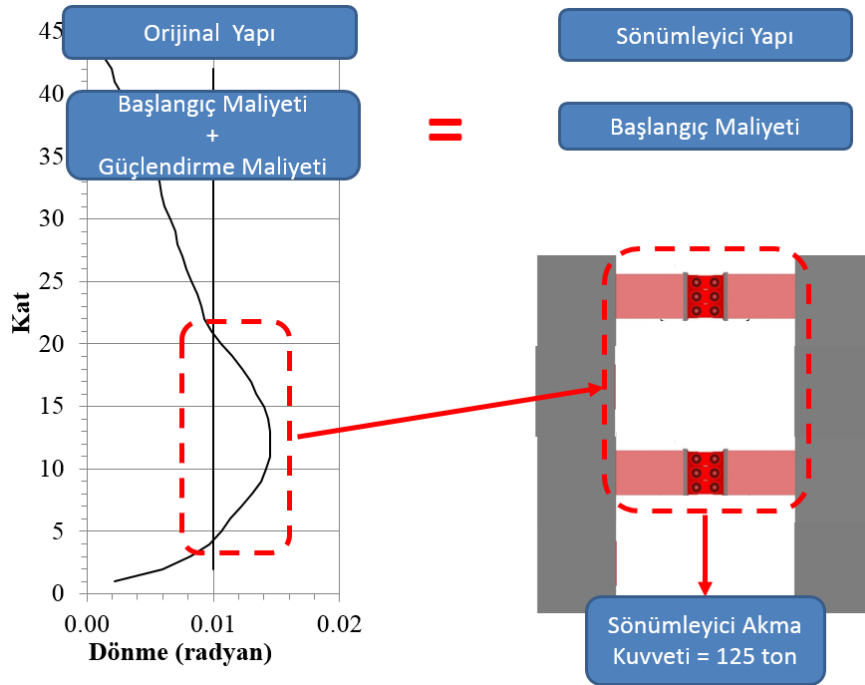


Şekil 5.22: Bağ kirişi plastik dönme diyagramı.

#### 5.4 Yapı Hasarına Yönelik Yerleşim Çalışması

Performans değerlendirmesi sonucu ilk 20 katta önemli derecede hasar alan çelik bağ kirişleri yerine bu kirişlerin başlangıç ve güçlendirme maliyetine denk gelecek maliyette sönümleyici elemanlar kullanarak hasarı azaltmaya yönelik yerleşim incelemesi yapılmıştır.

Orijinal test binasındaki çelik bağ kirişlerinin 2500 yıllık deprem sonrası belirli bir seviye üzerinde hasar almaları durumunda değiştirilmeleri gerekeceği ve hasar alan bu elemanların değiştirilmesi sürecinde yapının kullanımının durabileceği veya yapının kullanımı durmasa bile ortaya yüksek bir güçlendirme maliyeti çıkabileceği düşünülmüştür. Yüksek yapılar da bağ kirişlerinde hangi hasar limit aralıkları için değiştirilmeleri veya güçlendirilmeleri gerektiğine dair açık bir şekilde belirtilen bir kaynak yoktur. Bu kapsamda orijinal yapı içerisindeki bağ kirişlerinde şiddetli bir deprem sonrası 0.01 rad. üzerinde dönme gerçekleştiğinde bu kirişlerin değiştirileceği varsayılmıştır. Şekil 5.23'te gösterilmiş olan yerleşim ile orijinal yapı içerisindeki 0.01 rad. üzerinde dönmeye sahip olan bağ kirişleri, maliyet analizleri sonrasında elde edilen 125 ton kapasiteye sahip sönümleyiciler ile değiştirilmiştir. Burada kullanılan sönümleyicinin kapasitesi belirlenirken çelik bağ kirişinin başlangıç ve güçlendirme maliyetine denk gelmesi amaçlanmıştır.



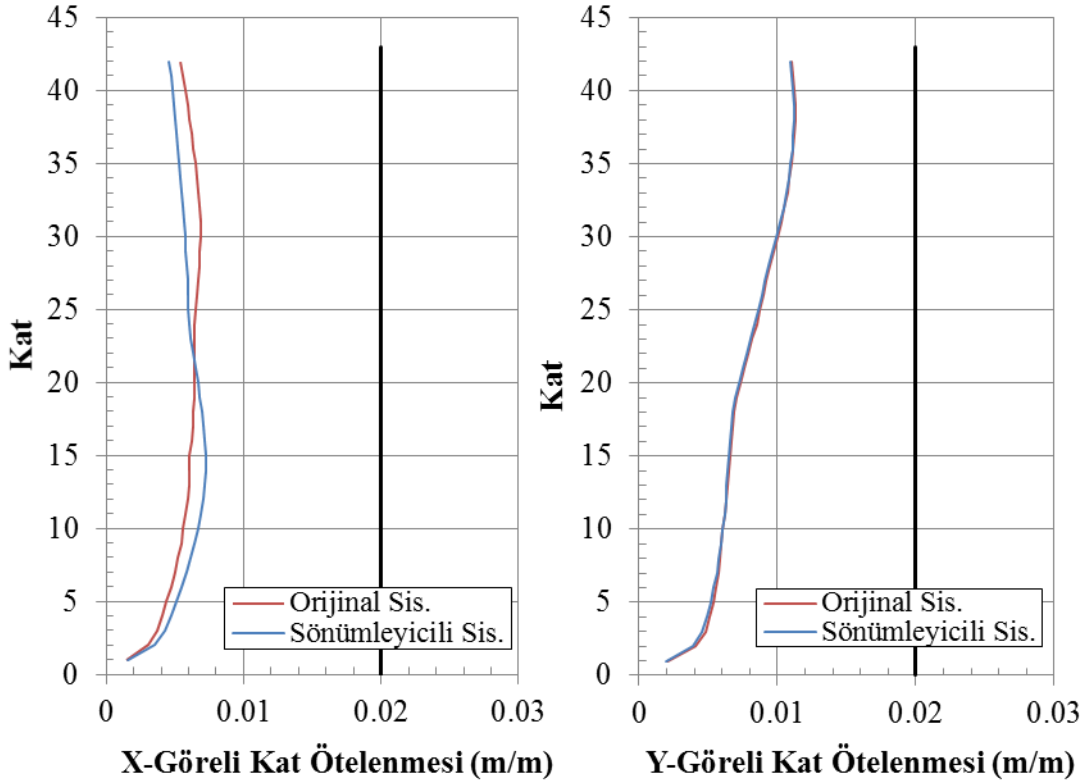
Şekil 5.23: Yapı hasarını azaltmaya yönelik yerleşim.

Aşağıdaki şekillerde gösterilen değerler, her model için, yedi deprem kaydı kullanılarak ayrı ayrı yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilen ortalama sonuçların karşılaştırmasını göstermektedir.

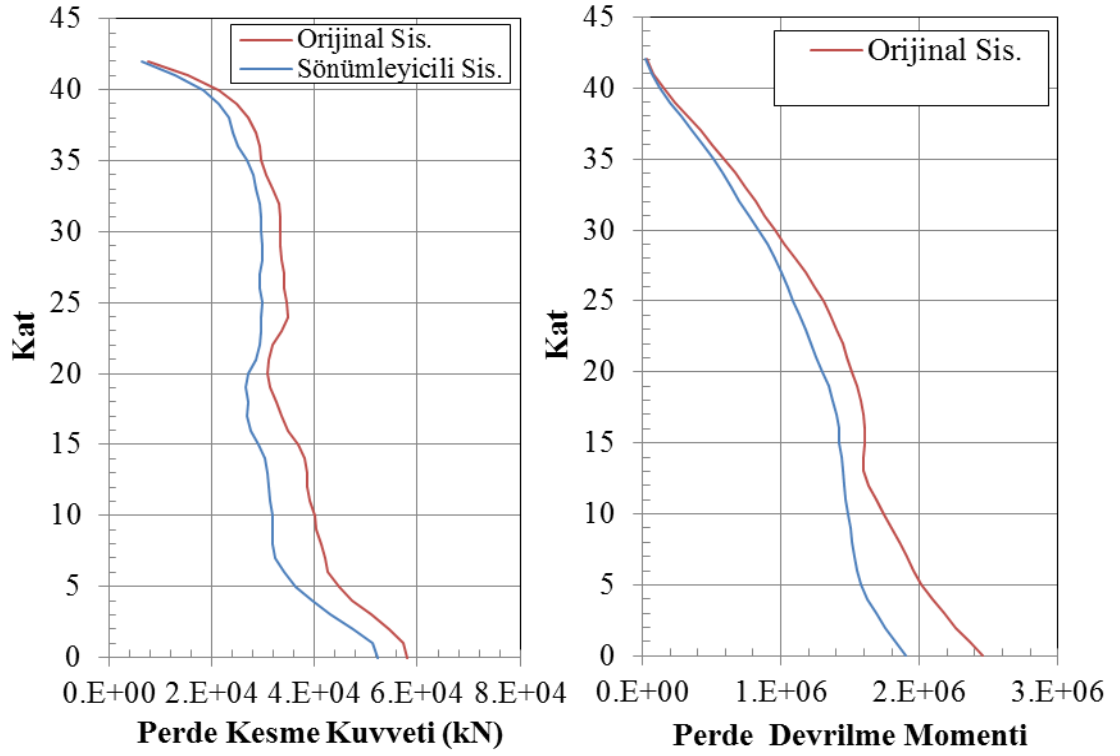
Şekil 5.24’ de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar görelî kat öteleme miktarı temel alınarak karşılaştırıldığında, bu modellerden elde edilen görelî kat ötelenmesi değerlerinin x yönünde birbirlerine yakın sonuç verdikleri gözlemlenmiştir. Bağ kirişlerindeki kapasite değişiminin y yönüne herhangi bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Şekil 5.25’de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar perde kesme kuvveti ve devrilme momenti değerleri temel alınarak karşılaştırıldığında, alt katlarda düşük kapasiteye sahip bağ kirişleri kullanıldığında perdeye gelen kesme kuvvetlerinin ve devrilme momentinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun nedenininse hasarı azaltmaya yönelik yerleşimde alt katlardaki bağ kirişlerinde akmanın daha erken gerçekleşmesi sonucu olduğu düşünülmektedir.

