

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÖNÜMLEYİCİLER İLE BAĞLI BETONARME PERDE DUVARLI YÜKSEK
YAPILARDA EŞDEĞER SÖNÜMLEME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Emre ERDEMLİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÖNÜMLEYİCİLER İLE BAĞLI BETONARME PERDE DUVARLI YÜKSEK
YAPILARDA EŞDEĞER SÖNÜMLEME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Muhammet Emre ERDEMLİ
501111086**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Barış ERKUŞ

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **501111086** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Muhammet Emre Erdemli**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“Sönümleyiciler ile Bağlı Betonarme Perde Duvarlı Yüksek Yapılarda Eşdeğer Sönümleme Yöntemlerinin İncelenmesi”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ünal ALDEMİR**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Kemal BEYEN

Kocaeli Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**

Savunma Tarihi : **30 Ocak 2015**

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, sönümleyiciler ile bağlı betonarme perde duvarlı yüksek yapılarda eşdeğer sönümleme yöntemlerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi, tecrübe ve yardımlarını benimle paylaşan, yüksek lisans tezimi hayata geçirebilmem konusunda en büyük paya sahip olan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Barış ERKUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında karşılaştığım sorunların çözümünde bilgi ve tecrübesinden yararlandığım, iş hayatımdaki yardımlarıyla bana yol gösteren Barbaros GÖZÜTOK'a teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini üzerimden hiçbir zaman eksik etmeyen, her daim bana destek olan sevgili aileme, yüksek lisans çalışma grubu arkadaşlarım Ali ÖZCAN ve Ramazan AYAZOĞLU'na, dostluğu ile her zaman yanımda olan Serra AŞKIN ve Araş. Gör. Elif Ecem BAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada kullanılan yazılımları sağlayan ARUP firmasına teşekkürlerimi sunarım. Bu proje kapsamında İTÜ BAP yüksek lisans desteği alınmıştır.

Aralık 2014

Muhammet Emre ERDEMLİ

İnşaat Mühendisi-Mimar

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Motivasyon.....	1
1.2. Tezin Amacı	4
1.3.Kapsam.....	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Giriş.....	5
2.2. Perde Duvarlar.....	5
2.2.1. Yapısal davranış ve tasarım	5
2.2.2. Süneklik	6
2.2.3. Taşıma gücü ve histeretik davranış.....	8
2.2.4. Bağ kirişli perde duvarlar.....	10
2.2.4.1. Betonarme bağ kirişli perde duvarlar	14
2.2.4.2. Çelik bağ kirişli perde duvarlar	15
2.3.Yapısal Enerji ve Sönüm.....	17
2.3.1. Pasif sönümleyiciler	18
2.3.1.1. Sürtünme tipi sönümleyiciler	18
3. İNCELENEN YAPISAL SİSTEM VE DEPREMSELLİK	21
3.1. Giriş.....	21
3.2. Yapısal Taşıyıcı Sistem Özellikleri.....	21
3.3. Yapısal Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Modellenmesi	23

3.3.1. Perde duvar modellenmesi	23
3.3.2. Betonarme çerçeve kirişleri modellenmesi	26
3.3.3. Çelik bağ kirişi modellenmesi	27
3.3.4. Kompozit çerçeve kolonu modellenmesi	28
3.3.5. Döşeme modellenmesi	29
3.3.6. Yapısal sönüm modeli	29
3.3.7. Özel durumlar	29
3.4. Deprem Etkilerinin Tanımlanması	30
3.4.1 Tasarım ivme spektrumları	30
3.4.2. Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi	31
3.5. Doğrusal olmayan analiz sonuçları	32
4. EŞDEĞER SÖNÜM HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ	33
4.1 Giriş	33
4.2 Modal Şekil Değiştirme Enerjisi Yöntemi	33
4.2.1 Yöntem	33
4.2.2 İncelenen yapı için eşdeğer sönüm hesabı	35
4.3 ASCE/FEMA Yaklaşımı İle Eşdeğer Sönüm Hesabı	38
4.3.1 Yöntem	38
4.3.2 İncelenen yapı için eşdeğer sönüm hesabı	39
4.4 Eşdeğer Sönüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması	41
4.5 Eşdeğer Sönüm Hesabı İncelemesi	44
4.5.1 Giriş	44
4.5.2 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	44
4.5.2.1 Taban kesme kuvveti	45
4.5.2.2 Devrilme momenti	47
4.5.2.3 Yer değiştirme	50
4.5.2.4 Sayısal sonuçlar	52
5. EŞDEĞER SÖNÜMÜN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ	
GÖSTEREN YÜKSEK BİR YAPI İÇİN İNCELENMESİ	57
5.1 Giriş	57
5.2 Taban Kesme Kuvveti	57
5.3 Devrilme Momenti	58
5.4 Yer Değiştirme	59

5.5 Elastik Ötesi Davranış Sonucu Sönümlenen Enerji Miktarı	61
5.6 Sayısal Sonuçlar	61
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR	67
EKLER.....	71
EK A	73
EK B	85
EK B.1 : Kompozit Kolon Tasarımı.....	85
EK B.2 : Çelik Bağ Kirişleri	88
EK B.3 : Perde Duvar Fiber Kesiti.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	92

KISALTMALAR

ACI	: American Concrete Institute
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
CG	: Can Güvenliği
CSA	: Canadian Standard Association
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
GB	: Göçme Bölgesi
GC	: Göçme Sınırı
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
IYBDY	: İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
MN	: Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	: National Earthquake Hazard Reduction Program
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Center

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Çelik bağ kirişi için güç tükenmesi durumları.....	15
Çizelge 3.1 : Yapısal sistem modal kütle katılımları.	21
Çizelge 3.2 : Yapısal eleman özellikleri.....	22
Çizelge 3.3 : Spektrum parametreleri.....	30
Çizelge 3.4 : Deprem kayıtları ölçekleme katsayıları.....	32
Çizelge 4.1 : Sürtünme tipi sönümleyici özellikleri.....	36
Çizelge 4.2 : Eş değer sönüm yöntemlerinin karşılaştırılması.....	41
Çizelge 4.3 : Doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetleri....	53
Çizelge 4.4 : Doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen devrilme momentleri.....	53
Çizelge 4.5 : Doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen kolon uç noktası yer değiştirmeleri.....	53
Çizelge 4.6 : Doğrusal analiz sonuçları.....	54
Çizelge 4.7 : Taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.....	55
Çizelge 4.8 : Devrilme momentleri karşılaştırması.....	55
Çizelge 4.9 : Kolon uç noktası yer değiştirmesi karşılaştırması.....	55
Çizelge 5.1 : Doğrusal analiz sonucu elde edilen değerler.....	61
Çizelge 5.2 : Doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetleri....	62
Çizelge 5.3 : Doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen devrilme momenti değerleri.....	62
Çizelge 5.4 : Doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen kolon uç noktası yer değiştirme değerleri.....	62
Çizelge 5.5 : Taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.....	63
Çizelge 5.6 : Devrilme momentleri karşılaştırması.....	63
Çizelge 5.7 : Kolon uç noktası yer değiştirmesi karşılaştırması.....	63
Çizelge B.2.1 : Plastik dönme açıları ve artık dayanım oranı.....	90
Çizelge B.2.2 : Çelik bağ kirişi için performans seviyeleri.....	90

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : (a) 1994 Northridge depremi sonrası ve (b) 2001 Peru depremi sonrası oluşan yapısal olmayan hasarlar (FEMA E-74, 2011).....	2
Şekil 1.2 : Sürtünme tipi sönümleyicinin farklı seviye yükler altındaki davranışı.....	4
Şekil 2.1 : T ve $V_{max}^{dyn.}/V_T$ fonksiyonu olarak μ_r^a oranı 20 katlı tekil yapısal taşıyıcı duvarlar, (Derecho,1980).....	7
Şekil 2.2 : Moment-Eğrilik ilişkisi, (Cardenas ve Magura, 1973).....	8
Şekil 2.3 : Mafsal bölgesinde kesme kuvvetinin basınç bölgesi tarafından aktarılması (Oesterle ve diğ.,1980).....	10
Şekil 2.4 : Perde duvar için idealize edilmiş yatay kuvvet davranışı (Harries, 2001)	12
Şekil 2.5 : “Degree of coupling”in şematik gösterimi, (El-Tawil ve diğ.,2010).....	13
Şekil 2.6 : Perde duvar eğilme davranışı mekanizması karşılaştırması (Paulay, 1986)	13
Şekil 2.7 : Bağ kirişlerinde kesme kuvvetinin bina yüksekliği boyunca dağılımı....	13
Şekil 2.8 : Çelik bağ kirişi ve perde duvar birleşim detayı (Lehmkuhl, 2002).....	16
Şekil 2.9 : Yapısal enerji sönümü.....	18
Şekil 2.10 : Sürtünme tipi sönümleyici yerleşimi.....	19
Şekil 2.11 : Bağ kirişinde oluşan düşey yer değiştirme ve sönümleyici davranışı....	19
Şekil 2.12 : Pasif Sönümleyici türleri ve özellikleri.....	20
Şekil 3.1 : Modellenen yapının taşıyıcı sistem kalıp planı.....	22
Şekil 3.2 : Yapısal sistem mod şekilleri.....	22
Şekil 3.3 : Yapısal taşıyıcı sistem elemanlarının modellenmesi.....	23
Şekil 3.4 : Modelde kullanılan perde elemanları kesiti.....	24
Şekil 3.5 : Perde için tanımlanan sargısız beton gerilme-şekil değiştirme grafiği....	25
Şekil 3.6 : Perde için tanımlanan sargılı beton gerilme-şekil değiştirme grafiği....	25
Şekil 3.7 : Betonarme donatı çeliği gerilme şekil değiştirme eğrisi.....	26

Şekil 3.8 : Kiriş için tanımlanan sargılı beton gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	26
Şekil 3.9 : Tipik kiriş eleman modeli.....	27
Şekil 3.10 : Plastik mafsal için tanımlanan moment-dönme eğrisi grafiği.....	27
Şekil 3.11 : Plastik mafsal moment-dönme ilişkisi.....	28
Şekil 3.12 : Tipik kolon eleman modeli.....	28
Şekil 3.13 : Modellemede kullanılan sönümleme eğrisi.....	29
Şekil 3.14 : Tasarım ivme spektrumları.....	30
Şekil 3.15 : Ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarından elde edilmiş ivme spektrumları...	32
Şekil 4.1 : Sönümleyici sistem kullanılan yapılar için ön tasarım aşamaları.....	33
Şekil 4.2 : Tek ve çok serbestlik dereceli sistemler için eşdeğer sönüm hesap konsepti.....	35
Şekil 4.3 : Harmonik titreşimin bir çevrimi için E_D ve E_S	35
Şekil 4.4 : SAP2000 analiz modeli.....	36
Şekil 4.5 : Sürtünme tipi sönümleyicilerin (a) harmonik etki altında davranışı ve (b) farklı deprem seviyeleri için davranışı.....	38
Şekil 4.6 : Kuvvet-Yer değiştirme eğrisi.....	41
Şekil 4.7 : Modal şekil değiştirme enerjisi yöntemi hesap adımları.....	42
Şekil 4.8 : ASCE/FEMA yaklaşımı ile eşdeğer sönüm hesap adımları.....	43
Şekil 4.9 : PERFORM-3D programında tanımlanan sürtünme tipi sönümleyici davranışı.....	44
Şekil 4.10 : X (H1) yönü taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.....	45
Şekil 4.11 : X (H1) yönü taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.....	45
Şekil 4.12 : X (H1) yönü taban kesme kuvvetleri oranları.....	46
Şekil 4.13 : Y (H2) yönü taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.....	46
Şekil 4.14 : Y (H2) yönü taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.....	47
Şekil 4.15 : Y (H2) yönü taban kesme kuvvetleri oranları.....	47
Şekil 4.16 : X (H1) doğrultusu etrafında devrilme momentleri karşılaştırması.....	48
Şekil 4.17 : X (H1) doğrultusu etrafında devrilme momentleri karşılaştırması.....	48
Şekil 4.18 : X (H1) doğrultusu etrafında devrilme momentleri oranları.....	48
Şekil 4.19 : Y (H2) doğrultusu etrafında devrilme momentleri karşılaştırması.....	49
Şekil 4.20 : Y (H2) doğrultusu etrafında devrilme momentleri karşılaştırması.....	49
Şekil 4.21 : Y (H2) doğrultusu etrafında devrilme momentleri oranları.....	49
Şekil 4.22 : X (H1) yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme karşılaştırması...50	

Şekil 4.23 : X (H1) yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme karşılaştırması...	51
Şekil 4.24 : X (H1) yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme oranları.....	51
Şekil 4.25 : Y (H2) yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme karşılaştırması...	51
Şekil 4.26 : Y (H2) yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme karşılaştırması...	52
Şekil 4.27 : Y (H2) yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme oranları.....	52
Şekil 5.1 : X (H1) yönü taban kesme kuvveti karşılaştırması.....	58
Şekil 5.2 : Y (H2) yönü taban kesme kuvveti karşılaştırması.....	58
Şekil 5.3 : X (H1) doğrultusu etrafında devrilme momenti karşılaştırması.....	59
Şekil 5.4 : Y (H2) doğrultusu etrafında devrilme momenti karşılaştırması.....	59
Şekil 5.5 : X yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme karşılaştırması.....	60
Şekil 5.6 : Y yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme karşılaştırması.....	60
Şekil 5.7 : Yapısal elemanların ve sönümleyici cihazların elastik ötesi davranışları sonucu sönümlenen sönümlenen enerji miktarı.....	61
Şekil A.1: Göreli kat ötelenmeleri.....	73
Şekil A.2: Sönümleyicili model için göreli kat ötelenmeleri.....	74
Şekil A.3: Kat kesme kuvvetleri (H1 doğrultusu).....	75
Şekil A.4: Sönümleyicili sistemde kat kesme kuvvetleri (H1 Doğrultusu).....	76
Şekil A.5: Kat kesme kuvvetleri (H2 doğrultusu).....	77
Şekil A.6: Sönümleyicili sistemde kat kesme kuvvetleri (H2 doğrultusu).....	78
Şekil A.7: Moment değerleri (H1 etrafında).....	79
Şekil A.8: Sönümleyicili sistemde moment değerleri (H1 etrafında).....	80
Şekil A.9: Moment değerleri (H2 etrafında).....	81
Şekil A.10: Sönümleyicili sistemde moment değerleri (H2 etrafında).....	82
Şekil A.11: Sürtünme tipi sönümleyicinin yaptığı düşey yer değiştirme.....	83
Şekil A.12: Bağ kirişlerindeki plastik mafsalların dönme miktarı.....	84

SÖNÜMLEYİCİLER İLE BAĞLI BETONARME PERDE DUVARLI YÜKSEK YAPILARDA EŞDEĞER SÖNÜMLEME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde, yapıların daha yüksek ve narin yapılması isteği, yapıların yatay kuvvetlere karşı daha hassas hale gelmelerine neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak yapılardaki konfor, güvenlik ve afet sonrası kullanım gereksinimlerinin karşılanmasındaki zorluklar yeni taşıyıcı sistem düzenlemelerinin önerilmesi ile giderilmektedir. Bu yeni düzenlemelerden biri olan ve yapıya ek sönmleme özelliği sağlayan sönmleyici cihazların kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bu bağlamda, sismik risk altındaki bölgelerde inşa edilen yüksek yapılarda yüksek rijitlik ve enerjimi sönmü sağlama özellikleri nedeni ile yaygın olarak kullanılan bağ kirişli perde duvar sistemlerinin performans seviyelerini arttırmak amacı ile sönmleyici cihazların kullanılması güncel araştırma konuları arasındadır. Bu tezin konusu olan sürtünme tipi sönmleyicili çelik bağ kirişleri, perde duvar sistemlerinin performanslarının arttırılmasında kullanılabilecek düzenlemelerden bir tanesidir.

Sönmleyici cihazların tasarımlarının yapılması aşamasında doğrusal olmayan analiz yönteminin kullanılması gerekliliği bu cihazların tasarımı için gerekli sürenin ve iş gücünün artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, sönmleyici cihazların ön tasarımlarının doğrusal analiz metodu ile yapılmasını mümkün kılan eşdeğer sönm değerinin hesaplanması son derece önemli bir konu haline gelmektedir. Bu çalışmada, eşdeğer sönm hesap yöntemlerinden modal şekil değiştirme enerjisi yöntemi ve ASCE/FEMA yaklaşımı incelenmiştir. İlk olarak, iki yöntemin doğruluğu incelenmiş daha sonra incelenen yapı için eşdeğer sönmün kullanıldığı doğrusal analiz sonuçları ile doğrusal olmayan çözümleme sonuçları karşılaştırılması yapılmıştır.

Birinci bölümde, ek enerji sönmleyici sistemlerinin ortaya çıkmasındaki temel etkenler, yüksek yapılarda kullanılan ek enerji sönmleyici sistem düzenleri ve bu sistemlerin yapıya kattığı ek sönm miktarının belirlenmesinde kullanılan yöntemler hakkında genel bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılan bağ kirişli perde duvar sistemleri ve ek enerji sönmleyici sistemler hakkında bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, incelenen yapısal sistem özellikleri, analizlerde kullanılan deprem etkileri, doğrusal olmayan analiz modelinin oluşturulması aşamaları ve elde edilen sonuçlar bulunmaktadır.

Dördüncü bölümde, eşdeğer sönm hesaplama yöntemlerinden modal şekil değiştirme enerjisi yöntemi ve ASCE/FEMA yaklaşımı anlatılmış ve bu yöntemlerin doğruluğu incelenmiştir.

Beşinci bölümde, ASCE/FEMA yaklaşımı ile hesaplanan eşdeğer sönm değerinin kullanıldığı doğrusal analiz sonuçları ile doğrusal olmayan analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

EVALUATION OF EQUIVALENT DAMPING METHODS FOR RC COUPLED WALL HIGH-RISE BUILDINGS WITH COUPLING DAMPERS

SUMMARY

In recent years, the wish to build higher and more slender designs has caused the buildings to become more susceptible to horizontal forces. As a result of this, the difficulties regarding the fulfilment of comfort, safety and post-disaster usage requirements are addressed with new suggestions for structural system configurations. One of these new configurations is using dampers, they provide supplementary dissipation for the building and are becoming more common every day. In this context, in order to increase the performance levels of coupled shear wall systems, which are widely used for their high stiffness and energy dissipation providing qualities, damping devices are used in the middle of coupling beams as a recent approach. The subject of this thesis, steel link beams with friction dampers, is an example of these configurations. In this configuration, relative displacement occurs on both sides of the coupling beams with lateral load impact and when the yielding displacement of a damper is reached, the damper activates. After activation, the dampers start dissipating energy and this is directly influenced by damper capacity. Compared to supplementary damping systems, this configuration not only affects energy dissipation, but also the coupling ratio of shear walls, which is primarily influential on overall behaviour of the structure.

The necessity of nonlinear analysis procedures and an advanced dynamics background during the design process of dampers increase the amount of time and workforce required to design them. Thus, calculating an effective damping value which allows a linear analysis method to be applied in the pre-design stage of dampers is a very critical issue in the matter. In this study, the reliabilities of equivalent damping methods are investigated in three steps with the following method:

Firstly, the structural system of a tall building which is built in the Levent region of İstanbul is considered for investigating equivalent damping methods. The building is 163.4m in height, and has a 28x34 m² base area. The structural system consists of perimeter composite columns, which are attached with reinforced concrete façade beams, and two C shaped core walls which are coupled by steel link beams. The columns are attached to the core walls with 26 mm thick reinforced concrete slabs. Some simplifications are made for the structural system; all stories, composite columns and perimeter beams are assumed identical. For this study, the structural system is modified by placing friction dampers with 1500 kN capacity in the middle of every steel coupling beam. Link beams, which are fuse elements of the structural system, are prone to experience large deflections and dissipate a major part of the earthquake excitation energy. Considering this, placing dampers in the middle of link beams increases the effectiveness of dampers, by providing a larger cyclic curve area and improving the overall performance level of the building.

Secondly, a verification process for two equivalent damping calculation methods, which are the modal strain energy method and the ASCE/FEMA approach, is applied. For this purpose, the equivalent damping values for the first mode of the described building are calculated by using the two methods, and similar results are obtained; %15 supplementary viscous damping for the modal strain energy method, and %13.5 supplementary viscous damping for the ASCE/FEMA approach. As a result of similar damping values, a verification procedure is applied just for the damping value which was obtained from the ASCE/FEMA approach. Two separate analysis models are created for verification; a linear model with equivalent damping and a linear model with nonlinear friction damper element. Time history analysis with seven earthquake records and response spectrum analysis are conducted, and the results are compared. The aim of these comparisons is to show that the damping value which is provided by friction dampers can be represented by the equivalent damping value. Base shear, overturning moment, roof deflection comparisons are presented in this study and marginal differences are observed. As higher modes of tall buildings are more influential in overall behaviour, these differences are attributed to calculating the equivalent damping value only for the first mode of the building.

Finally, the effect of nonlinear behaviour of structural elements on the equivalent damping value is investigated. For this purpose, a nonlinear model of the considered building is prepared by using PERFORM 3D software. All structural elements are designed taking the nonlinear behaviour of materials and the geometric properties into account. Base shear, overturning moment and deflection values, obtained from time history analysis of the nonlinear model, are compared with the spectrum analysis results of the linear model with equivalent damping, which is also used in the second step. In the equivalent damping calculation process by using the ASCE/FEMA approach, the contribution of nonlinear behaviour of structural elements to the equivalent damping value is neglected, and comparisons are made to evaluate the effect of nonlinear behaviour of structural elements on the equivalent damping value. For the considered building, approximately %50 of dissipated inelastic energy is provided by structural elements and the results are evaluated considering this parameter.

The results and recommendations for future studies can be summarised as follows,

- In this study, a new approach is used for scaling the earthquake records. This new approach takes into account not only the first mode period of the building; but also the higher mode periods, which affect the scaling value proportional to its modal mass contribution on overall behaviour. The effects of this new approach on the results should be investigated.
- Equivalent damping calculation methods, the modal strain energy method and the ASCE/FEMA approach yield similar equivalent damping values.
- Results of the comparison between response spectrum analysis of the linear model with equivalent damping and time history analysis of the linear model with nonlinear friction damper element are as follows,
 - Base shear value of response spectrum analysis is %20 higher than the result of time history analysis.
 - Overturning moment of the structure and roof level deflection value of a column from response spectrum analysis are %10 and %5 higher than the results of time history analysis respectively.
- In the view of practical engineering, these differences can be regarded as reasonable.

- The results of time history analysis of the nonlinear model is lower than the demands of response spectrum analysis of the linear model with equivalent damping by a ratio of 0.6 to 0.8.
- For tall buildings, in the process of equivalent damping calculations, higher modes should be considered in addition to the fundamental modes.
- In this study, all comparisons are made on the considered building, which has a high performance level. These comparisons should also be made for a building with a standard performance level.
- In this study, two dampers are placed on every story. For economical concerns, new configurations with less dampers can be investigated. (e.g. Dampers can be used only on levels with the most deformed coupling beams).

1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon

19. yüzyılın sonlarına doğru, güvenilir asansörlerin icat edilmesiyle birlikte yüksek yapılar tüm dünyada popüler yapı türlerinden biri olmaya başlamıştır. Yüksek yapılar, yüksek yoğunluklu kentsel yerleşime olanak sağlamasının yanında, bulundukları kentlerin simgeleri olmakta ve gelişmişlik düzeyini gösteren unsurlardan biri olarak düşünülmektedir. Her geçen gün, mühendislik ve yapım teknolojilerindeki ilerlemeler sonucu daha güvenilir ve detaylı tasarım yöntemleri geliştirilmekte ve bu yöntemler daha yüksek ve narin binaların yapılmasına olanak sağlanmaktadır.

Günümüzde, yapıların daha yüksek ve narin yapılması isteği, yapıların yatay kuvvetlere karşı daha hassas hale gelmelerine neden olmaktadır. Yüksek yapılar, servis süreleri boyunca rüzgar etkisine maruz kaldıklarından yatay kuvvet taşıyıcı sistemleri rüzgar yüklerine uygun olarak tasarlanmaktadır. Bununa birlikte sismik bölgelerde bulunan yüksek yapıların yatay taşıyıcı sistemlerinin tasarımı ise tamamen farklı bir yaklaşım ile yapılmaktadır. Bağ kirişli betonarme perde duvar sistemi, sismik risk altındaki bölgelerde inşa edilen yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılan yatay yük taşıyıcı sistemlerdendir. Bu sistemler, daha yüksek yatay rijitlik sağlamalarının yanı sıra sismik enerjiyi sönmüleme özellikleri sayesinde yüksek yapılara daha üstün sismik performans sağlamaları ile bilinmektedirler (Saatçioğlu ve diğ., 1987). Bu sisteme sahip yüksek yapılar genellikle yapının orta kısmında bir çekirdek perde duvar sistemi ve yapı cephesinin hemen arkasına konumlandırılmış çevre kolonlarından oluşmaktadır. Ekonomik kısıtlamalar nedeni ile bu tür yapılar tasarım depremi (D2) veya tahmin edilen en büyük depreme (D3) maruz kaldıklarında yapısal elemanların elastik sınırların ötesine geçmelerine, yani hasar görmelerine izin verilmektedir. Bununla birlikte yapısal elemanlarında hasar oluşmayan yapıların, deprem sonrası kullanılmaları ise yapısal olmayan elemanların hasar görmesi nedeni ile mümkün olamamaktadır (Şekil 1.1 a-b). Bu nedenle son yıllarda yapılarda yaygın olarak

kullanılmaya başlanan enerji sönümleyici sistemler sismik ve rüzgar kuvvetleri altında seviyelerini arttırmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 1.1 : (a) 1994 Northridge depremi sonrası ve (b) 2001 Peru depremi sonrası oluşan yapısal olmayan hasarlar (FEMA E-74, 2011).