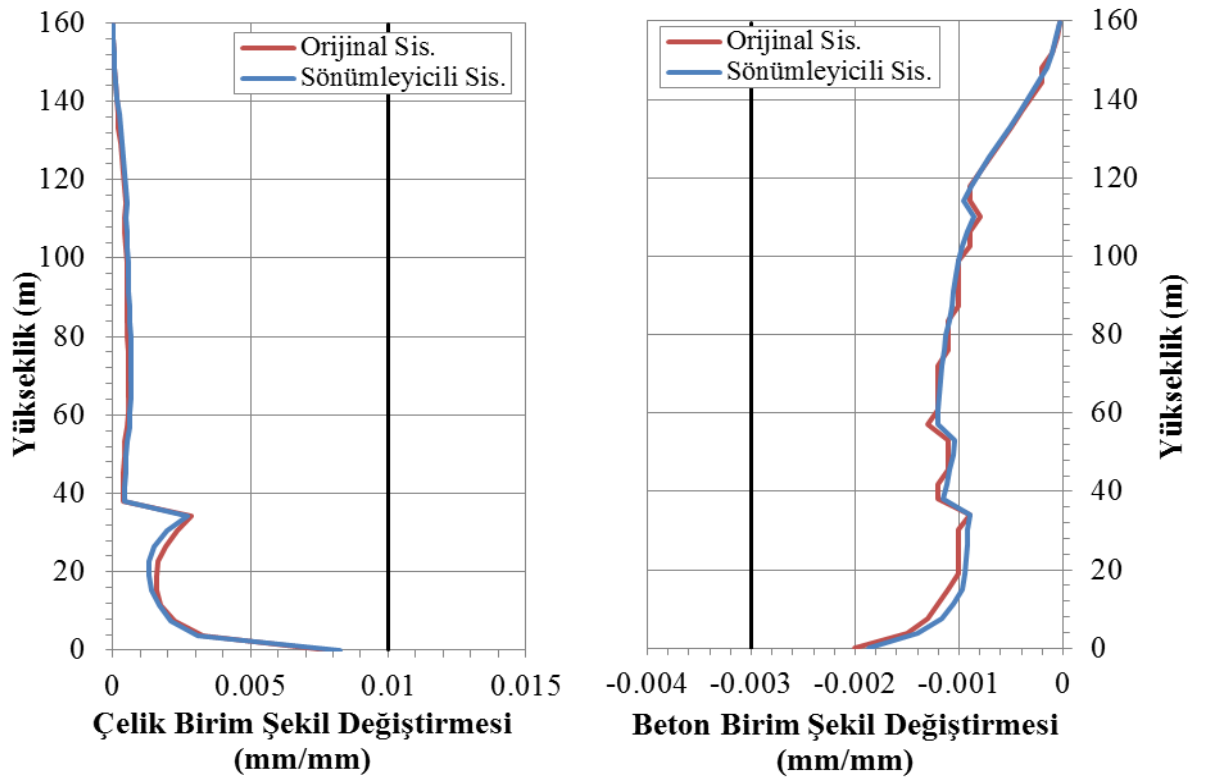
Şekil 5.26’da farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar perde eksenel şekil değiştirme değerleri temel alınarak karşılaştırıldığında, tüm modellerde ki değerlerin yaklaşık olarak aynı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.24: X ve Y yönü ortalama görelî kat ötelenmesi.

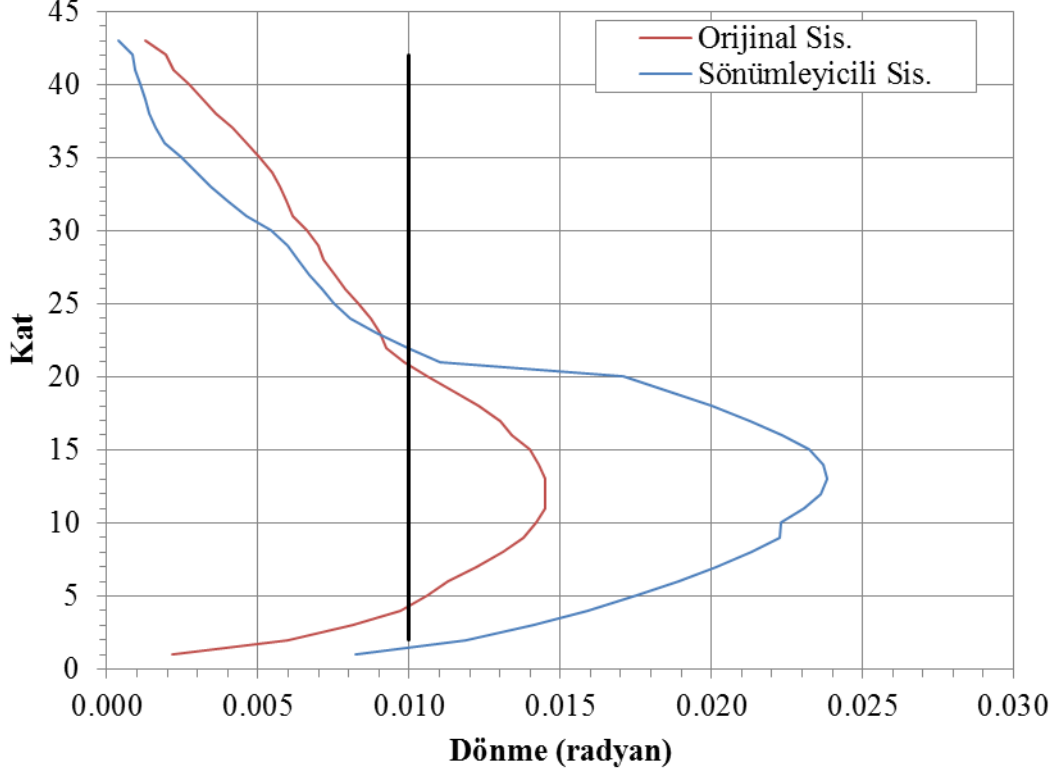


Şekil 5.25: X yönü ortalama perde kat kesme kuvvet ve Y yönü ortalama perde kat devrilme momenti diyagramı.



Şekil 5.26: Çekirdek perde başlık bölgesi maksimum aksenal şekil değiştirme diyagramı.

Şekil 5.27’de farklı modellerin analizleri sonunda elde edilen sonuçlar bağ kirişlerindeki plastik dönme değerleri temel alınarak karşılaştırıldığında, sönümleyicilerdeki dönme miktarının yaklaşık olarak %1.4 değerinden %2.4 değerine arttığı gözlemlenmiştir. Sönümleyici yerleştirilmesi yapılan ilk 20 kattan hemen sonraki birkaç katta da kirişlerdeki dönme değerinin 0.01 rad. değerini aştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.27: Bağ kirişi plastik dönme diyagramı.



## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sönümleyicilerle bağlı betonarme perde duvarlı yüksek binaların tasarımını kolaylaştırıcı yöntemlerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bunun için Türkiye’de tasarlanmış ve inşa edilmiş 43 katlı yüksek bir bina örnek bina olarak incelenmiş ve sönümleyici olarak dönme sürtünmesine dayalı sönümleyici kullanılmıştır. Tasarım depremine uygun olacak şekilde depremlerden elde edilen ivme verilerinin ölçeklendirilmesi sonucu yapılan doğrusal olmayan zaman tanım alanı hesaplarında, farklı yerleşim planına ve/veya farklı kapasiteye sahip sönümleyici cihazların yapısal davranış üzerinde etkileri incelenerek orijinal sistemle karşılaştırılmış ve ayrıca yapı içerisinde hasarı azaltmaya yönelik yerleşim incelemesi yapılmıştır. Bu yerleşim ile orijinal yapıdaki başlangıç ve 2500 yıllık deprem sonrası güçlendirme maliyetinin sönümleyicili yapıda başlangıç maliyetine eşit olması amaçlanmıştır. Bu yerleşimde orijinal yapı içerisindeki 0.01 rad. üzerinde dönmeye sahip olan bağ kirişleri 125 ton kapasiteye sahip sönümleyiciler ile değiştirilmiştir.

Yapılan çalışma neticesinde yapı tasarımı, ulusal ve uluslararası yönetmelikler ve tasarım kılavuzları göz önüne alınarak projelendirilen orijinal yapının,

- Performansının çok yüksek olacak şekilde tasarlandığı görülmüştür.
- 2500 yıllık depremde betonarme perde duvarların yüksek seviyede doğrusal olmayan davranış göstermediği gözlemlenmiştir.
- Bağ kirişlerin 1-20 kat arası dönme değerlerinin 0.01 rad. dönme değerini aştığı görülmüştür.

Orijinal matematiksel model ile eşdeğer çerçeve modellerinin yapısal davranışı eşdeğer statik, modal ve modal birleştirme yöntemleri kullanılarak karşılaştırılması neticesinde,

- Eşdeğer çerçeve modelinin yapı yanal rijitliğini, döşeme ve kolonlar arasındaki yük transferini elastik sınırlar içerisinde makul derecede yansıttığı görülmüştür.
- X yönünde yapılan karşılaştırmalar sonucu iki model arasında farklar gözlemlenmiştir.
  - X yönünde normalize edilmiş 1. Mod şekilleri karşılaştırıldığında iki model arasında %7 fark gözlemlenmiştir,
  - X yönünde görelî kat ötelemeleri karşılaştırıldığında iki model arasında %20 fark gözlemlenmiştir,
  - X yönünde kat kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında iki model arasında %7 fark gözlemlenmiştir,

- *Y* yönü kat devrilme momentleri karşılaştırıldığında iki model arasında %13 fark gözlemlenmiştir.
- *Y* yönünde yapılan analizlerden elde edilen verilere göre iki modelin de yaklaşık olarak aynı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.
- Yapının rijitliğinin döşeme yerine eşdeğer kirişlerin kullanılması sonucu bir miktar azaldığı gözlemlenmiştir.
- Yapı içerisindeki azalan rijitliğin geri kazanılması için model içerisine düzlem içi çaprazların ilave edilmesi yapının rijitliğini önemli miktarda artırdığı gözlemlenmiştir.

Farklı yerleşim planına ve/veya farklı kapasiteye sahip sönümleyici cihazların yapısal davranış üzerinde etkilerinin karşılaştırılması neticesinde,

- Perde duvarlardaki doğrusal olmayan davranışın orijinal yapıya göre önemli miktarda değişmediği görülmüştür.
- Bağ kirişlerinin kapasitelerinin değişmesiyle birlikte plastik dönmelerin de önemli miktarda değiştiği gözlemlenmiştir.
- Yüksek kapasiteye sahip elemanlar kullanıldığında enerji yutulmasının alt katlarda yığıldığı, düşük kapasiteli elemanlar kullanıldığında enerji emiliminin üst katlarda giderek arttığı gözlemlenmiştir.
- Yüksek kapasiteye sahip elemanlar kullanıldığında yapı taban kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir.
- İki katta bir sönümleyici kullanılmasının yapı performansını önemli ölçüde değiştirmediği gözlemlenmiştir.

Orijinal yapının hasarının azaltılmasına yönelik yapılan yerleşim çalışması neticesinde,

- Bu yerleşim ile yapı performansında önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir.
- Sönümleyicilerdeki dönmelerin yaklaşık olarak %1.4 değerinden %2.4 değerine arttığı gözlemlenmiştir.
- Sönümleyicilerde meydana gelen dönme artışının kalıcı hasara neden olmadığı için yapı performansında herhangi bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür.

Gerçekleştirilen sayısal çalışmanın bir adım daha ileriye götürülmesi amacıyla sunulan öneriler şu şekilde sıralanabilir,

- Doğrusal olmayan davranışın daha iyi anlaşılabilmesi için ölçeklendirme yönteminin irdelenmesi gerekir.
- Eşdeğer çerçeve yönteminin doğruluğunun daha iyi anlaşılabilmesi için doğruluğunun irdelenmesi gerekir.