Enerji sönümleyici sistemler, pasif, aktif, hibrit ve yarı aktif sistemler olarak sınıflandırılabilirler. Pasif sönümleyici cihazların dinamik etkileri azalttığı kanıtlanmış olup, çalışma prensipleri de iyice anlaşıldığından yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada kullanılmış sürtünme ile çalışan sönümleyicilerin yanı sıra visko-elastik sönümleyiciler, metalik sönümleyiciler, viskoz akışkanlı sönümleyiciler, ayarlı kütle sönümleyicileri, ayarlı akışkan sönümleyiciler ve sismik izolatörler pasif enerji sönümleyici sistemlere örnek olarak verilebilir.

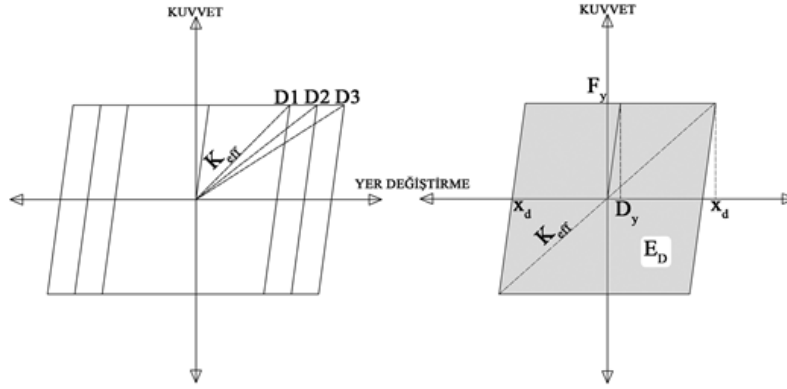
Yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılan enerji sönümleyici sistemler, ayarlı akışkan sönümleyiciler ve ayarlı kütle sönümleyicileridir. Bu tip sistemler genellikle yüksek yapıların temel titreşim periyoduna göre ayarlanarak rüzgar etkileri altında performansını arttırmak için kullanılmaktadırlar. Bu sistemler genellikle yapının en yüksek kısmına yerleştirilirler ve düşey taşıyıcı sistem üzerinde ekstra yüke neden olurlar. Bununla birlikte büyük hacimlere sahip olan bu sistemler yüksek yapılardaki kullanım alanlarını da kısıtlamaktadır. Yüksek sismik tehlike bulunan bölgelerde inşa edilen yüksek yapılarda ise yapı yüksekliği boyunca dağıtılmış ek sönümleyici sistemler, son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu cihazlar yatay kuvvetler altında göreceli hareketler yapan taşıyıcı elemanlar arasına yerleştirilerek enerji sönümlemesi sağlanmaktadır. Ayrıca bu cihazların elemanlar arasındaki farklı büyüklükteki yer değiştirmelere karşı hassas olması, yapının her modu için sönümleme sağlamaktadır. Özellikle yüksek yapılarda yüksek modların etkisi düşünüldüğünde, bu sönümleyiciler etkin bir şekilde kullanılabilirler.

Enerji sönümleyici sistemleri kullanıldığı yapıların tasarımındaki en önemli nokta, bu sistemlerin yapıya kattığı modal sönümleme miktarının belirlenmesidir. Bu tip sistemlerin kullanıldığı yapılarda sağladığı ek sönüm miktarlarının belirlenmesi ile doğrusal analiz yöntemi kullanılarak ön tasarımlarının yapılması mümkün olmaktadır. Böylece bu sistemlerin ön tasarım aşamalarında önemli miktarda zaman ve iş gücü gerektiren doğrusal olmayan analiz modellerine gerek kalmamakta, hızlı bir şekilde ön tasarım aşaması tamamlanmaktadır. Bununla birlikte, ileriki tasarım aşamalarında taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak kontrol edilmesi önerilmektedir.

Sönümleyici sistemlerin yapıya kattığı sönüm miktarının yaklaşık olarak belirlenmesi farklı yöntemlerle yapılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında iki yöntem incelenmiştir. Bu yöntemlerden birincisi, yaygın olarak kullanılan modal şekil değiştirme enerjisi metodudur. Bu metot ile yapısal sistem, eşdeğer sönüme sahip tek serbestlik dereceli sistem olarak ifade edilmektedir. Yapısal sisteme eklenen sönümleyicilerin harmonik hareket altında belirlenen mod için bir çevrim sonucu sönümlediği enerjinin, harmonik hareket altında tek serbestlik dereceli sistemin bir çevrim sonucu sönümlediği enerjiye eşit olduğu varsayılır. Tek serbestlik dereceli sistemin sahip olduğu bu sönümleme gerçek sistemin eşdeğer modal sönümünü temsil etmektedir. Bununla birlikte bu yöntem lineer sönümleyicilerin kullanıldığı lineer yapı sistemleri için geçerlidir. Yapısal sistemin ya da sönümleyicinin doğrusal olmayan davranış gösterdiği durumlarda ise, her kritik yükleme seviyesi için (örn. D1, D2, D3 deprem seviyeleri) analizleri yapıp her durum için uygun eşdeğer sönümleme miktarı bulunmalıdır. Bu çalışmada kullanılan sürtünme tipi sönümleyici cihazlar lineer ötesi davranışa sahip olmaları sebebiyle her kritik yük seviyesi için farklı enerji sönümleme kapasitelerine sahiptirler. Dolayısıyla her yükleme seviyesine karşı gelen yer değiştirme ve efektif sönümleme miktarının bulunması gerekmektedir (Şekil 1.2).

Bu çalışmada incelenen diğer eşdeğer sönüm hesaplama yöntemi, ASCE 7-10 Bölüm 18 ve FEMA-450 Bölüm 15 dokümanlarında tarif edilen yöntemdir. Bu yaklaşım sönümleyici sistem ve yapısal sistemin histeretik sönümünü beraber göz önüne alarak belirli bir formül çerçevesinde ifade etmektedir. Ayrıca yapısal sistemin sönümleyici sistem ile beraber çalışması sonucu oluşan etkin rijitlik değeri de hesaba katılarak, lineer sistemlerde kullanılacak efektif sönüm değeri hesap edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan iki farklı eşdeğer sönüm hesaplama yönteminin yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bununla birlikte bu yöntemler sonucu bulunan sönüm değerlerinin sönümleyici cihazların yapıya sağladığı enerji sönümünü yeterli yaklaşıklık ile ifade ettiği de söylenebilir.



Şekil 1.2 : Sürtünme tipi sönümleyicinin farklı seviye yükler altındaki davranışı.

1.2. Tezin Amacı

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın amacı, sürtünme tipi sönümleyiciler ile bağlı perde duvar sistemine sahip yüksek yapının eşdeğer sönümünün iki farklı yöntem ile hesaplanması ve bu yöntemlerin doğruluğunun doğrusal ve doğrusal olmayan analizler kullanılarak belirlenmesidir.

1.3.Kapsam

Bu çalışma, İstanbul Levent bölgesinde inşa edilmiş 43 katlı çekirdek perde duvar sistemine sahip yüksek bir yapının bağ kirişlerine sürtünme tipi sönümleyiciler yerleştirilerek eşdeğer sönüm hesabının yapılmasını ve kullanılan iki farklı eşdeğer sönüm hesap yönteminin doğruluğunun belirlenmesini kapsamaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Giriş

Literatür araştırması başlığı altında, çalışmanın tamamlanabilmesi amacıyla yapılan araştırmalar bir araya toplanmıştır. Genel hatları ile perde duvarlar, bağ kirişleri ve ek sönümleyici sistemler hakkında bilgi verilmiştir.

2.2. Perde Duvarlar

2.2.1. Yapısal davranış ve tasarım

Düzgün tasarlanmış perde duvarların, yüksek yapıların deprem ya da rüzgar gibi yanal kuvvetler altındaki performansını önemli ölçüde arttırdıkları uzun yıllardır bilinmektedir (Paulay, 1986). Perde duvarlar temel olarak gösterdikleri düşey konsol kiriş davranışı ile yüksek yapıların yanal rijitliğini önemli ölçüde arttırarak şiddetli depremlerin etkisiyle oluşan ve hasara neden olan katlar arası görelî yer değiştirmeleri kısıtlamaktadırlar. Perde duvarların tasarımları sırasında üzerinde durulması gereken en önemli husus güç tükenmesi durumunun sünek davranış karakteristiği göstermesidir. Perde duvarlar için bu sünek davranış, eğilme etkisi altında belirlenen yerlerde plastik mafsalların oluşması, buna bağlı olarak enerji yutma ve plastik deformasyon miktarlarının kontrol altında tutulması ile sağlanmaktadır. Dolayısı ile perde duvarların eğilme altındaki kapasiteleri diğer tüm oluşabilecek güç tükenmesi durumlarının kapasitelerinden fazla olmalıdır.

Perde duvarların yatay yöndeki rijitliklerinin fazla olmasından dolayı yapıya gelen yatay kuvvetlerin büyük kısmı bu elemanlar tarafından karşılanmaktadır. Yüksek yapılarda kullanılan ve genellikle yüksekliklerinin genişliklerine oranı 2 den fazla olan perde duvarlar, konsol kiriş davranışı göstermektedirler. Bu tür duvarlar genellikle yapının her katında döşemeler tarafından tutuldukları için stabilite problemleriyle karşılaşmadan narin kesitler kullanılarak tasarlanabilmektedirler. Narin olarak tasarlanan bu tip taşıyıcı elemanların taban bölgelerinde eğilme davranışından dolayı mafsalların oluşması ile sünek davranış göstermeleri kısa olan perde duvarlara oranla

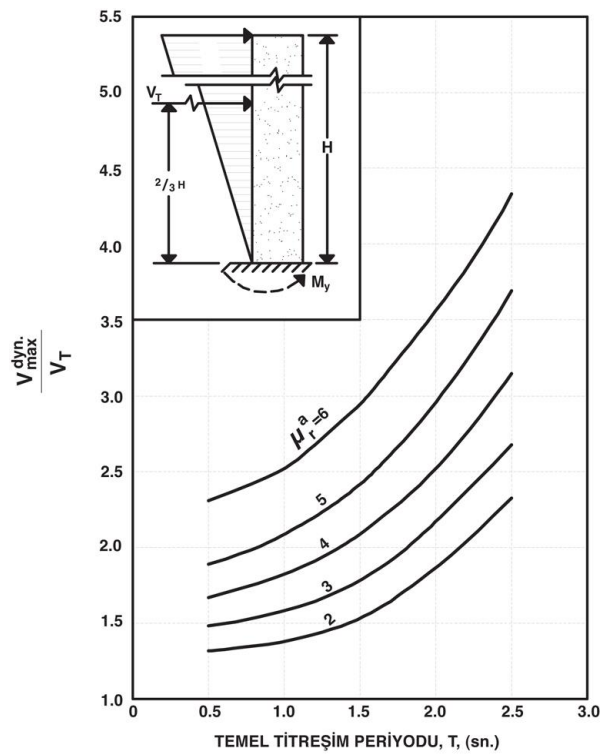
daha kolaydır. Yüksekliği uzunluğuna oranı 2 de küçük olan yani kısa perde duvarlar ise üzerlerine gelen yatay yükleri çekme ve basınç elemanlarından oluşan kafes sistem davranışı ile aktarmaktadırlar. Bu davranışın sonucu olarak tabanda eğilmeden dolayı akma oluşturabilmesi için yüksek miktarda kesme kuvvetinin perde duvara etkimesi gerekmektedir. Bu kesme kuvvetinin sonucu olarak yapının elastik ötesi davranışı etkilenmekte ve enerji yutma kapasitesi düşmektedir. Bu tür duvarlar için yüksek miktarda kesme kuvveti etkisi altında tasarım yapılarak duvarın sünek davranışı sınırlanmalıdır.

1980 yılında Derecho tarafından 10, 20, 30 ve 40 kat yüksekliğinde perde duvarlar için zaman tanım alanında doğrusal olmayan 6 adet deprem kaydı için parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucu olarak farklı süneklik değerleri için kesme kuvveti arttırma katsayıları eşdeğer deprem yüküne bağlı olarak verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi, tabanda eğilme davranışı nedeniyle akma kapasitesine ulaşmak için eşdeğer deprem kuvveti yönteminin perde tabanında oluşturduğu kesme kuvvetinin 1.5 ile 3.5 katı arasında bir kesme kuvveti uygulanması gerekmektedir (Şekil 2.1). Bu noktada, deprem mühendisliğinde kullanılan kapasite tasarımı yaklaşımını sağlamak amacı ile yönetmeliklerde tasarım için kullanılacak kesme kuvveti değerleri iki farklı katsayı ile arttırılmaktadır. Bu katsayılardan birincisi, kullanılan malzemelerin mukavemet değerlerindeki sapmalar nedeni ile kesitte fazladan oluşan eğilme kapasitesini dikkate almak amacı ile ikinci katsayı ise yapının yüksekliğine bağlı olarak taban kesme kuvvetini belli bir miktar arttırmak amacı ile kullanılmaktadır (Naeim, 2001).

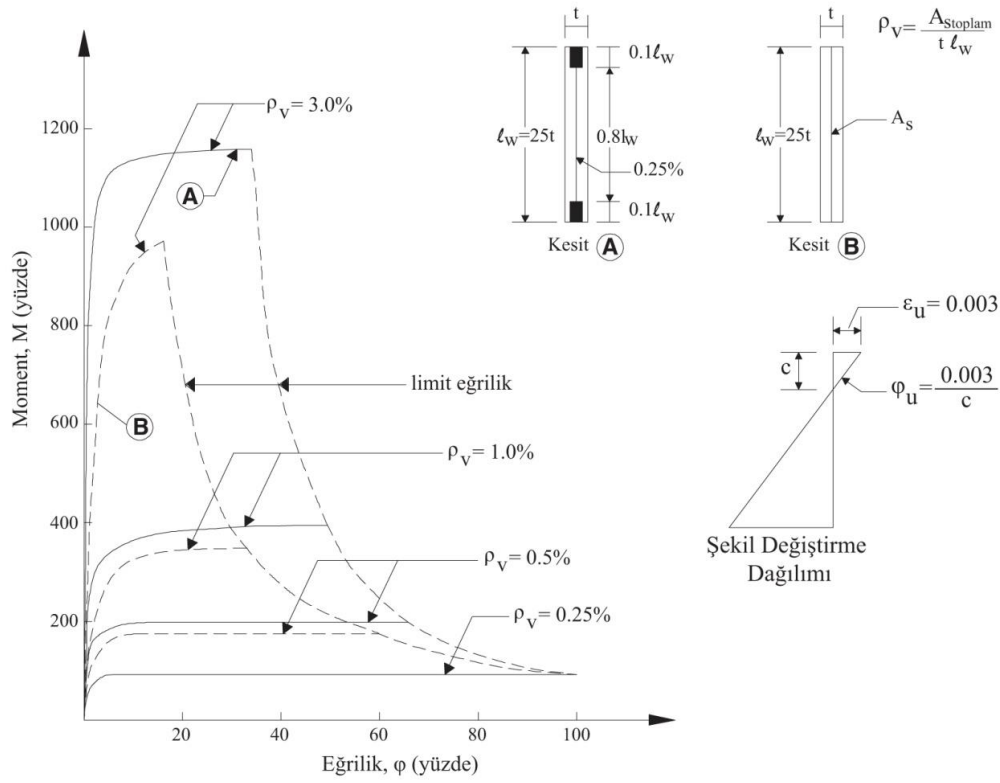
2.2.2. Süneklik

Süneklik, bir yapı elemanının akma durumuna eriştikten sonra yer değiştirme miktarının ölçüsü olarak tanımlanabilir. Bu kavram elemanın yapabileceği maksimum yer değiştirmeyi göstermesinin yanında elemanın histeretik enerji yutma kapasitesi hakkında da tahminde bulunmayı sağlayabilmektedir. Perde duvarlarda istenen sünekliğin sağlanabilmesi amacıyla eğilme davranışının baskın olması gerekliliğinin yanı sıra, eğilme kuvvetleri dolayısıyla oluşacak olan mafsallarda uygun donatı düzeni ve detaylarını kullanmak oldukça önemlidir. Bu detaylandırmalar sayesinde, eğilme etkisi altında perde duvarın basınç bölgesinde yeterli mukavemet sağlanması,

Yapısal taşıyıcı duvarlar, genellikle yoğun donatı düzeni kullanılarak güçlendirilmiş uç bölgeleri ile tasarlanırlar. Bunun nedeni, yapısal duvarın uç bölgelerinde, sismik kuvvetlerin ve binanın üzerindeki ağırlığın birlikte neden olduğu yüksek basınç kuvvetlerine karşı koyabilmektir. Bölgelerde yüksek miktarda boyuna donatının yanı sıra, yüksek miktarda enine donatı da kullanılarak boyuna donatının burkulması önlenmekte ve betonun şekil değiştirme kapasitesi de artırılarak daha sünek bir davranış elde edilebilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.1 : T ve $V_{\max}^{\text{dyn.}}/V_T$ fonksiyonu olarak μ_i^a oranı 20 katlı tekil yapısal taşıyıcı duvarlar, (Derecho,1980).



Şekil 2.2 : Moment-Eğrilik İlişkisi, (Cardenas ve Magura, 1973).

2.2.3. Taşıma gücü ve histeretik davranış

Yapısal taşıyıcı duvarlarda güç tükenmesinin eğilme etkisi altında meydana gelmesi ile sünek davranış sağlanmaktadır. Bununla birlikte yapıda oluşabilecek sünek olmayan güç tükenmesi durumlarının nedenleri ise kesme kuvveti sonucu oluşan diyagonal basınç ve çekme bölgeleri, tüm duvarın ya da kesit içerisindeki basınç donatılarının stabiliteelerini kaybetmeleri, elemanların birleşim bölgelerinde kaymaya neden olan kesme kuvveti ve ankraj veya bindirme bölgelerinde ortaya çıkan kesme kuvveti ya da aderans kaybı olarak özetlenebilir (Paulay, 1986). Sünek olmayan ve kesme kuvveti nedeni ile oluşan bu güç tükenmesi durumlarının kontrol altında tutulması, mukavemet azalması (strength degradation) ve gerçek rijitlik değerine ulaşmadan güç tükenmesi durumuna ulaşılması (premature stiffness) gibi enerji yutma kapasitesini azaltıcı faktörlerin davranışı etkilememesi açısından oldukça önemlidir.

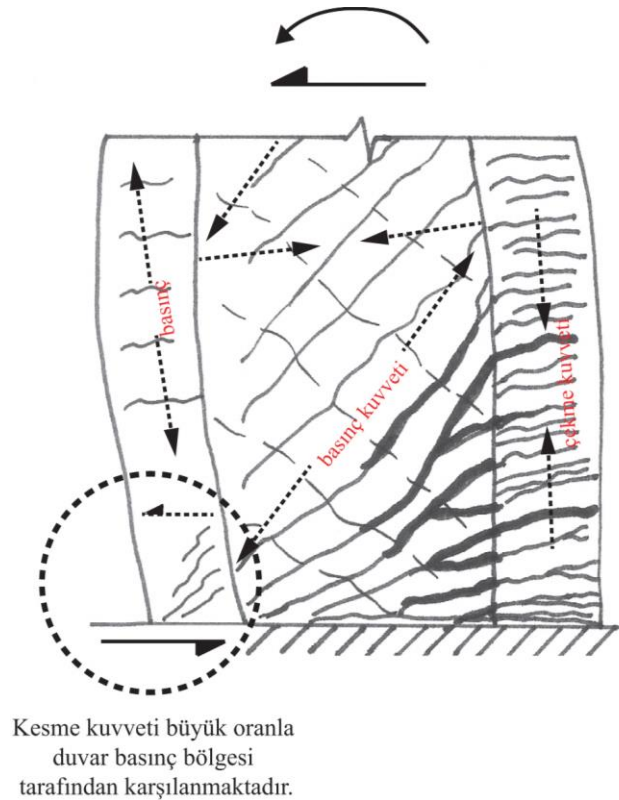
1950'li yıllarda yapısal sistemlerinde meydana gelen kesme kuvveti kaynaklı güç tükenmesi durumları sonucu kesme kuvveti davranışını anlamak ve kapasitelerini hesaplamak için birçok çalışma yapılmıştır. Bu araştırmalar statik yükleme durumlarını dikkate alarak başlasa da yaşanan depremler sonucu betonarme

elemanların tekrarlı yükler altındaki kesme davranışının da çok önemli olduğu kanısına varılmıştır. Yapısal taşıyıcı duvarlarda kesme kuvvetinin büyüklüğü özellikle mafsalsal bölgesinin mukavemeti ve sünekliği açısından son derece önemlidir. Mafsalsal bölgelerinde kesme kuvveti, duvarın uzunluğu boyunca oluşan sürtünme kesmesi, boyuna donatısının oluşturduğu “dowel action” ve duvarın basınç bölgesindeki beton kütlelerinin katkısı ile karşılanmaktadır (Şekil 2.3). Bununla birlikte, yapısal taşıyıcı duvarlarda, birkaç histeretik yüklemeden sonra oluşan eğilme çatlakları kesme sürtünmesi ile taşınan kesme kuvveti miktarını oldukça düşürmektedir. Eğilme davranışı gösteren yapısal taşıyıcı duvarın basınç altındaki uç bölgesi, kesme kuvveti sonucu oluşan diyagonal basınç elemanının yatay birleşenine de maruz kalmaktadırlar. Eğer bu uç bölgeleri narin tasarlanmış ya da yeterli yatay donatı miktarı kullanılarak tasarlanmadılar ise çekirdek betonunda hasarlar meydana gelerek duvarın rijitliğinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu rijitlik azalması sonucu ya da basınç elemanının yatay birleşeni nedeni ile duvarlar güç tükenmesine ulaşabilirler. Uç bölgelerinin yatay donatı ile çok iyi bir biçimde sarılması daha önce bahsedildiği gibi sünekliği arttırmasının yanında, mafsalsal bölgesinde kesme donatısı görevi sağlaması ve boyuna çekme donatısının kesme kuvvetine karşı sağladığı “dowel action” etkisini arttırması sayesinde yapısal taşıyıcı duvarın kesme kapasitesine önemli katkı sağlamaktadır. Ayrıca yapısal taşıyıcı duvarın gövde bölgesinde bulunan yatay donatılar, yatay yükler altında perdede oluşan diyagonal çekme kuvvetlerine karşı koyabilmesi açısından, bu donatıların perde uç bölgelerine ankrajı son derece önemlidir.

1970’li yılların sonlarına doğru, Oesterle tarafından “Portland Cement Association” da sadece taşıyıcı perde duvarlar üzerinde yapılan testler sonucu, bu yapı elemanlarında histeretik ve monotonik yükleme durumları için farklı parametrelerin perde duvarların davranışı üzerinde nasıl etki gösterdiği araştırılmıştır. Bu testlerde düz dikdörtgen, uç bölgesi güçlendirilmiş dikdörtgen ve uç bölgelerinde daha büyük kesitli kolonlara bağlanan dikdörtgen kesitler (barbell sections) olmak üzere 3 tip taşıyıcı duvar kesit tipi kullanılmıştır. Bu testlerden elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Histeretik ve monotonik yükler altında test edilen birebir aynı özellikteki taşıyıcı yapısal duvarlardan, histeretik yükleme altında olanın eğilme mukavemeti %15 oranında, şekil değiştirme kapasitesi ise %30 oranında daha küçük elde edilmiştir.

- Yapısal taşıyıcı duvarların üzerlerindeki kesme kuvvetlerinin büyümesi, dönme sünekliğinin azalmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Duvarların basınç dayanımlarının %10'u mertebesindeki normal kuvvetin kesme kuvvetinden kaynaklanan hasarları kısıtladığı ve dolayısıyla kesme rijitliğini arttırdığı görülmüştür.
- Düz dikdörtgen kesitlere göre uç bölgesi güçlendirilmiş ya da uç bölgelerinde daha büyük kesitli kolonlara bağlanan dikdörtgen kesitler daha yüksek eğilme kapasitesinin yanında daha yüksek kesme kapasitesi ve sünekliğe sahiptirler. Bununla birlikte bu tip kesitlerde uç bölgelerinin sağladığı yüksek kesme kapasitesinin, uç bölgelerine göre daha zayıf olan duvarın gövde kısmında ezilmelere neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle kesme kuvvetinin büyüklüğü yeterli kapasite olmasına rağmen belirli sınırlar içerisinde tutulmalıdır.



Şekil 2.3 : Mafsallı bölgede kesme kuvvetinin basınç bölgesi tarafından aktarılması (Oesterle ve diğ.,1980).