- İncelenen yapının orijinal halinin yüksek performanslı bir yapı olduğu anlaşılmıştır; daha standart performanslı bir yapı ayrıca incelenmelidir.
- Yapının tüm katlarında sönümleyici olması ekonomik olmayabilir. Sadece belli katlarda sönümleyici olması durumunun daha detaylı araştırılması gerekir.
- Yapı içerisinde belirli katlarda farklı kapasitede sönümleyicilerin kullanılmasının ekonomik sonuçları getirebileceğinin araştırılması gerekir.
- Bağ kirişlerinin tasarımının doğrusal olmayan analizlerle kontrol edilmesi gerekir.
- Sönümleyici bağlantı detaylarının uygulanabilirliğinin araştırılması gerekir.
- Yapı içerisinde rijit diyafram kabulü yapılmayarak bağ kirişlerinde oluşacak eksenel yükler bağlantı detayı tasarımında dikkate alınmalıdır.
- Değiştirilebilir bağlantı detayının yapıp yapılamayacağı araştırılmalıdır.
- Sönümleyici uygulanabilirliğinin dışdestek (İng. outrigger) veya tüp (İng. tube) gibi değişik yan sistem içeren yapılar için de araştırılması gerekir.
- Doğrusal olmayan modelde döşemelerdeki hasarın sönümleyiciler üzerindeki kesme deformasyonları etkisi araştırılmalıdır.
- Sönümleyici cihazların kapasitelerindeki veya yerleşimindeki değişikliklerin perdenin plastik mafsallarda bölgedeki hasarı önemli ölçüde değiştirmedeği gözlemlenmişti. Daha ileriki çalışmalarda bu hasarı azaltmaya yönelik yöntemler geliştirilmelidir.
- Maliyet analizi performans tabanlı analizlerde önemli bir konudur. Yüksek yapılar için performans kabullerinin daha açık bir şekilde yapılması gerekir.
- Güçlendirme veya yenileme hasar seviyelerinin net bir şekilde belirlenmesi için araştırmalara ihtiyaç vardır.
- Sönümleyici çalışmasının rüzgâr tasarımı içinde yapılması gerekir.



## KAYNAKLAR

- ACI 318-11.** (2011). "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary," American Concrete Institute Committee 318.
- ASCE/SEI 41-06.** (2006). Sesimic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Virginia.
- ASCE/SEI 7-05.** (2006). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA.
- Barney G.B., Shiu K.N., Rabbat B.G., Fiorato A.E., Russell H.G., and Corley W.G.** (1978). Earthquake Resistant Structural Walls – Tests of Coupling Beams.
- Brena S., Ruiz M.F., Kostic N., and Muttoni A.** (2009). Modelling Techniques To Capture The Backbone Envelope Behaviour of Coupling Beams Subjected To Seismic Loading, Studies and Researches, Volume-29.
- Chaallal O., Gauthier D., Malenfant P.** (1996). Classification Methodology for Coupled Shear Walls, Journal of Structural Engineering, 1453-1458.
- Christopoulos, C., and Montgomery, M.** (2013). "Viscoelastic coupling damper (VCD) for enhanced dynamic performance of high-rise buildings." Earthquake Eng. Struct. Dynam., 12(15), 2217-2233.
- Composite Coupled Walls.** (1993). Journal of Structural Engineering, Volume-119, No.11, page 3291-3309.
- Darvall, P. and Allen, F.** (1997). "Lateral Load Equivalent Frame" ACI Journal, Proceedings, Vol.74, No.7,294-299.
- DBYBHY.** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Dovich,L. and Wight, J.K.** (2005). "Effective Width Model for Seismic Analysis of Flat Slab Systems," ACI Structural Journal, Vol. 102, No. 6, 868-875.
- El-Tawil S., Kuenzli C.M., and Hassan M., Harries K.A.** (2002). Ductility and Deformability of Coupling Beams in Reinforced Concrete Coupled Walls, Earthquake Spectra Pushover of Hybrid Coupled Walls-I: Design and Modelling, Journal of Structural Engineering, Page 1272-1281.
- El-Tawil, S., Fortney, P., Harries, K.A., Shahrooz, B.M., Kurama, Y., Hassan, M. and Tong, X.** (2009). Recommendations for Seismic Design of Hybrid Coupled Wall Systems, ASCE/SEI., 80 pp.

- Engelhardt MD., Popov EP.** (1989). Behavior of long links in eccentrically braced frames, EERC Report No, 89-01, Berkeley: Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- Erkus, B.** (2012) "*Preliminary Design of Supplemental Energy Dissipation Devices.*" Arup, DTF East Asia, Research Report, Project No: 6689, Hong Kong, 19 October 2012 (confidential report).
- Erkus, B., Ayazoğlu, R., Erdemli, M.E.** (*hazırlanıyor*). "Deprem Kayıtlarının Öleklendirilmesi için Basitleştirilmiş Bir Yöntem." 8. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 11-14 Mayıs, 2015, İstanbul, Türkiye.
- ETABS Version 9.7.4** (2008).Extended 3D Analysis of Building Structures, Computers and Structures, Inc. Berkeley, CA.
- Fortney, P.J., Rassati, G.A. and Shahrooz, B.M.** (2008). "Investigation on effect of transverse reinforcement on performance of diagonally reinforced coupling beams." *ACI Struct. J.*,105(6), 781-788.
- Gong B., and Shahrooz B.M.** (2001a). Concrete-Steel Composite Coupling Beams- Part I: Component Testing, *Journal of Structural Engineering*, Volume-127, No. 6, 625-631.
- Gong B. and Shahrooz B.M.** (2001b).Concrete-Steel Composite Coupling Beams- Part II: Subassembly Testing and Design Verification, *Journal of Structural Engineering*, Volume-127, No. 6,632-638.
- Harries K.A., Cook W.D., Redwood R.G. & Mitchell D.** (1992). Concrete Walls Coupled By Ductile Steel Link Beams, *Earthquake Engineering*, Tenth World Conference, Balkema, Rotterdam, Page 3205-3210.
- Harries K.A., Mitchell D., Cook W.D.** (1993). and Redwood R.G., Seismic Response of Steel Beams Coupling Concrete Walls, *Journal of Structural Engineering*, Volume-119, No.12, Page 3611-3629.
- Harries, K.A., Fortney, P.J., Shahrooz, B.M. and Brienens, P.J.** (2005). "Practical design of diagonally reinforced concrete coupling beams- critical review of ACI 318 requirements" *ACI Struct. J.*, 102(6), 876-882.
- Hueste, M.B. and Wight, J.K.** "Evaluation of a Four-Story Reinforced Concrete Building Damaged During the Northridge Earthquake," *Earthquake Spectra*, EERI, Vol. 13, No.3, 387-414.
- İYBDY.** (2008). İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul. (2008).

- Kang, T.H.K. and Wallace, J.W.** (2005). "Dynamic Responses of Flat Plate Systems with Shear Reinforcement," *ACI Structural Journal*, Vol. 102, No.5, 763-773.
- Kasai K, Popov Ep.** (1986). General behavior of WF steel shear link beams, *ASCE Journal of structural Engineering*.112(2):362-82.
- LATBSDC.** (2008). An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region- A Consensus Document. Los Angeles Tall Building Structural Design Council: Los Angeles, CA.
- Le Picheon, X., Chamot-Rooke, N., Rangin, C. and Şengör, A.M.C.** (2008). "The North Anatolian Fault in the Sea Of Marmara", 2003, *Geophys, J. Res.*, 108, B4, 2179, doi: 101029/2002JB001862 Midorikaqa, M., Hiraishi, H., Okawa, I., Liba, M., Teshigawa, M. and Isoda, H., "Development os Seismic Performance Evaluation procedures in building code in Japan", *Proc. 12<sup>th</sup>. World Conf. on Earthquake Eng.*
- Luo, Y.H. and Durrani, A.J.** (1995). "Equivalent Beam Model for Flat-Slab Buildings-Part I: Interior Connections" *ASCI Structural Journal*, Vol.92 No.1,115-124.
- Luo, Y.H. and Durrani, A.J.** (1995). "Equivalent Beam Model for Flat-Slab Buildings-Part II: Exterior Connections." *ASCI Structural Journal*, Vol.92 No.2. 250-257.
- Mander, J.B., Priestley, J.N. and Park, R.** (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 114 (8), 1804-1827.
- Marcakis, K. and Mitchell, D.** (1980). "Precast concrete connections with embedded steel members." *PCI J.*, 25(4), 88-116.
- Montgomery, M.S.** (2011). "Fork configuration dampers (FCDs) for enhanced dynamic performance of high-rise buildings." Ph.D thesis, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Toronto, Toronto, ON, Canada.
- Montgomery, M., and Christopoulos C.** (2014). "Experimental Validation of Viscoelastic Coupling Dampers for Enhanced Dynamic Performance of High-Rise Buildings." *Journal of Structural Engineering*(0), 04014145 DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001092
- Naish, D., Fry, J.A., Klemencic, R. and Wallace.** (2009). J."Reinforced concrete link beams: Alternative details for improved constructability." Rep. to Charles Pankow Foundation. Structural and Geotechnical Engineering Laboratory, Univ. of California-Los Angeles, Los Angeles.
- Okazaki, T., Arce, G., Ryu, H., Engelhardt, M.D.** (2005). Experimental study of local buckling, overstrength and facture of links in eccentrically braced frames. *ASCE Journal of Structrual Engineering*. 131(10), 1526-1535.

- Pacific Earthquake Engineering Research Center.** (2010). Guidelines for performance-based seismic design of tall buildings, report PEER-2010/05, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA.
- Park Wan-Shin and Yun Hyun-Do.** (2005). Seismic Behaviour of Steel Coupling Beams Linking Reinforced Concrete Shear Walls, *Engineering Structures*, Volume-27, Page 1024-1039).
- Park Wan-Shin and Yun Hyun-Do.** (2006). Seismic Performance of Steel Coupling Beam-Wall Connections in Panel Shear Failure, *Journal of Constructional Steel Research*, Volume-62, Page 1016-1025.
- Parsosns, T.** (2004). "Recalculated probability of  $M > 7$  earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey", *Geophys. J. Res.*, 109, B05304, doi:10.1029/2003JB002667.
- Paulay, T.** (1969a). The Coupling of Shear Walls, A thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering in the University of Canterbury, Volume-1, Christchurch, New Zealand.
- Paulay, T.** (1969b). The Coupling of Shear Walls, A thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering in the University of Canterbury, Volume-2, Christchurch, New Zealand.
- Paulay, T.** (1971). Coupling beams of reinforced concrete shear walls, *Journal of the Structural Division*, 97(ST<sup>^</sup>), 843-861.
- Paulay, T., Binney, J.R.** (1974). Diagonally reinforced coupling beams of shear walls, *Shear in reinforced concrete*, SP-42, American Concrete Institute (ACI), Detroit, 2, 579-598.
- Paulay, T., and Santhakumar, A.R.** (1976). Ductile Behaviour of Coupled Shear Walls, *Journal of the Structural Division*, Volume 102, No.ST1.
- Paulay, T., and Priestly, M.J.N.** (1972). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y.
- Pecknold, D.** (1975). "Slab Effective Width for Equivalent Frame Analysis." *ACI Journal, Proceedings*, Vol.72, No.4, 135-137.
- PERFORM-3D.** (2006). Nonlinear Analysis and Performance Assessment of 3D Structures, Computers and Structures Inc. Berkeley, California.
- Peer.** (2006). Guidelines for performance-based seismic design of tall buildings- Version 1.0. Berkeley, CA: Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- Peer.** (2006). Ground Motion Database. Berkeley, CA : Pacific Engineering Resource Center. Retrieved from [http://peer.berkeley.edu/peer\\_ground\\_motion\\_database/](http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database/) .