2.2.4. Bağ kirişli perde duvarlar

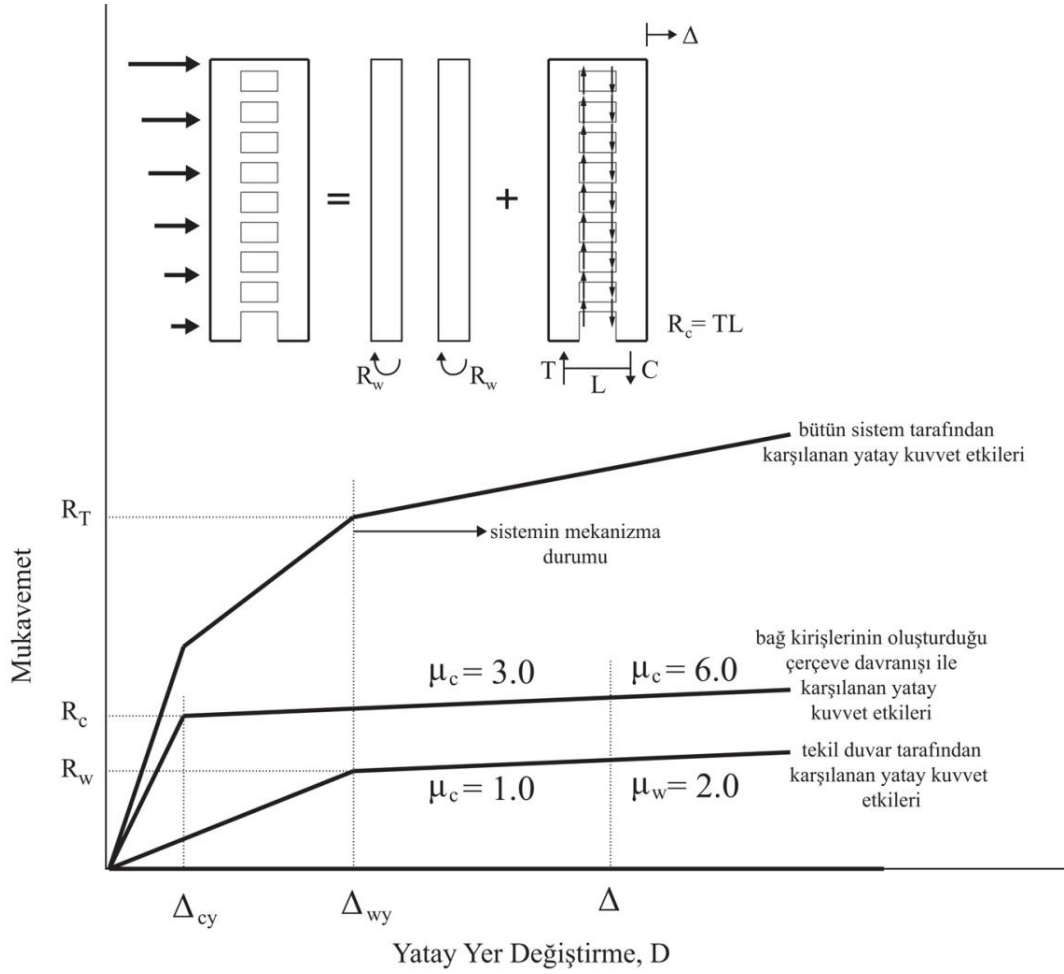
Yapısal taşıyıcı sistemlerin sismik kuvvetlere göre tasarımları yapılırken, oluşan enerjinin sönmelenmesini sağlayacak olan yapı elemanlarının enerji sönmleme

kapasiteleri arasında bir hiyerarşi sağlanması gerekmektedir. Bu hiyerarşi yapı elemanının, yapı sistemi içindeki önemine bağlı olarak belirlenmelidir. Bu bağlamda yapısal taşıyıcı sistem elemanları birincil ve ikincil elemanlar olmak üzere iki gruba ayrılabilirler. Bu gruplardan birincil yapı elemanlarında meydana gelecek güç tükenmesi durumunda tüm yapısal sistemin güvenliği tehlikeye girmekte, ikincil yapı elemanlarında güç tükenmesi oluşması durumunda ise bu durum sadece yapısal sistemin bir kısmını etkilemektedir. Dolayısıyla kapasite tasarım yöntemine paralel olarak birincil yapı elemanlarının ikincil yapı elemanlarından daha güçlü tasarlanmaları gerekmektedir. Bu tasarım konseptine örnek olarak bağ kirişleri ile bağlanmış perde duvarlar verilebilir.

Sismik kuvvetler altındaki bağ kirişleri ile bağlanmış perde duvar sistemlerinde, yüksek rijitlikteki perde duvarların hasar oluşmaksızın yapıyı istenen yer değiştirme limitleri içerisinde tutmaları, bağ kirişleri ise hasar alarak (lineer ötesi davranış) sismik enerjiyi sönmömleri beklenmektedir. Sismik kuvvetlere maruz kalarak hasar oluşmuş bağ kirişlerinin onarımının diğer elemanlara göre daha kolay olması bu elemanlarda hasara izin verilmesinin nedenlerinden birisidir. Bu bağlamda bağ kirişli perde duvarlarda tercih edilen akma mekanizması, bağ kirişlerinin kapasite tasarımı sayesinde istenen elastik ötesi davranış göstererek sismik enerjiyi sönmömleri ve bağ kirişleri tarafından sönmömlenemeyen sismik enerji mevcut ise perde duvarların tabana yakın kısımlarında oluşacak plastik mafsallar sayesinde sönmömlenmesi şeklindedir. Bağ kirişli betonarme perde duvarların 3 temel avantajı; her bir perde duvara gelen moment değerlerinin küçölmesi ile daha efektif bir taşıyıcı sistem elde edilmesi, daha küçük taban alanı kaplayarak daha yüksek yatay rijitlik sağlanması, yapıya gelen sismik enerjinin, bağ kirişlerinin elastik ötesi davranışları ile yapının tüm yüksekliğı boyunca sönmömlenmesi olarak özetlenebilir (El-Tawil ve diğ., 2010).

Bağ kirişler ile bağlanmış perde duvar sistemi yanal kuvvetleri, her bir perdede oluşan eğilme davranış ve bağ kirişlerinin üzerlerine gelen kesme kuvvetini bağılı bulundukları duvarlara normal kuvvet olarak aktaran çerçeve sistem benzeri davranış ile karşılaşmaktadır (Şekil 2.4). Bu çerçeve davranış sayesinde her bir duvar tarafından karşılanan moment azaltmakta ve yanal rijitlik artmaktadır. Ayrıca yatay kuvvetlerin etkimesi ile bu çerçeve etkisi sonucu perde duvarlardaki normal kuvvet miktarı da değişmektedir. Yatay yükün yönüne bağılı olarak perde duvarlarda oluşacak olan ek

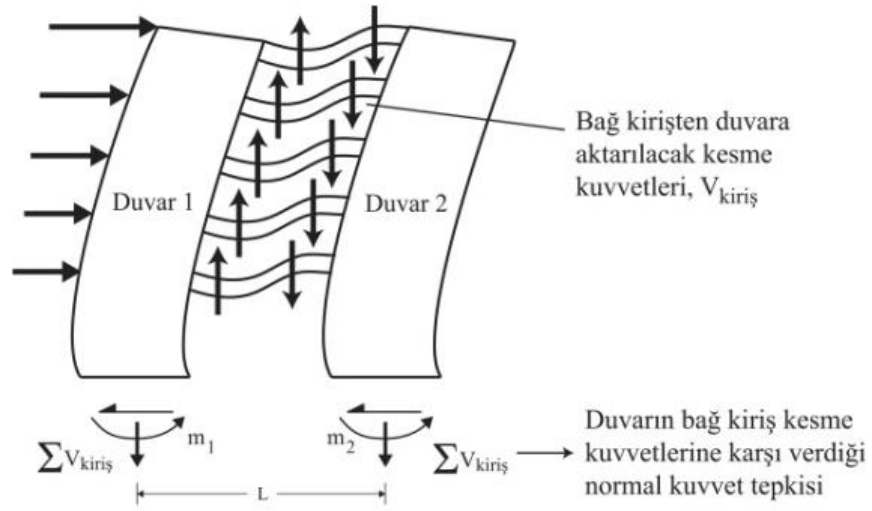
basınç ya da çekme gerilmelerinin belirli bir sınırdan tutulması sünek davranış açısından oldukça önemlidir.



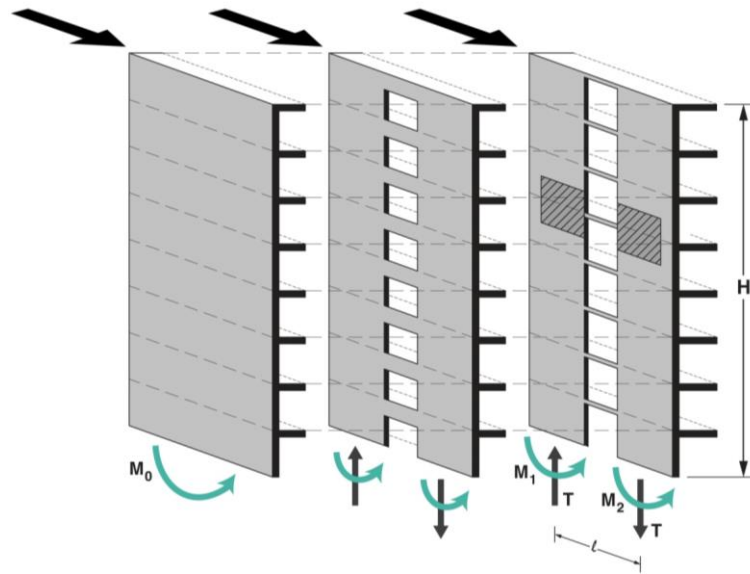
Şekil 2.4 : Perde duvar için idealize edilmiş yatay kuvvet davranışı (Harries, 2001).

Bağ kirişleri ile bağlı olan perde duvarların davranışları “degree of coupling” (doc) olarak adlandırılan parametre ile değerlendirilmektedir (Şekil 2.5). “Degree of coupling” bağ kirişleri tarafından taşınan momentin toplam sisteme gelen momente oranı olarak tanımlanmakta ve bağ kirişlerinin rijitlerine bağlı olarak değişmektedir (2.1). “Degree of coupling” yükseldiğinde sistem tek parça yani konsol kiriş davranışı göstermekte ve tabana yakın olan bağ kirişleri de daha fazla zorlanmaktadır (Şekil 2.6), (Şekil 2.7). Ayrıca duvarların süneklik kapasiteleri “coupling degree” nin yükselmesi ile artmaktadır (Harries ve diğ., 1998).

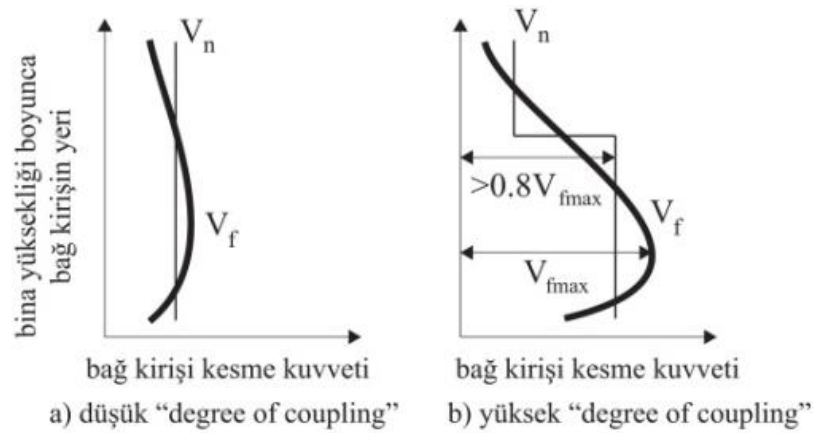
$$doc = \frac{Lx \sum V_{kiriş}}{Lx \sum V_{kiriş} + \sum m_i} \quad (2.1)$$



Şekil 2.5 : “Degree of coupling”ın şematik gösterimi, (El-Tawil ve diğ.,2010).



Şekil 2.6 : Perde duvar eğilme davranışı mekanizması karşılaştırması (Paulay, 1986).



Şekil 2.7 : Bağ kirişlerinde kesme kuvvetinin bina yüksekliği boyunca dağılımı.

Bağ kirişlerinin sismik kuvvetlere maruz kaldığında daha çok enerji yutma kapasitesi sağlamaları amacıyla daha rijit ve güçlü yapılmaları gerekmektedir. Bununla birlikte “degree of coupling” artmakta ve bunun sonucu olarak bağ kirişlerinin uç kısımlarında oluşan kesme kuvvetleri de büyümektedir. Büyüklüğü artan bu kesme kuvvetleri, perdenin üst kısmından toplanarak perde duvarların tabanına doğru ilerlemekte ve tabana yakın bölgelerde yüksek miktarda eksenel çekme ve basınç kuvvetlerine neden olmaktadır. Bu eksenel çekme kuvveti tabandaki eğilme momenti ve kesme kuvveti kapasitesini düşürerek perde duvarın çok hızlı bir şekilde elastik ötesi eğilme davranışına veya kesme kuvveti nedeniyle elastik ötesi davranışa geçmesine sebep olabilir. Bu bilgiler göz önünde bulundurularak, bağ kirişli perde duvarların tasarımı sırasında perde duvar ve kirişler arasında rijitlik dengesi kurulmalıdır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-2007 (DBYBHY-2007)’de bu rijitlik dengesi (doc) değerinin 0.6’dan küçük olmaması gerektiği şartı koyularak sağlanmıştır. Kanada Betonarme Yapı Tasarım Yönetmeliği’nde (CSA Standard A23.3-94(10-33)) ise tümüyle efektif bağ kirişli sistem elde etmek için “doc” oranlarının $\frac{2}{3}$ ’ten büyük olması gerektiği söylenmektedir. Ayrıca FEMA-356 dokümanında perde duvarların düşey yük altındaki eksenel yük kapasitelerinin %35 değerini aşması durumunda bu elemanların yeterli süneklik sağlayamayacaklarını göz önüne alarak sismik kuvvet karşılanmasında kullanılmasını yasaklamıştır.