- Peer/ATC.** (2006). Modeling acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings (PEER/ATC Report 72-1). Berkeley, CA: Pacific Earthquake Engineering.
- Popov EP., Engelhardt MD.** (1988). Seismic eccentrically braced frames, *Journal of Constructional Steel Research*; 10:321-54.
- Powell, G.** (2007). Detailed example of a tall shear wall building using CSI's Perform 3D nonlinear dynamic analysis, Berkeley, CA: Computers and Structures Inc.
- Powell, G.** (2006a). Perform-3D User Guide, Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley-California.
- Powell, G.** (2006b). Perform-3D Components and Elements, Computers and Structures Inc., Berkeley-California.
- Shiu, K. N., Barney, G.B., Fiorato, A.E. and Corley, W.G.** (1978). "Reversed load tests of reinforced concrete coupling beams." *Central American Conf. on Earthquake Engineering*, 239-249.
- Stafford Smith B., Coull A.** (1991). Tall building structures. Analysis and design, John Wiley & Sons; New York.
- Tamura, Y., ve Kareem, A.** (2013). "Advanced Structural Wind Engineering." Springer, Japan.
- Wallace, J.W.** (2007). "Modeling issues for tall reinforced concrete core wall buildings," *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol.16, No.5, pp. 615-632.



## **EKLER**

**EK A** TEST BİNASI TASARIMI

**EK B** TEST BİNASI DOĞRUSAL OLMAYAN TASARIM SONUÇLARI

**EK C** HESAPLAMALAR



## EK A

### Malzemeler

Proje tasarımında aşağıda belirtilen malzeme özellikleri kullanılmıştır.

1. Beton: TS 706 ile uyumlu agregalı ve  $22 \text{ kN/m}^3$  birim hacim ağırlıklı olmalıdır. Diğer özellikleri beton sınıfına göre aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

**Çizelge A.1:** Yapısal eleman beton sınıfları.

Yapısal Eleman	Beton Sınıfı	Karakteristik (silindir) Basınç Dayanımı $f_{ck} (MPa)$	Eşdeğer Küp (150mm) Basınç Dayanım 1 $f_{cu} (MPa)$	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı $f_{ctk} (MPa)$	Elastisite Modülü $E_c (MPa)$
Perdeler, kolonlar, kirişler ve döşemeler	C45	60	55	2.3	29171

Not: Elastisite Modülü ,  $E = 3320\sqrt{f_{ck}} + 6900$

2. Betonarme donatı çeliği: TS 708 ile uyumlu nervürlü donatı olmalıdır.
  - Donatı: Beton Çeliği IIIA - ASTM 615 Grade 60 ( $F_{yk}=420 \text{ MPa}$ ), SD 42'ye uygundur.
  - Donatı ölçüleri: Ø10, Ø12, Ø14, Ø16, Ø22, Ø25.
3. Yapısal çelik: Sıcak haddelenmiş yapısal çelikler aşağıda özellikleri belirtilen Avrupa profillerden seçilmiştir.

**Çizelge A.2:** Yapısal eleman çelik sınıfları.

Kullanım Yeri	Profil	Çelik Sınıfı	Akma Dayanımı $F_y (MPa)$	Çekme Dayanımı $F_u (MPa)$
Kompozit Kolonlar	HD	HiStar 460	460	540-720
Bağ Kirişleri	HE650M	S355JR	355	470-630

Not: Elastisite Modülü,  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  alınmıştır.

## **Şartnameler ve Kaynaklar**

Bina modelinin statik tasarımı aşağıda listelenen, Türkiye’ de ve dünyada geçerli en güncel inşaat ve yapı şartnamelerine uygun olacak şekilde hazırlanmıştır.

### **Tasarımda Kullanılan Yönetmelikler**

#### **Yerel yönetmelikler ve kaynaklar**

- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY-2007)
- İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (Taslak) 2008 (İYBDY-2008)
- İstanbul Yüksek Binalar Rüzgâr Yönetmeliği (Taslak) 2008 (İYBRY-2008)
- TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
- TS 648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
- TS 498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri

#### **Yabancı yönetmelikler ve kaynaklar**

##### **Amerikan Yapı Yönetmelikleri**

Mevcut Türkiye Yapı Yönetmeliklerinin veya kaynaklarının herhangi bir yapı tasarımı konusunu kapsamıyor olması halinde veya o konuda destekleyici bilgi olması amacıyla aşağıdaki yönetmeliklerden yararlanılmıştır.

- TBI - Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings 2010
- LATBC – Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council, A Consensus Document
- ACI 318-11 American Concrete Institute - Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary
- ASCE 7-05 American Society of Civil Engineers – Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures
- ASCE 7-10 American Society of Civil Engineers – Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures

- AISC-LRFD, Steel Construction Manual, by American Institute of Steel Construction, Fourteenth Edition, 2011
- ANSI-AISC 360-10, An American National Standard, Specification for structural steel buildings

### **Yük Katsayıları ve Yük Birleşimleri**

Yükleme birleşimleri genel olarak TS 500 ile uyumlu olacak şekilde hazırlanmıştır. Ancak TS500'ün yetersiz kaldığı durumlarda ANSI-AISC 360-10 yük birleşimleri kullanılmıştır.

### **Taşıma gücü sınır durumu yük birleşimleri**

Birleşimde kullanılan yük tanımları aşağıdaki gibidir:

G = sabit yük

Q = hareketli yük

T = sıcaklık değişimi, büzülme, farklı oturma, sünme etkileri

W = rüzgâr yükü

E = deprem yükü

a) Yalnız düşey yükler için,

$$F_d = 1.4G + 1.6Q$$

$$F_d = 1.0G + 1.2Q + 1.2T$$

b) Rüzgâr yükünün söz konusu olduğu durumlarda,

$$F_d = 1.0G + 1.3Q + 1.3W$$

$$F_d = 0.9G + 1.3W$$

c) Deprem söz konusu olduğu durumlarda,

$$F_d = 1.0G + 0.5Q + 1.0E$$

$$F_d = 0.9G + 1.0E$$

### **Kullanılabilirlik sınır durumu yük birleşimleri**

Kullanılabilirlik sınır durumu hesaplarında, yukarıda açıklanan kombinasyonlardaki bütün yük katsayıları 1.0 alınacaktır.

## Deplasmanlar

### Düsey Deplasmanlar

- Normal kat döşemelerinin kendi öz ağırlığı ve kaplama yükünden dolayı meydana gelen ani sehimi L/480 ile,
- Normal kat döşemelerinin hareketli yük altındaki ani sehimi L/360 ile,
- Normal kat döşemelerinin ölü ve hareketli yükler altında uzun süreli sehimi L/240 ile sınırlandırılmıştır.

### Yatay Deplasmanlar

- Rüzgar yüklemesi altında toplam yanal deplasman kat yüksekliği / 400 ile,
- Deprem yüklemesi altında komşu katlar arasındaki göreceli yerdeğiştirme kat yüksekliği /300, yanal deplasman bina yüksekliği / 300 ile sınırlandırılmıştır.

### Düsey Yük Kabulleri

Ölü yükün değerlendirilmesinde betonarme için  $2.4 \text{ t/m}^3$ , inşaat çeliği için  $7.85 \text{ t/m}^3$  birim hacim ağırlığı dikkate alınmıştır. Aşağıdaki çizelgede ölü ve hareketli yükler değişik kullanımlara göre listelenmiştir. Orijinal bina modelindeki konsollar tasarımı yapılacak bina modelinde dikkate alınmayarak, konsol yükleri çevre kirişlerinin üzerlerine etkittirilmiştir.

**Çizelge A.3:** Düsey yük kabulleri.

Bölge	Kategori	İlave ölü yük (kN/m <sup>2</sup> )		İlave yükler (kN/m <sup>2</sup> )	
		Yapım notu	Total	Hareketli / Duvar	Total
1	Normal kat	Servis/Tavan 0.5 Şap/Kaplama 2.0	2.5	Hareketli yük 2.0	2.0
Cephe yükü		1.0 kN/m <sup>2</sup>		Tipik giydirme cepheler	

### Yapısal tasarım aşamaları ve bilgisayar model varsayımları

**Çizelge A.4:** Genel yapı özellikleri.

Bina Yüksekliği	163.4m Zemin Üzeri
Kat Adedi	43 Zemin Üzeri
Kat Yüksekliği	3.8m
Yapısal Sistem	Betonarme Çekirdek ve Çerçeve Taşıyıcı Sistem
Döşeme Sistemi	26cm Kirişsiz Döşeme



**Çizelge A.5:** Rijitlik varsayımları.

Element	Koda Bağlı Tasarım	Performansa Bağlı Tasarım
Elastisite Modülü*	Spesifik beton dayanımı	Beklenen beton dayanımı
Çekirdek Perdeleri	Eğilme-0.7EIg Kesme-1.0Ag	Eğilme-1.0EIg** Kesme-0.5Ag
Çelik Bağ Kirişleri	Eğilme-0.6EIg Kesme-1.0GAg	Eğilme-0.6EIg Kesme-1.0Ag
Döşeme	Eğilme-0.25EIg Kesme-0.5GAg	Eğilme-0.25EIg Kesme-0.25Ag
Kiriş	Eğilme-0.35EIg Kesme-1.0Ag	Eğilme-0.35EIg Kesme-1.0Ag
Kolon	Eğilme-0.7EIg Kesme-1.0Ag	Eğilme-0.7EIg Kesme-1.0Ag

\*Elastisite modülü aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$E = 3320\sqrt{f_{ck}} + 6900 \text{ (CAN/CSA A23 3)}$$

\*\*Çekirdek Perdeleri fiber eleman kullanılarak modellendi. Fiber elemanlar şekildeğiştirmelere bağlı olarak her adımda eğilme rijitliğini ayrı olarak kendiliğinden hesaplıyor.

### Tasarımda Kullanılan Bilgisayar Yazılımları

Bina modelinin tasarımında ve analizlerinde aşağıdaki bilgisayar programları kullanılmıştır.

**Çizelge A.6:** Tasarım ve analiz programları.

Yapısal Analiz	Bilgisayar Programı
Elastik Tasarım Spektrumu Analizi	ETABS, versiyon 9.7.4
Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	CSI PERFORM-3D, versiyon 5
Betonarme Perde Eğilme Tasarımı	SECTION DESIGNER, versiyon 9.7.3
Betonarme Perde Moment Eğrilik Analizi	XTRACT, versiyon 3.0.8
Betonarme Döşeme Analizi	SAFE, versiyon 12.3.2

### Elemanların Boyutlandırılmasında Kullanılan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

Mod Birleştirme Yönteminden elde edilen etkiler, taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasında aşağıdaki tabloda verilen Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R'ye göre azaltılarak kullanılacaktır.