2.2.4.1. Betonarme bağ kirişli perde duvarlar

1964 Alaska depreminden önce, bağ kirişleri konvansiyonel yöntem olan, boyuna eğilme donatıları ve enine kesme donatıları kullanılarak tasarlanmaktaydı. Yüksek miktarda kesme kuvvetlerine maruz kalan bu bağ kirişlerinde oluşan diyagonal çatlaklar kesitin altına ve üstüne yerleştirilmiş donatılarda çekme kuvveti oluşturarak kirişin uzamasına neden olmaktadır. Bağ kirişlerinin uçlarında oluşan dikey çatlaklar, kirişin uzaması sonucu daha da büyüyerek ani güç tükenmesi durumuna neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak konvansiyonel donatı düzeninin kullanıldığı bağ kirişlerinin enerji yutma kapasiteleri ve süneklikleri düşük değerlerde kalmaktadırlar. Alaska depreminden sonra konvansiyonel bağ kirişlerinin kesme kapasitelerinin yetersiz olduğu anlaşılmış ve yeni çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Betonarme bağ kirişlerinin yüksek şiddetteki sismik hareketlerde büyük hasar almaları beklendiğinden bu elemanların sünekliğini arttırmak için Alaska depremi sonrasında çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmaların sonuçlarından bir tanesi de Paulay ve Binney

tarafından 1974 yılında bulunan çapraz donatı düzenidir. Bu donatı yerleşimi sayesinde bağ kirişlerin süneklik düzeyleri artmakta ve daha kararlı bir histeretik davranış eğrisi elde edilmektedir (Paulay ve Priestley, 1992). Bu çalışmaların devamında bağ kirişleri için birçok farklı donatı düzeni önerilse de günümüzde çapraz donatılı bağ kirişleri yapı mühendislerince yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

2.2.4.2. Çelik bağ kirişli perde duvarlar

Betonarme taşıyıcı duvarların çelik bağ kirişleri ile birbirlerine bağlanmaları ile oluşan taşıyıcı sistemler “Hibrit” sistemler olarak adlandırılmaktadır. Çapraz donatılı betonarme bağ kirişlerinin karışık donatı düzenleri imalat süresi ve maliyetini yükseltmektedir. (El Tawil et al. 2010). Bu bakımdan çelik bağ kirişleri, betonarme bağ kirişlerinin yerine uygulanabilir bir alternatif olarak ortaya atılmış ve yüksekliklerinin betonarme bağ kirişlerine oranla daha küçük olması sayesinde yapıdaki mimari yükseklik kısıtlamalarına uyulmasını kolaylaştırmıştır.

Çelik bağ kirişleri çapraz donatılı betonarme bağ kirişlerine göre daha fazla enerji yutma kapasitesi ve rijitliğe sahiptirler. Hibrit sistemlerdeki çelik bağ kirişlerinin betonarmeye oranla daha iyi histeretik davranışlarının olması, yapıdaki sönümleme oranını arttırarak, taşıyıcı duvarların ve çelik kirişlerin süneklik istemini aynı “degree of coupling” değerine sahip betonarme bağ kirişli sistemlere göre daha düşük olmasını sağlamaktadır (Harries et al., 1998). Çelik bağ kirişlerinin, eğilme momenti nedeni ile taşıma kapasitesine ulaşması yerine, kesme kuvveti nedeni ile ulaşması tercih edilmektedir. Bunun nedeni kesme kuvveti kaynaklı güç tükenmesi durumunda, daha fazla enerji sönümü sağlanmasıdır. Kesme kuvveti güç tükenmesi ve eğilme momenti güç tükenmesi durumları için sağlanması gereken şartlar Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Çelik bağ kirişi için güç tükenmesi durumları.

Kesme Kuvveti Güç Tükenmesi	Eğilme Momenti Güç Tükenmesi
$\theta_{\max} = 0.08\text{rad}$ $e \leq \frac{1.6M_p}{V_{sp}}$	$\theta_{\max} = 0.02\text{rad}$ $e \leq \frac{2.6M_p}{V_{sp}}$

$$M_p = Z_x F_y \quad (2.2)$$

$$V_{sp} = 0.6F_y t_w (d - 2t_f) \quad (2.3)$$

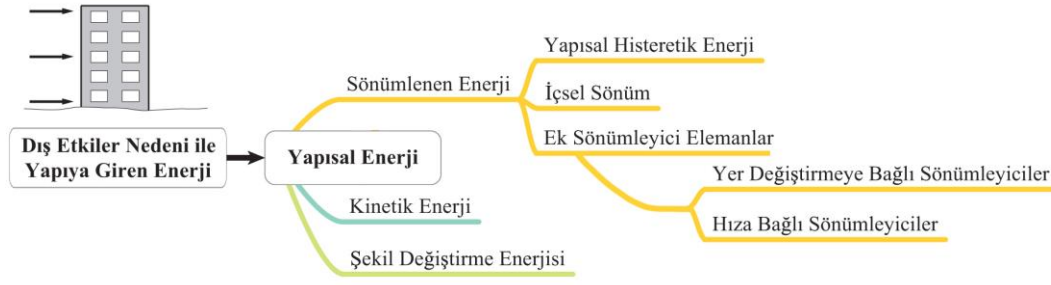
2.3.Yapısal Enerji ve Sönüm

Taşıyıcı sistemlerin dışarıdan etkiyen kuvvetler sonucu oluşan davranışları enerji prensipleri kullanılarak açıklanabilir. Temel olarak, yapıya dışarıdan etkiyen kuvvetler enerji girişine sebep olurlar. Bu enerji girişi sistemin dinamik davranış ile kinetik enerji, elastik şekil değiştirme enerjisi, yapısal histeretik enerji ve içsel sönümleme enerjilerine dönüştürülür. Buradaki kinetik enerji, yapının kütlesi ve hızına, elastik şekil değiştirme enerjisi ise içsel kuvvetler ve yapılan yer değiştirmelere bağlıdır. Histeretik şekil değiştirme enerjisi ise yapı elemanlarında oluşan plastik deformasyonlar sonucu yutulan enerjidir. Bu enerji yutulması genellikle çevrimsel histeretik davranış ile gerçekleşir ve eşdeğer modal sönüm olarak ya da lineer olmayan elementler kullanılarak hesaba katılabilir. İçsel sönümleme ise yapıdaki yapısal ya da yapısal olmayan elemanlar tarafından elastik ya da elastik ötesi davranışları sonucu sönümlenen enerjidir. Hesaplanması karmaşık olan bu sönümleme tipi %0.5 ile %5 aralığında eşdeğer modal sönümleme olarak hesaba katılabilir. Kısaca yapıdaki toplam enerji dengesi şu şekilde ifade edilebilir (Uang and Bertero 1990).

$$E_I = E_k + E_s + E_D + E_H \quad (2.4)$$

- E_I : Toplam enerji girdisi
 E_k : Kinetik Enerji
 E_s : Elastik Şekil Değiştirme Enerjisi
 E_d : İçsel Sönümleme Enerjisi
 E_h : Plastik Histeretik Enerji

Yapısal sistemler tarafından yutulan enerji miktarı aynı zamanda meydana gelecek hasarın da bir göstergesidir. Yapısal elemanlarda enerji sönümü ile meydana gelen hasar miktarı beklenenden fazla ise sisteme enerji yutması beklenen yeni elemanlar eklenebilir. Böylece yapısal taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen hasar azaltılır. Eklenen bu yeni elemanlara “sönümleyici” adı verilmiştir. Şekil 2.9’da sönümleyici kullanılan bir yapıdaki depolanan enerji ve sönümlenen enerjinin türleri gösterilmiştir. Pasif ve aktif olmak üzere iki çeşit sönümleyici tipi bulunmakla beraber bu çalışmada pasif sönümleyiciler üzerinde durulmuştur.



Şekil 2.9 : Yapısal enerji sönümü.

2.3.1. Pasif sönümleyiciler

Pasif sönümleyiciler hıza bağlı ve yer değiştirmeye bağlı sönümleyiciler olmak üzere iki ana sınıfta toplanabilir.

Hıza Bağlı Sönümleyiciler: Bu tip sönümleyicilerde kuvvet oluşumu hıza bağlı olarak gerçekleşir ve davranışları çeşitli lineer viskoelastik modeller kullanarak tanımlanabilir. Viskoz akışkanlı ve visko-elastik katı sönümleyiciler bu türden sönümleyicilere örnek olarak verilebilir. Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin çok küçük rijitliğe sahip olmaları nedeni ile kullanıldıkları yapının doğal frekansı üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahiptirler. Bununla birlikte viskoelastik katı sönümleyicilerin yüksek rijitliğe sahip olmaları kullanıldıkları yapıların doğal frekanslarını etkilemektedir.

Yer Değiştirmeye Bağlı Sönümleyiciler: Bu tip sönümleyicilerde kuvvet oluşumu yer değiştirmeye bağlı olarak gerçekleşir. Bu sönümleyicilerin davranışları lineer ötesi histeretik davranışlar ile tanımlanırlar. Sürtünme tipi sönümleyiciler ve metalik sönümleyiciler yer değiştirmeye bağlı sönümleyicilere örnek olarak verilebilirler. Sürtünme tipi sönümleyiciler yüksek başlangıç rijitliğine ve bi-lineer histeretik davranışına sahiptirler. Metalik sönümleyiciler ise metallerin elastik ötesi davranışlarını kullanarak sönümleme sağlamaktadır.

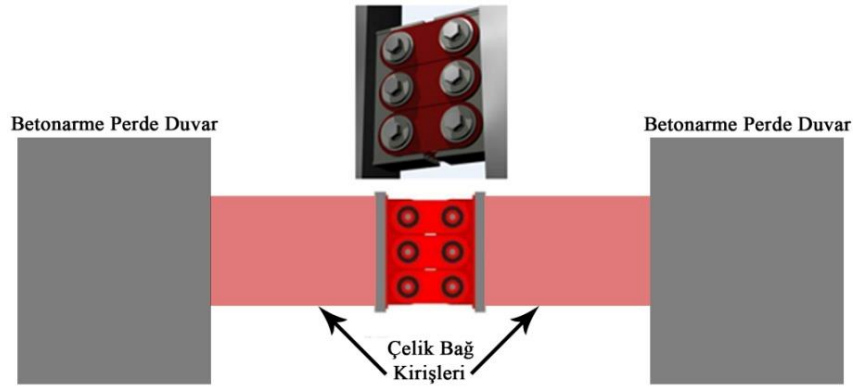
2.3.1.1. Sürtünme tipi sönümleyiciler

Sürtünme tipi sönümleyiciler enerjiyi, iki yüzey arasındaki kayma sürtünmesi sayesinde gösterdikleri lineer ötesi davranış ile sönümlemektedirler. Bu tip sönümleyicilerin sahip oldukları dikdörtgen histeretik davranış eğrileri yüksek miktarda enerjiyi sönümleme kapasitelerinin olduğunu göstermektedir. Yapısal enerji sönümlemenin yanı sıra sürtünme tipi sönümleyiciler kullanıldıkları yapının rijitliğini de arttırmaktadırlar. Bunun nedeni dikdörtgen histeretik davranış eğrisinden de

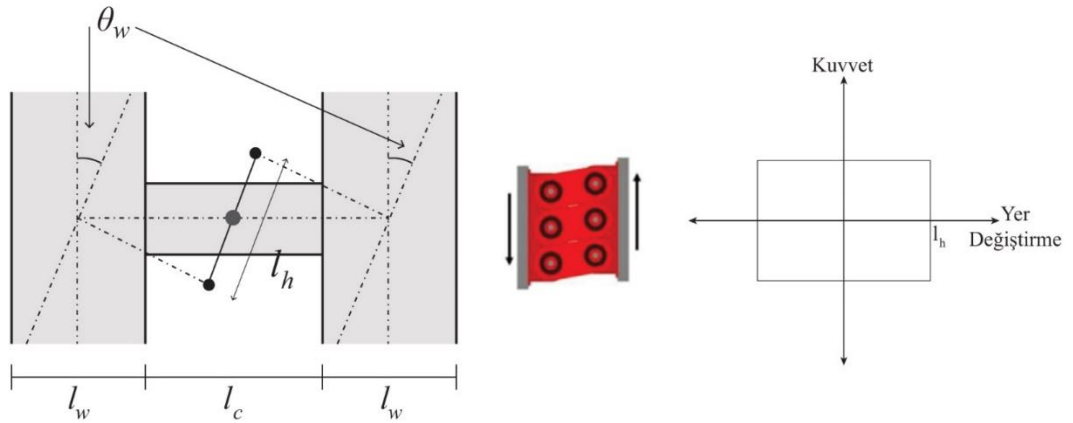
anlaşılacağı üzere, bu tip sönümleyicilerin aktif hale geçebilmeleri için sahip oldukları sürtünme direncinden daha büyük kuvvetlerin uygulanması gerekliliğidir.