**Çizelge A.7:** Taşıyıcı sistem davranış katsayıları varsayımları.

	Eğilme hesabı	Kesme, eksenel kuvvet hesabı
Perde	R = 6	R = 2
Kolon	R = 6	R = 2
Kiriş	R = 6	R = 2
Döşeme	R = 6	R = 2
Bağ kirişleri	R = 6	R = 2

### Kod bazlı tasarım analiz özeti

Düşey yük mesnet reaksiyonları

- Ölü yük 476973 kN
- Kaplama yükü 278459 kN
- Hareketli Yük 103200 kN

**Çizelge A.8:** Bina periyotları.

Mod	Periyot	Hakim Yön	Kütle Katılım
1	5.35 s	X yönü	%65
2	4.86 s	Y yönü	%63
3	2.30 s	Burulma Modu	%76

**Çizelge A.9:** Tasarım spektrumu analiz parametreleri.

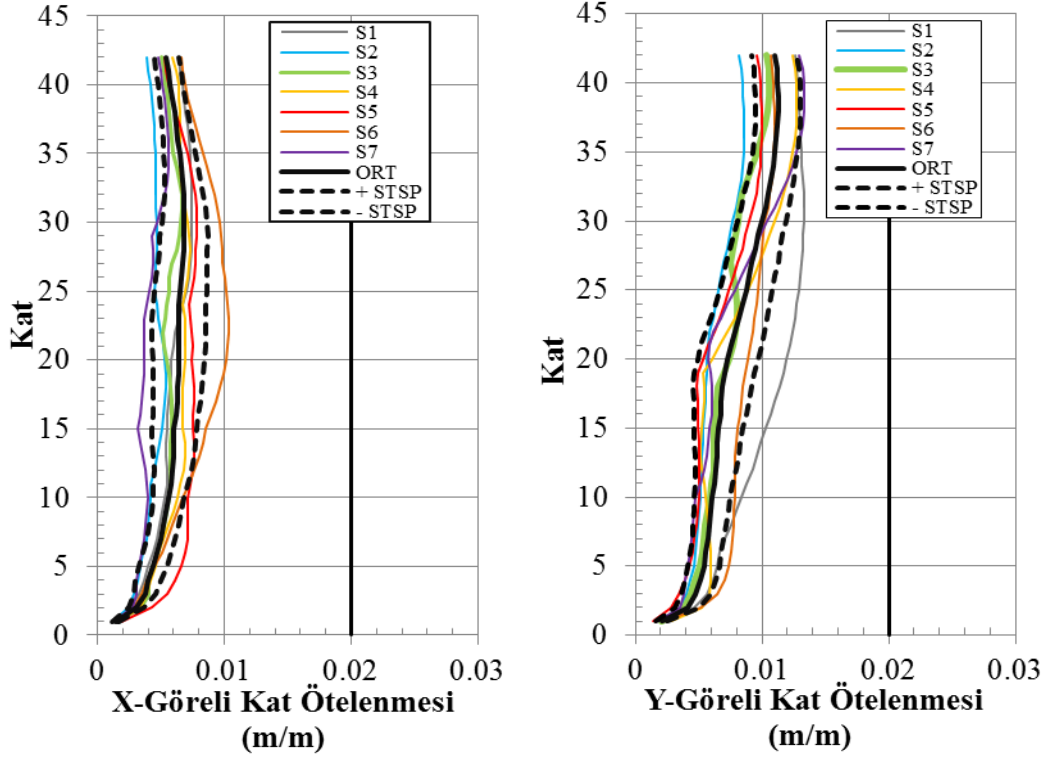
Ss	0.75 g
S1	0.56 g
Fa	1.0 g
Fv	1.0 g
SMS	0.75 g
SM1	0.6 g
Sönüm	5%
Rx,y	6
Zemin Grubu	B
Sismik Ağırlık (W) <sup>A</sup>	765752 kN
Modal kombinasyon metodu	Tam karesel birleştirme (CQC)
Ek dışmerkezlik	5%
Taban kesme kuvveti (İYBDY-V) <sup>B</sup>	30630 kN
Modal taban kesme kuvveti	12548 kN
Modal büyütme katsayısı <sup>D</sup>	2.44

- A.** Sismik ağırlık hesabı zemin seviyesi üzerindeki katlar için ölü yük ve hareketli yükün bir kısmının hesaba katılmasıyla bulunmuştur.
- B.** İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği *madde 4.3.1.4'*e göre göz önüne alınacak minimum taban kesme kuvveti. Toplam bina ağırlığının %4 üne tekabül etmektedir.
- C.** X ve Y yönleri için ayrı ayrı hesaplanan modal taban kesme kuvveti geometrik ortalama alınarak birleştirilmiştir.
- D.** Modal büyütme katsayısı modal taban kesme kuvvetinin göz önüne alınacak minimum taban kesme kuvvetine bölünmesiyle bulunmuştur.

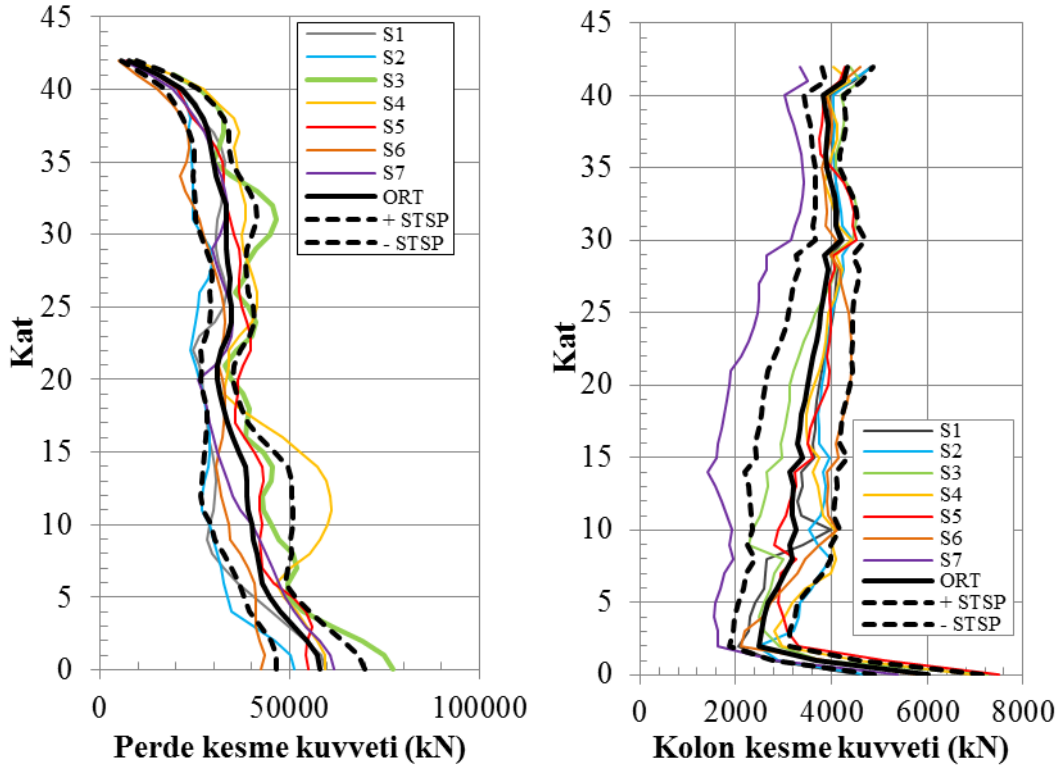


## EK B

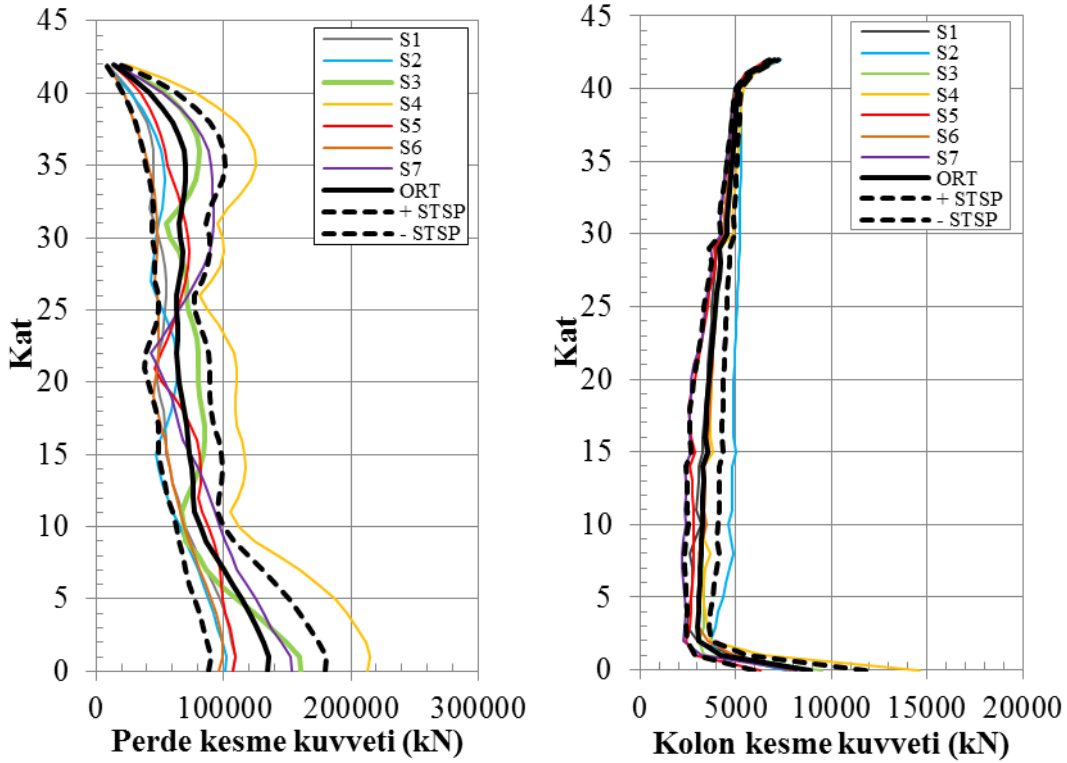
Aşağıda Model 350 için dinamik analizler sonucu elde edilen değerlerden çizdirilen şekiller gösterilmiştir. Bu şekiller içerisinde X ve Y yönleri için görel kat ötelenmeleri, kat kesme kuvvetleri, kat devrilme momentleri, çekirdek perde eksenel deformasyonlar ve çelik bağ kirişi dönme değerleri gösterilmiştir.