Bu çalışma kapsamında çelik bağ kirişlerinin ortasına yerleştirilen sürtünme tipi sönümleyiciler kullanılmıştır (Şekil 2.10). Bu sönümleyiciler ortasına yerleştirildikleri bağ kirişlerinin, yatay kuvvetler altında iki ucu arasında meydana gelen kiriş eksenine dik yer değiştirmeler sonucu aktif hale gelerek yapıya ek sönümleme sağlamaktadırlar. Yatay kuvvetler altında bağ kirişlerinde oluşan düşey yer değiştirme Şekil 2.11’de gösterilmiştir.

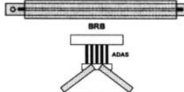
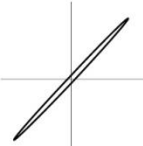
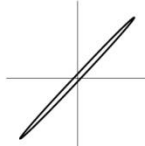
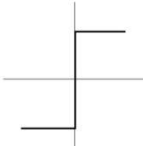
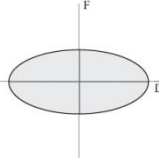
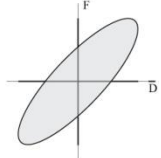
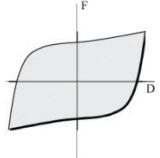
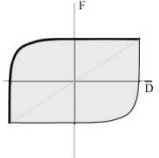
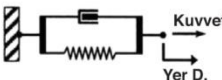
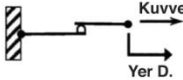
Sürtünme tipi sönümleyiciler ve diğer pasif sönümleyici türlerinin özellikleri Şekil 2.12’de özetlenmiştir.



Şekil 2.10 : Sürtünme tipi sönümleyici yerleşimi.



Şekil 2.11 : Bağ kirişinde oluşan düşey yer değiştirme ve sönümleyici davranışı.

	Hıza Bağlı Sönümleyiciler		Yer Değiştirmeye Bağlı Sönümleyiciler	
	Viskoz Akışkanlı Sönümleyici	Viskoelastik Katı Sönümleyici	Metalik Sönümleyici	Sürtünme Tipi Sönümleyici
Temel Yapı				
Sönümleyici Örneği				
Kuvvet - Hız İlişkisi				
İdealize Edilmiş Histeretik Davranış (Kuvvet - Yer Değiştirme İlişkisi)				
İdealize Edilmiş Fiziksel Model				
Avantajlar	- Küçük kuvvetlere duyarlı - Çok düşük geri çağırma kuvveti - Lineer özellikli sönümleyicinin modellenmesi kolay - Sıcaklık ve frekanstan büyük oranda bağımsız özelliklere sahip	- Küçük kuvvetlere duyarlı - Geri çağırma kuvveti sağlar - Lineer özelliğinin sonucu olarak, modellenmesi kolay	- Kararlı histeretik davranış - Uzun süreli güvenilirlik - Çevresel sıcaklıktan etkilenmez - Mühendisler tarafından bilinen davranış ve malzemeler	- Çevrim başına yüksek enerji sönümü - Çevresel sıcaklıktan etkilenmez
Dezavantajlar	- Olası sıvı sızıntısı (güvenilirlik problemi)	- Deformasyon kapasitesi sınırlı - Sıcaklık ve frekansa bağımlı özelliklere sahip - Viskoelastik malzemede olası yırtılma ve bağlantı kopması sorunu (güvenilirlik problemi)	- Deprem sonrası cihazın hasar görmesi sonucu yenilenme gerekliliği - Lineer olmayan davranışı nedeniyle doğrusal olmayan analiz ihtiyacı	- Sürtünme yüzeyi koşullarının zamanla değişme olasılığı (güvenilirlik problemi) - Baskın doğrusal olmayan davranışın, yüksek modları etkileyerek doğrusal olmayan analiz ihtiyacına neden olması - Geri çağırıcı kuvvet mekanizması sağlanmadığında kalıcı hasar riski

Şekil 2.12 : Pasif Sönümleyici türleri ve özellikleri.

3. İNCELENEN YAPISAL SİSTEM VE DEPREMSELLİK

3.1. Giriş

Bu çalışmada, yapılan analizler için İstanbul Levent bölgesinde yer alan 43 katlı yüksek bir binanın yapısal sistemi kullanılmıştır. Bu bölümde bu yüksek yapının taşıyıcı sistemi tanıtılmış ve doğrusal olmayan taşıyıcı sistem modelinde kullanılan malzeme ve eleman modelleri gösterilmiştir. Daha sonra analizlerde kullanılan deprem kayıtları ile ivme spektrumları hakkında bilgi verilmiş ve kayıtların ölçeklendirilmesinde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir.

3.2. Yapısal Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Bu çalışma kapsamında incelenen yapısal sistem üzerinde bazı basitleştirmeler yapılmıştır. Yapısal sistem dikdörtgen planlı, düzgün bir sistem haline dönüştürülmüştür. Ayrıca tüm katlardaki bağ kirişleri arasına bir önceki bölümde gösterilmiş olan sürtünme tipi sönümleyiciler yerleştirilmiştir.

Analizlerde kullanılan yüksek yapı taşıyıcı sistemi kenar uzunlukları 26 m ve 34 m olan dikdörtgen taban alanına sahiptir. Yapı, orta kısımda birbirine çelik bağ kirişleri ile bağlı U şeklinde iki adet perde duvar ve kenarlarda ise betonarme çevre kirişler ile bağlı toplam 16 adet kompozit kolondan oluşan bir taşıyıcı sisteme sahiptir. Çekirdek perdeleri ve kolonlar kalınlığı 26 cm olan bir döşeme ile birbirlerine bağlanmışlardır. Kat yüksekliği 3.8 m olan yapı aynı özelliklere sahip 43 kattan oluşmakta ve toplam yüksekliği 163.4 m'ye ulaşmaktadır. Kat kalıp planı, taşıyıcı sistem mod şekilleri ve modal kütle katılımları şekil ve çizelgelerle gösterilmiştir (Şekil 3.1), (Şekil 3.2), (Çizelge 3.1). Ayrıca, Çizelge 3.2'de yapının taşıyıcı eleman özellikleri özetlenmiştir.

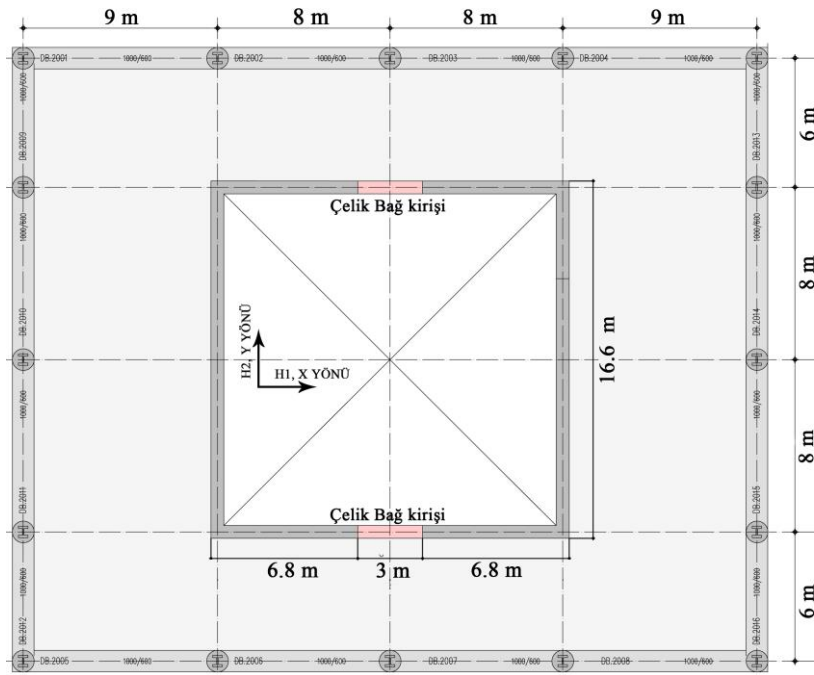
Çizelge 3.1 : Yapısal sistem modal kütle katılımları.

Mod Numarası	Periyot	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
1	5.61	66.3	0.0	0.0	0.0	34.1	0.0
2	5.10	0.0	62.0	0.0	37.8	0.0	0.0
3	2.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.4

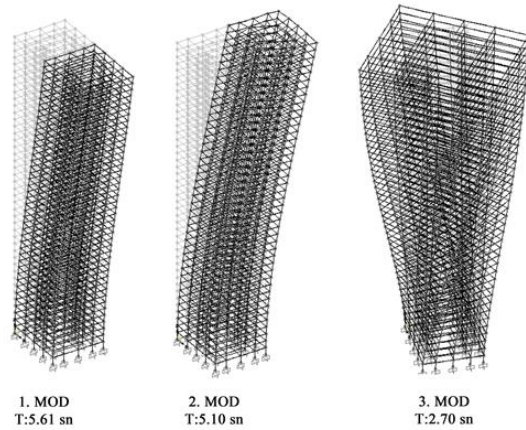
*Değerler % olarak verilmiştir

Çizelge 3.2 : Yapısal eleman özellikleri.

	Malzeme	Kesit Özellikleri
Betonarme Perde Duvarlar	C45, S420	500mm (31-43 katları)
		600 mm (16-30 katları)
		700 mm (0-15 katları)
Kompozit Kolonlar	C45, S420, S460	Dairesel kolon: 1000 mm
		Profil: HD400X900
Betonarme Çevre Kirişleri	C45, S420	1000x600 mm
Çelik Bağ Kirişleri	S355	HE650M
Kirişsiz Betonarme Döşemeler	C45, S420	Kalınlık:260 mm



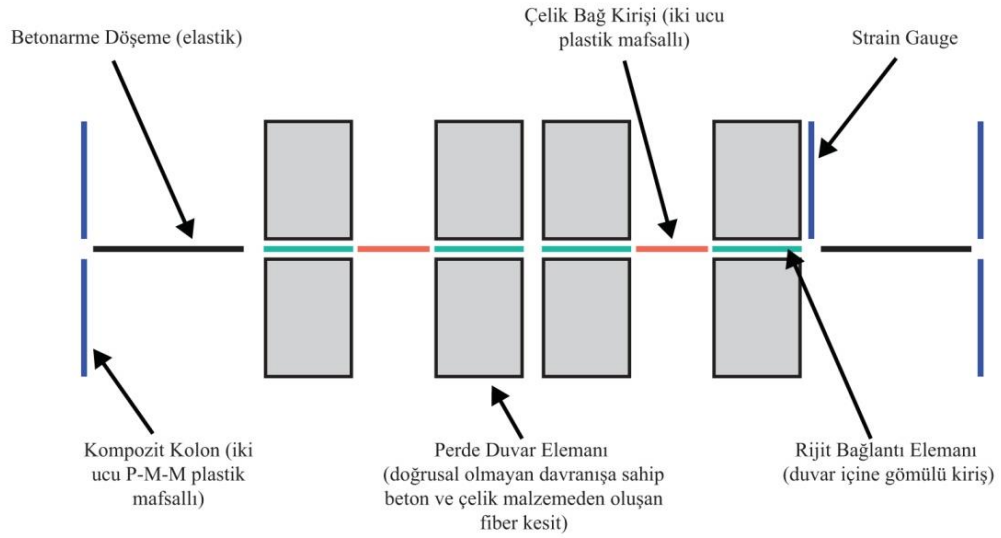
Şekil 3.1 : Modellenen yapının taşıyıcı sistem kalıp planı.



Şekil 3.2 : Yapısal sistem mod şekilleri.

3.3. Yapısal Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Modellenmesi

Bu çalışmada kullanılan doğrusal olmayan analiz modeli PERFORM-3D programı kullanılarak oluşturulmuştur. Yapısal taşıyıcı sistemdeki elemanların modellenmesi Şekil 3.3’de özetlenmiş olup, detaylı bilgi bu bölümde verilmiştir.



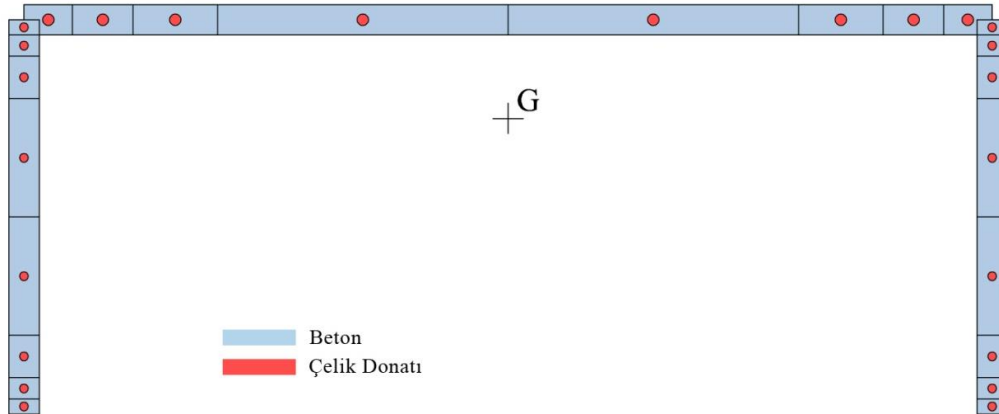
Şekil 3.3 : Yapısal taşıyıcı sistem elemanlarının modellenmesi.