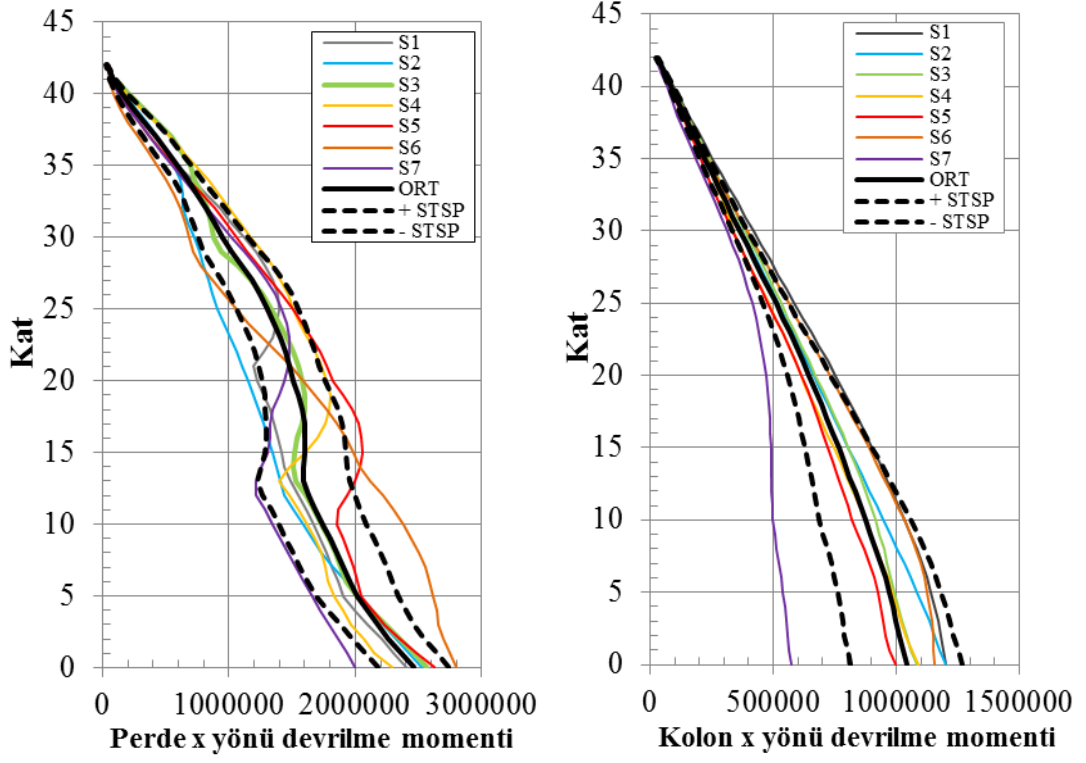
Şekil B.1: Maksimum görel kat ötelenmesi.



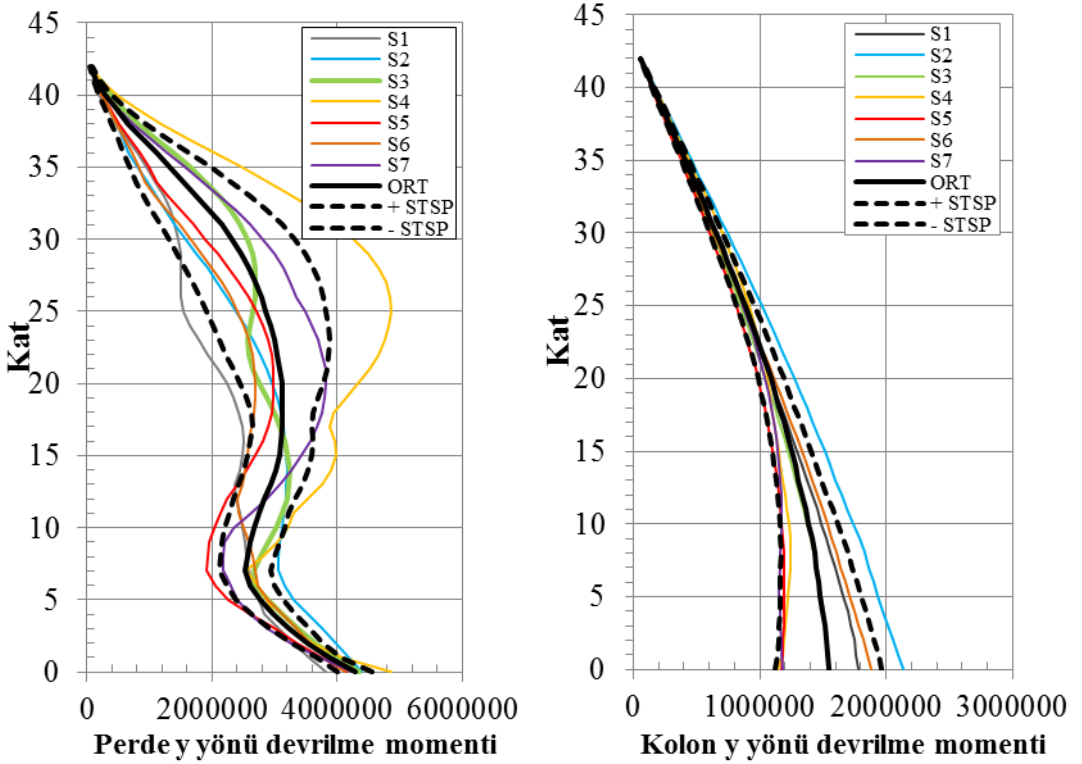
Şekil B.2: Maksimum X yönü perde ve kolon kat kesme kuvvetleri.



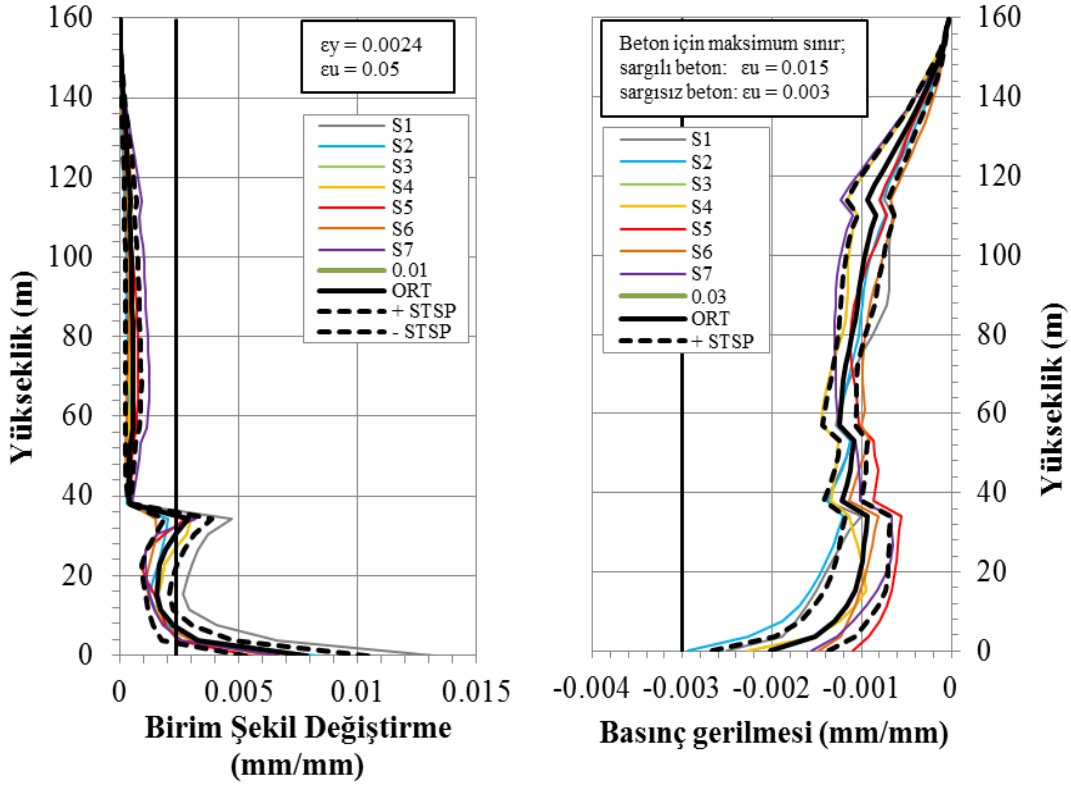
Şekil B.3: Maksimum Y yönü perde ve kolon kat kesme kuvvetleri.



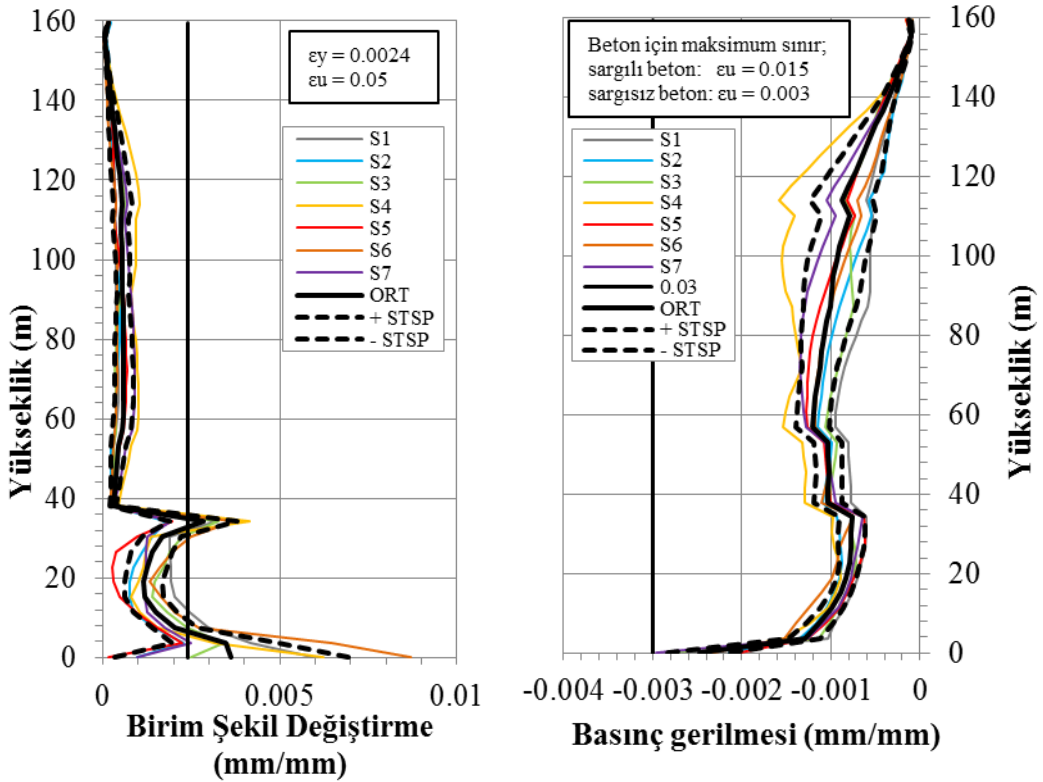
Şekil B.4: Maksimum X yönü perde ve kolon devrilme momentleri (kNm).



Şekil B.5: Maksimum Y yönü perde ve kolon devrilme momentleri (kNm).

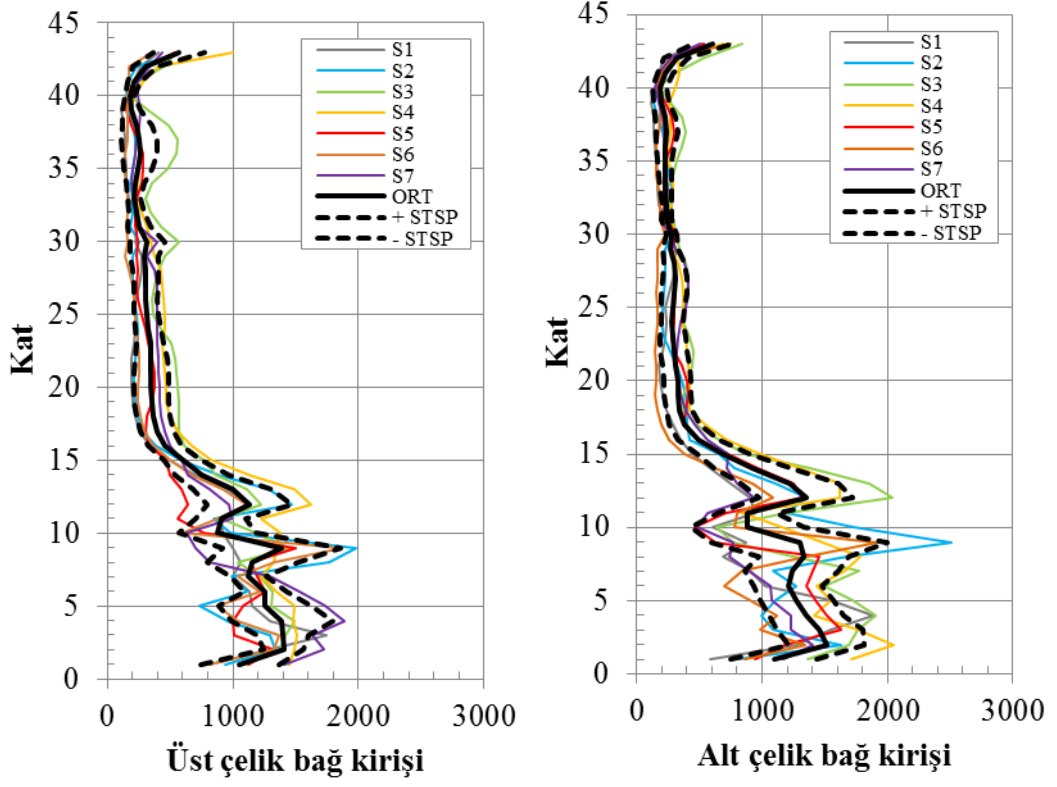


Şekil B.6: Çekirdek perde başlık bölgesi maksimum aksenal şekil değiştirmeler.

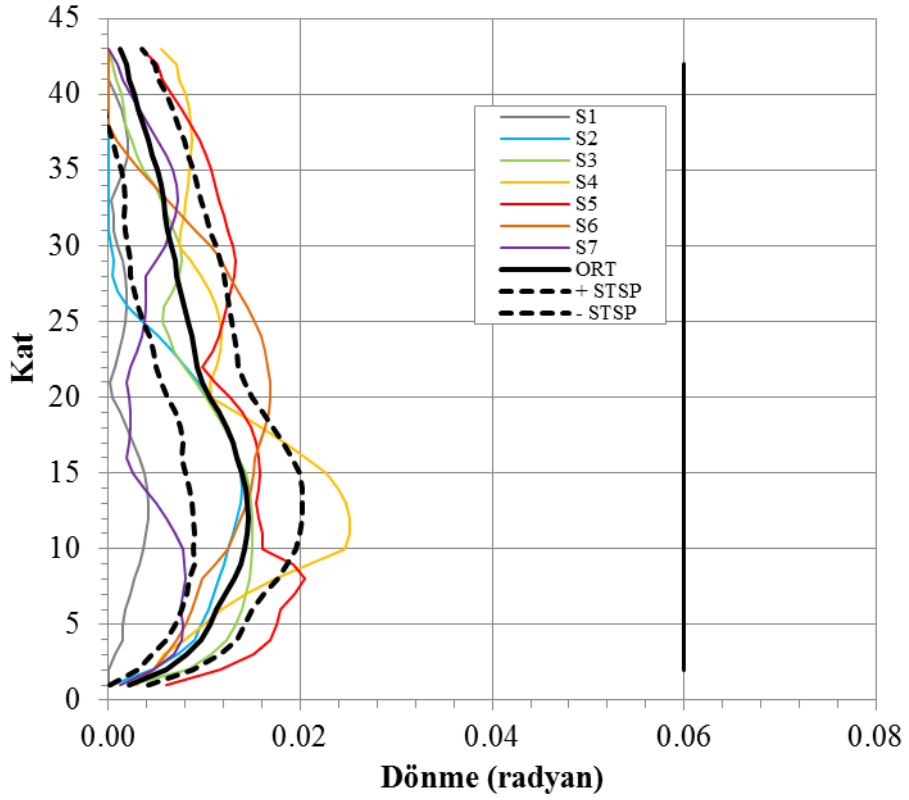


Şekil B.7: Çekirdek perde gövde bölgesi maksimum aksenal şekil değiştirmeler.





Şekil B.8: Çelik bağ kirişi aksenal kuvvet.



Şekil B.9: Çelik bağ kirişi dönme değerleri.



## EK C

### EK C-1 : Kompozit Kolon Tasarımı

#### A Noktasında:

Uzunluk etkisi dikkate alınmadan kolon kapasitesi hesabı:

$$P_A = A_s * F_y + A_{sr} * F_{yr} + 0,85 * f_c * A_c$$
$$= 114900 \text{ mm}^2 * 495 \text{ MPa} + 7856 \text{ mm}^2 * 491,4 \text{ MPa} + 0,85 * 58,5 \text{ MPa} * 662642 \text{ mm}^2$$
$$P_A = 93785 \text{ kN}$$

Uzunluk etkisi dikkate alınmadan kolon kapasitesi hesabı:

$$P_e = \frac{\pi^2 * (EI)_{\text{eff}}}{(kL)^2}$$
$$(EI)_{\text{eff}} = E_s * I_s + E_{sr} * I_{sr} + c_1 * E_c * I_c$$
$$c_1 = 0,1 + 2 * \left( \frac{A_s}{A_c + A_s} \right) \leq 0,3$$
$$c_1 = 0,1 + 2 * \left( \frac{114900 \text{ mm}^2}{662642 \text{ mm}^2 + 114900 \text{ mm}^2} \right) = 0,39 > 0,3$$
$$c_1 = 0,3$$
$$I_{sr} = 4 * [491 \text{ mm}^2 * ((170 \text{ mm})^2 + (320 \text{ mm})^2 + (410 \text{ mm})^2)] + 2 * 491 \text{ mm}^2 * (450 \text{ mm})^2$$
$$I_{sr} = 786,78 * 10^6 \text{ mm}^4$$
$$I_c = \frac{\pi * r^4}{4} = \frac{\pi * (500 \text{ mm})^4}{4}$$
$$I_c = 46767,5 * 10^6 \text{ mm}^4$$
$$(EI)_{\text{eff}} = 200000 \text{ MPa} * 1533 * 10^6 \text{ mm}^4 + 200000 \text{ MPa} * 786,87 * 10^6 \text{ mm}^4 + 0,3 * 32293 \text{ MPa} * 46767,5 * 10^6 \text{ mm}^4$$
$$(EI)_{\text{eff}} = 9,17 * 10^{14} \text{ Nmm}^2$$
$$P_e = \frac{\pi^2 * 9,17 * 10^{14} \text{ Nmm}^2}{(0,5 * 3800 \text{ mm})^2}$$
$$\frac{P_A}{P_e} = \frac{93785 \text{ kN}}{2507043 \text{ kN}} = 0,037 < 2,25$$
$$P_N = P_A * (0,658^{P_N/P_e}) = 93785 * (0,658^{0,037})$$
$$P_N = 92344 \text{ kN}$$

#### D Noktasında:

$$P_D = \frac{0,85 * f_c * A_c}{2} = \frac{0,85 * 58,5 \text{ MPa} * 662642 \text{ mm}^2}{2}$$
$$P_D = 16475 \text{ kN}$$

$$M_{Dx} = Z_{sx} * F_y + Z_{rx} * F_{yr} + \frac{Z_{cx}}{2} * (0,85 * f_c)$$

$$M_{Dx} = 21620 * 10^3 \text{ mm}^3 * 495 \text{ MPa} + 2209500 \text{ mm}^3 * 491,4 \text{ MPa} + \frac{148690540 \text{ mm}^3}{2} * (0,85 * 58,5 \text{ MPa})$$

$$M_{Dx} = 15484 \text{ kNm}$$

$$M_{Dy} = Z_{sy} * F_y + Z_{ry} * F_{yr} + \frac{Z_{cy}}{2} * (0,85 * f_c)$$

$$M_{Dy} = 10710 * 10^3 \text{ mm}^3 * 495 \text{ MPa} + 2209500 \text{ mm}^3 * 491,4 \text{ MPa} + \frac{85255270 \text{ mm}^3}{2} * (0,85 * 58,5 \text{ MPa})$$

$$M_{Dy} = 8507 \text{ kNm}$$

D Noktasında:

$$P_B = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Bx} = M_{Dx} - Z_{sn} * F_y - \frac{Z_{cn} * 0,85 * f_c}{2}$$

$$M_{Bx} = 15484 * 10^6 \text{ Nmm} - 871527 \text{ mm}^3 * 495 \text{ MPa} - \frac{12353473 \text{ mm}^3 * 0,85 * 58,5 \text{ MPa}}{2}$$

$$M_{Bx} = 14745 \text{ kNm}$$

$$M_{By} = M_{Dy} - Z_{sn} * F_y - \frac{Z_{cn} * 0,85 * f_c}{2}$$

$$M_{By} = 8507 * 10^6 \text{ Nmm} - 499020 \text{ mm}^3 * 495 \text{ MPa} - \frac{176980 \text{ mm}^3 * 0,85 * 58,5 \text{ MPa}}{2}$$

$$M_{By} = 8256 \text{ kNm}$$

C Noktasında:

$$P_C = 0,85 * f_c * A_c$$

$$P_C = 0,85 * 58,5 \text{ MPa} * 662642 \text{ mm}^2$$

$$P_C = 32950 \text{ kN}$$

$$M_{Cx} = M_{Bx} = 14745 \text{ kNm}$$

$$M_{Cy} = M_{By} = 8256 \text{ kNm}$$

Çekme Kuvveti:

$$P_T = A_s * F_y + A_{sr} * F_{yr}$$

$$P_T = 114900 \text{ mm}^2 * 495 \text{ MPa} + 7856 \text{ mm}^2 * 491,4 \text{ MPa}$$

$$P_T = 60736 \text{ kN}$$

**Kompozit kesit için seçilen eşdeğer enkesit;**

Malzemeler:

Çelik : S460 ( $E_s = 200000 \text{ MPa}$ )

Beton: C45Exp

$$f_c' = 58,5 \text{ MPa}$$

$$E_c = 32293 \text{ MPa}$$

Eşdeğer Betonarme kesit için; C45Exp

Eşdeğer alan:

$$A_g = \pi * r^2 = \pi * 50^2 = 7854 \text{ cm}^2$$

$$A_{sr} = n * \frac{\pi * d^2}{4} = 16 * \frac{\pi * 2,5^2}{4} = 78,54 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 1149 \text{ cm}^2$$

$$A_c = A_g - A_s - A_{sr} = 7854 \text{ cm}^2 - 1149 \text{ cm}^2 - 78,54 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 6626,42 \text{ cm}^2$$

$$A_{eq} = A_c + n * (A_s + A_{sr})$$

$$A_{eq} = 6626,42 \text{ cm}^2 + 6,19 * (1149 \text{ cm}^2 + 78,54 \text{ cm}^2)$$

$$A_{eq} = 14224,9 \text{ cm}^2$$

y-ekseni etrafında eşdeğer atalet momenti,  $I_y$

$$I_{ys} = 153300 \text{ cm}^4$$

$$I_{ysr} = 83063 \text{ cm}^4$$

$$I_{yeq} = I_g + (n - 1) * [I_{ys} + I_{ysr}]$$

$$I_{yeq} = \frac{\pi * (50 \text{ cm})^4}{4} + (6,19 - 1) * [153300 \text{ cm}^4 + 83063 \text{ cm}^4]$$

$$I_{yeq} = 6135462,5 \text{ cm}^4$$

x-ekseni etrafında eşdeğer atalet momenti,  $I_z$

$$I_{xs} = 450200 \text{ cm}^4$$

$$I_{xsr} = n \cdot \frac{\pi \cdot r^4}{4} + \sum \left( \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot e_i^2 \right)$$

$$I_{xsr} = 16 \cdot \frac{\pi \cdot (1,25 \text{ cm})^4}{4} + 4 \cdot \frac{\pi \cdot (1,25 \text{ cm})^2}{4} \cdot [(17,6 \text{ cm})^2 + (32,5 \text{ cm})^2 + (42,5 \text{ cm})^2] + 2 \cdot \frac{\pi \cdot (1,25 \text{ cm})^2}{4} \cdot (46 \text{ cm})^2$$

$$I_{xsr} = 83063 \text{ cm}^4$$

$$I_{xeq} = I_g + (n - 1) \cdot [I_{xs} + I_{xsr}]$$

$$I_{xeq} = \frac{\pi \cdot (50 \text{ cm})^4}{4} + (6,19 - 1) \cdot [450200 \text{ cm}^4 + 83063 \text{ cm}^4]$$

$$I_{xeq} = 7676373,5 \text{ cm}^4$$

v

## EK C-2 : Çelik Bağ Kirişleri

Seçilen Kesit: HE650M

$$A = 373,7 \text{ cm}^2$$

$$A_w = 123,48 \text{ cm}^2$$

$$W_x = 8433 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = 9657 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 281700 \text{ cm}^4$$

$$F_{yexp} = 345 \text{ MPa} \cdot 1,1 = 379,5 \text{ MPa}$$

$$M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_p = 379,5 \text{ MPa} \cdot 9657 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_p = 3664,83 \text{ kNm}$$

$$V_N = 0,6 \cdot F_y \cdot Z_x$$

$$V_N = 0,6 \cdot 379,5 \text{ MPa} \cdot 12348 \text{ mm}^2$$

$$V_N = 2811,64 \text{ kN}$$

$$Q_{CE} = \left[ 1,37 - 0,23 * \frac{e * V_N}{M_p} \right] * V_N$$

$$Q_{CE} = \left[ 1,37 - 0,23 * \frac{3 * 2811,64 \text{ kN}}{3664,83 \text{ kN}} \right] * 2811,64 \text{ kN}$$

$$Q_{CE} = 2363,56 \text{ kN}$$

$$E = 2 * 10^8 \text{ kN/m}^2$$

$$G = \frac{E}{2 * (1 + \nu)} = \frac{2 * 10^8 \text{ kN/m}^2}{2 * (1 + 0,3)} = 76923077 \text{ kN/m}^2$$

$$K_s = \frac{G * A_w}{e} = \frac{76923077 \text{ kN/m}^2 * 123,48 * 10^{-4} \text{ m}^2}{3}$$

$$K_s = 316615 \text{ kN/m}$$

$$K_b = \frac{12 * EI}{e^3} = \frac{12 * 2 * 10^8 \text{ kN/m}^2 * 2817 * 10^{-6} \text{ m}^4}{3^3}$$

$$K_b = 250400 \text{ kN/m}$$

$$K_e = \frac{K_s * K_b}{K_s + K_b} = \frac{316615 \text{ kN/m} * 250400 \text{ kN/m}}{316615 \text{ kN/m} + 250400 \text{ kN/m}}$$

$$K_e = 139820,6 \text{ kN/m}$$

$$\theta_y = \frac{Q_{CE}}{K_e * e} = \frac{2363,56 \text{ kN}}{139820,6 \text{ kN/m} * 3 \text{ m}}$$

$$\theta_y = 0,0056$$

$$M_{CE} = \frac{V * e}{2} = \frac{2363,56 \text{ kN} * 3 \text{ m}}{2}$$

$$M_{CE} = 3545,34 \text{ kNm}$$

$$F_{yexp} = 379,5 \text{ MPa} = 55,04 \text{ ksi}$$

### HE650M

$$b_f = 305 \text{ mm} = 12,01 \text{ inches}$$

$$t_f = 40 \text{ mm} = 1,575 \text{ inches}$$

$$h = 588 \text{ mm} = 23,15 \text{ inches}$$

$$t_w = 21 \text{ mm} = 0,826 \text{ inches}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{b_f}{2 * t_f} = 3,812 < \frac{52}{\sqrt{F_{yexp}}} = 7,009 \\ \frac{h}{t_w} = 28 < \frac{418}{\sqrt{F_{yexp}}} = 56,34 \end{array} \right\} \text{FEMA356 Table 5-6: Beam} \rightarrow a \begin{array}{l} \frac{1,6 * M_{CE}}{V_{CE}} = 2,09 \text{ m} \\ \frac{2,6 * M_{CE}}{V_{CE}} = 3,39 \text{ m} \end{array}$$

### Pekleşme Etkisi:

$$M_U = M_{CE} + M_{CE} * \frac{\theta_u}{\theta_y} * 0,03$$

$$M_U = 3545,34 \text{ kNm} + 3545,34 \text{ kNm} * \frac{0,0803}{0,0056} * 0,03$$

$$M_U = 5070,47 \text{ kNm}$$

### Artık Gerilme Kapasitesi

$$M_R = 0,66 * M_Y = 0,66 * 3545,34 \text{ kNm}$$

$$M_R = 2339,92 \text{ kNm}$$

### **EK C-3 :Perde Duvar Fiber Kesiti**

Perde Duvar Kesit Özellikleri

$$A_g = (2 * 6,5 \text{ m} + 16 \text{ m}) * 0,5 \text{ m} = 14,5 \text{ m}^2$$

$$y_c = \frac{\sum (A_i * e_i)}{A_g} = \frac{(2 * 6,5 \text{ m} * 0,5 \text{ m} * 3,75 \text{ m} + 16 \text{ m} * 0,5 \text{ m} * 0,25 \text{ m})}{14,5 \text{ m}^2} = 1,82 \text{ m}$$

$$I_{xg} = 2 * \left( \frac{b * h_1^3}{12} + h_1 * b * e_1^2 \right) + \frac{h_2 * b^3}{12} + h_2 * b * e_2^2$$

$$I_{xg} = 2 * \left( \frac{0,5 \text{ m} * (6,5 \text{ m})^3}{12} + 6,5 \text{ m} * 0,5 \text{ m} * (1,93 \text{ m})^2 \right) + \frac{16 \text{ m} * (0,5 \text{ m})^3}{12} + 16 \text{ m} * 0,5 \text{ m} * (1,57 \text{ m})^2$$

$$I_{xg} = 66,983 \text{ m}^4$$

$$I_{yg} = 2 * \left( \frac{h_1 * b^3}{12} + h_1 * b * e_1^2 \right) + \frac{b * h_2^3}{12}$$

$$I_{yg} = 2 * \left( \frac{6,5 \text{ m} * (0,5 \text{ m})^3}{12} + 6,5 \text{ m} * 0,5 \text{ m} * (7,75 \text{ m})^2 \right) + \frac{0,5 \text{ m} * (16 \text{ m})^3}{12}$$

$$I_{yg} = 561,208 \text{ m}^4$$

Perde Duvar Fiber Kesit Özellikleri

$$A_f = (2 * l_1 + l_2) * b = (2 * 6,5 \text{ m} + 16 \text{ m}) * 0,5 \text{ m}$$

$$A_f = 14,5 \text{ m}^2$$



$$y_c = \frac{\sum(A_i \cdot e_i)}{A_f}$$

$$y_c = \frac{2 \cdot (0,125 \text{ m}^2 \cdot 0,125 \text{ m} + 0,175 \text{ m}^2 \cdot 0,425 \text{ m} + 0,35 \text{ m}^2 \cdot 0,95 \text{ m} + 0,975 \text{ m}^2 \cdot 2,275 \text{ m} + 0,975 \text{ m}^2 \cdot 4,225 \text{ m} + 0,35 \text{ m}^2 \cdot 5,55 \text{ m} + 0,175 \text{ m}^2 \cdot 6,075 \text{ m} + 0,125 \text{ m}^2 \cdot 6,375 \text{ m})}{14,5 \text{ m}^2}$$

$$y_c = 1,457 \text{ m}$$

$$I_{xf} = \sum(A_i \cdot e_i^2)$$

$$I_{xf} = 16 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot (1,457 \text{ m})^2 + 2 \cdot \left[ \begin{array}{l} 0,125 \text{ m}^2 \cdot (1,332 \text{ m})^2 + 0,175 \text{ m}^2 \cdot (1,032 \text{ m})^2 + 0,35 \text{ m}^2 \cdot (0,507 \text{ m})^2 \\ + 0,975 \text{ m}^2 \cdot (0,818 \text{ m})^2 + 0,975 \text{ m}^2 \cdot (2,768 \text{ m})^2 + 0,35 \text{ m}^2 \cdot (4,093 \text{ m})^2 \\ + 0,175 \text{ m}^2 \cdot (4,618 \text{ m})^2 + 0,125 \text{ m}^2 \cdot (4,198 \text{ m})^2 \end{array} \right]$$

$$I_{xf} = 59,462 \text{ m}^4$$

$$I_{yf} = \sum(A_i \cdot e_i^2)$$

$$I_{yf} = 2 \cdot (6,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot (8 \text{ m})^2 + 0,4 \text{ m}^2 \cdot (7,6 \text{ m})^2 + 0,5 \text{ m}^2 \cdot (6,7 \text{ m})^2 + 0,7 \text{ m}^2 \cdot (5,5 \text{ m})^2 + 2,4 \text{ m}^2 \cdot (2,4 \text{ m})^2)$$

$$I_{yf} = 577,1 \text{ m}^4$$

$$\frac{I_{xf}}{I_{xg}} = \frac{59,462 \text{ m}^4}{66,983 \text{ m}^4} = 0,89$$

$$\frac{I_{yf}}{I_{yg}} = \frac{577,1 \text{ m}^4}{561,208 \text{ m}^4} = 1,03$$



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Ramazan Ayazoğlu

**Doğum Yeri ve Tarihi:** 12/05/1986 İSTANBUL

**Adres:**

**E-Posta:** ramazanayazoglu@gmail.com

**Lisans:** Kocaeli Üniversitesi- İnşaat Mühendisliği (2009)

**Mesleki Deneyim ve Ödüller:**

Meinhardt- Yapısal Tasarım Mühendisi (2013- )

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

**Ayazoğlu, R.,** Erkus, B. (2015). “Yüksek Yapıların Çözümlemesinde Kullanılan Eşdeğer Çerçeve Yöntemlerinin İncelenmesi.” 8. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 11-14 Mayıs, 2015, İstanbul, Türkiye.

Erkus, B., **Ayazoğlu, R.,** Erdemli, M.E. (2015). “Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi için Basitleştirilmiş Bir Yöntem.” 8. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 11-14 Mayıs, 2015, İstanbul, Türkiye.