3.3.1. Perde duvar modellenmesi

Doğrusal olmayan analiz için, perde duvar modellenmesi fiber elemanlar kullanılarak yapılmaktadır. Analiz modelinde beton ve çelik donatı olmak üzere iki adet farklı fiber eleman tanımlanmıştır. Fiber elemanlar perde kesiti boyunca yayılı plastisite prensibi ile çalışmaktadır. Fiber elemanların sadece eksenel yönde uzama ya da kısalma özellikleri tanımlanarak, duvarın davranışı modellenmektedir. Şekil 3.4’de hesap modelinde kullanılan perde elemanının kesiti görülmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere, perde kesiti daha hassas sonuçlar vermesi istenen perde uç bölgelerinde daha küçük olmak şartı ile beton bölümlere ayrılmış ve donatılar bu kesitlerin ağırlık merkezine toplanmıştır. İncelenen yapıda kullanılan perde duvar kesiti ile aynı perde duvarın fiber elemanlar ile modellenen kesiti arasındaki eğilme ataleti farkı Ek B-3’te gösterilmiştir. Perde duvar kesitinin fiber elemanlara Perde duvarların fiber elemanlar ile modellenmesinin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Modellenen fiber elemanların birbirlerinden bağımsız olması sayesinde daha detaylı hesap ve kontroller yapılabilir.
- Kesme ve kayma kuvveti etkileri detaylı olarak incelenebilir.

Bununla birlikte, doğrusal olmayan analiz modellerinde fiber elemanların kullanılması durumunda analiz sürelerinin uzaması dezavantaj olarak sayılabilir.



Şekil 3.4 : Modelde kullanılan perde elemanları kesiti.

Fiber elemanların modellenmesi için öncelikle beton ve çelik malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Beton fiber elemanlar için, sargılı ve sargısız beton malzeme özellikleri Mander modeli (Mander et al., 1988) kullanılarak belirlenmiş ve çekme mukavemeti ihmal edilmiştir. Beton için ortalama basınç mukavemeti değeri $1.3f_{ck}$, çelik malzeme için ise ortalama akma mukavemeti değeri $1.17f_y$ olarak alınmıştır.

Doğrusal olmayan analiz için kullanılan PERFORM 3D programında beton malzemesi için gerilme şekil değiştirme eğrisi 4 adet lineer eğri ile tanımlanmaktadır. Mander modeli kullanılarak elde edilen gerilme şekil değiştirme grafiği, üzerinde 4 adet kontrol noktası seçilerek PERFORM 3D programında kullanılmaya uygun hale getirilmiştir (Şekil 3.5, Şekil 3.6). Malzemeler üzerindeki çevrimsel bozulma (cyclic degradation) bu çalışmada ihmal edilmiştir.

Betonarme donatı çeliği gerilme şekil değiştirme grafiği tri-lineer olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.7). Pekleşme değeri %1.5 olarak hesaba katılmıştır. Burkulma, mukavemet kaybı ve çevrimsel bozulma ihmal edilmiştir.

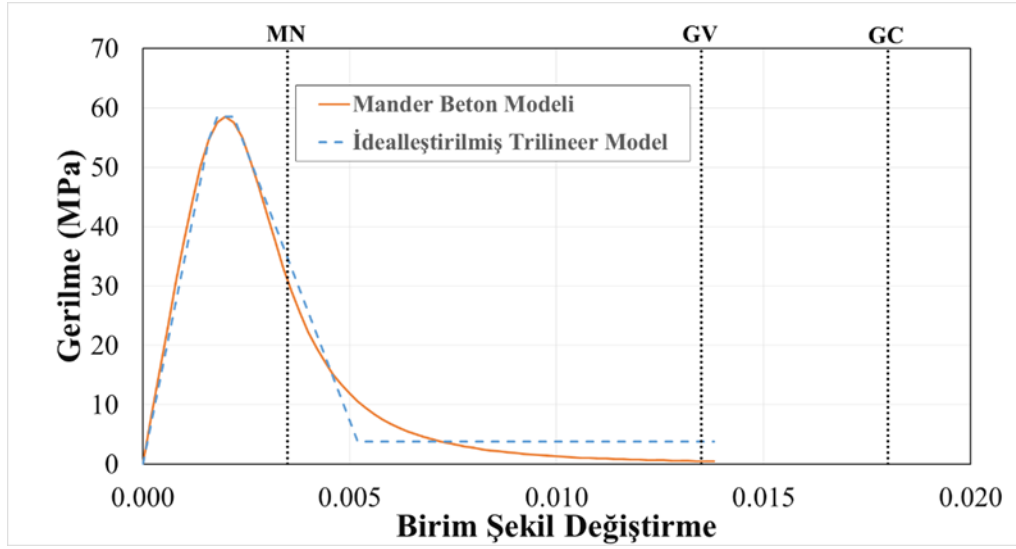
Eğilmeye bağlı özellikleri yukarıdaki gibi tanımlanan perde duvar elemanlarının, kesme dayanımları da davranış üzerinde önemli etkilere sahiptir. Kesme kuvveti kapasitesini belirleyen kayma modülü değeri çatlamamış kesitler için yaklaşık $0.4E_c$ olarak alınabilir. Bununla birlikte kesitte çatlakların oluşması ile birlikte elemanların kesme kapasiteleri oldukça azalmaktadır. Dolayısıyla betonarme elemanların çatlamamış kesitlerine göre elde edilen kayma rijitlikleri, büyük hesaplama

yanlışlarına neden olabilir. Bu bağlamda kayma modülünün azaltılarak 3.1 formülü ile 3.2 formülü arasında bir değer alınması önerilmektedir (Powell, 2006a).

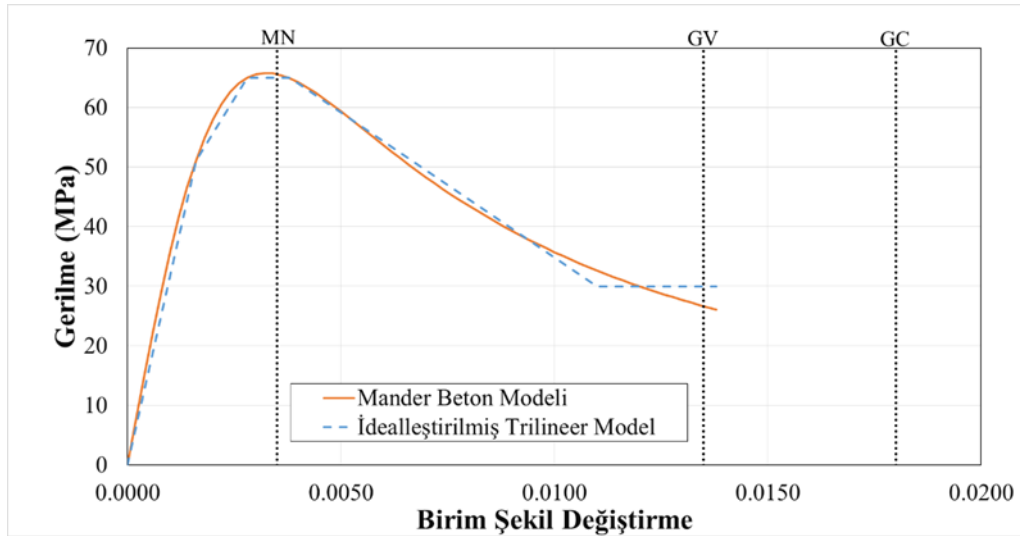
$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (3.1)$$

$$G_{ACI} = \frac{0.83\sqrt{f'_c}}{0.004} \quad (3.2)$$

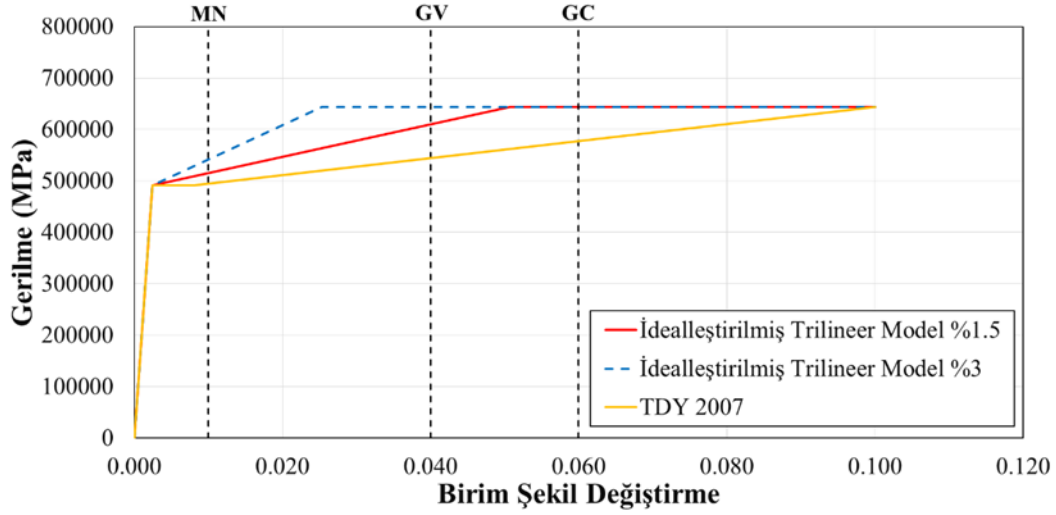
Gerçekleştirilen sayısal çalışmada, perde duvar elemanlar için hesaplama aşamalarında kullanılan etkin kayma modülü değerleri $G=0.1E_c$ olarak göz önüne alınmıştır. Bu değer yukarıda gösterilen formüller kullanılarak bulunan kayma modülü değerleri arasındadır.



Şekil 3.5 : Perde için tanımlanan sargısız beton gerilme-şekil değiştirme grafiği.



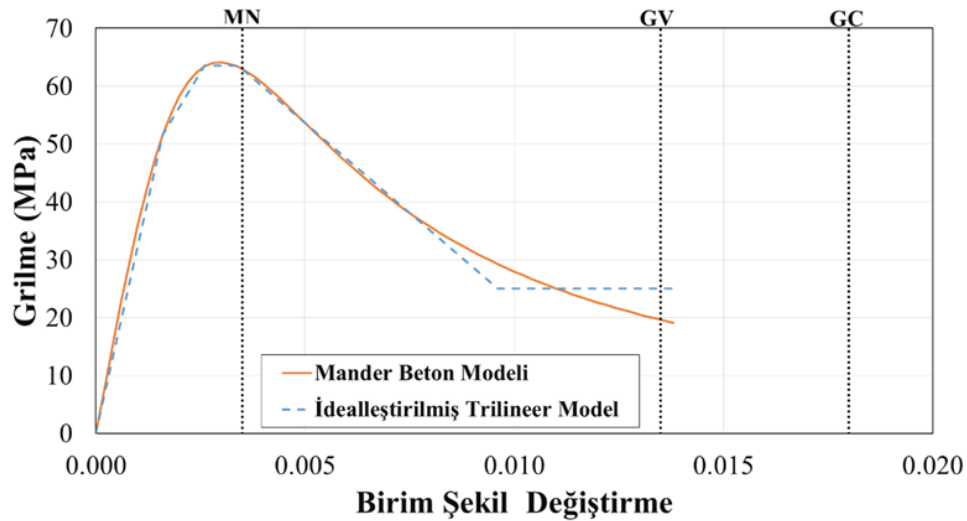
Şekil 3.6 : Perde için tanımlanan sargılı beton gerilme-şekil değiştirme grafiği.



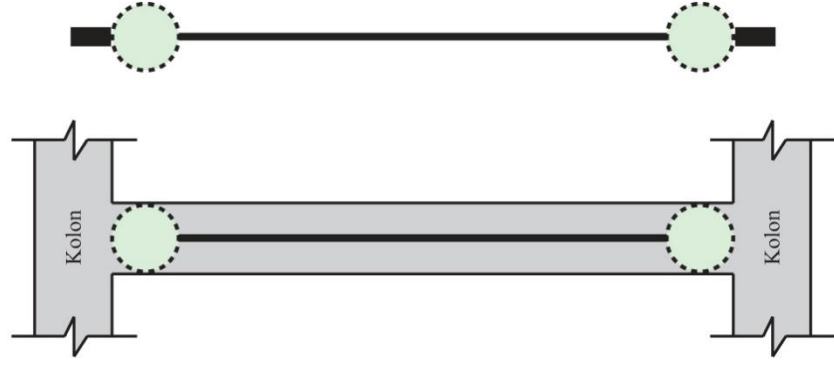
Şekil 3.7 : Betonarme donatı çeliği gerilme şekil değiştirme eğrisi.

3.3.2. Betonarme çerçeve kirişleri modellenmesi

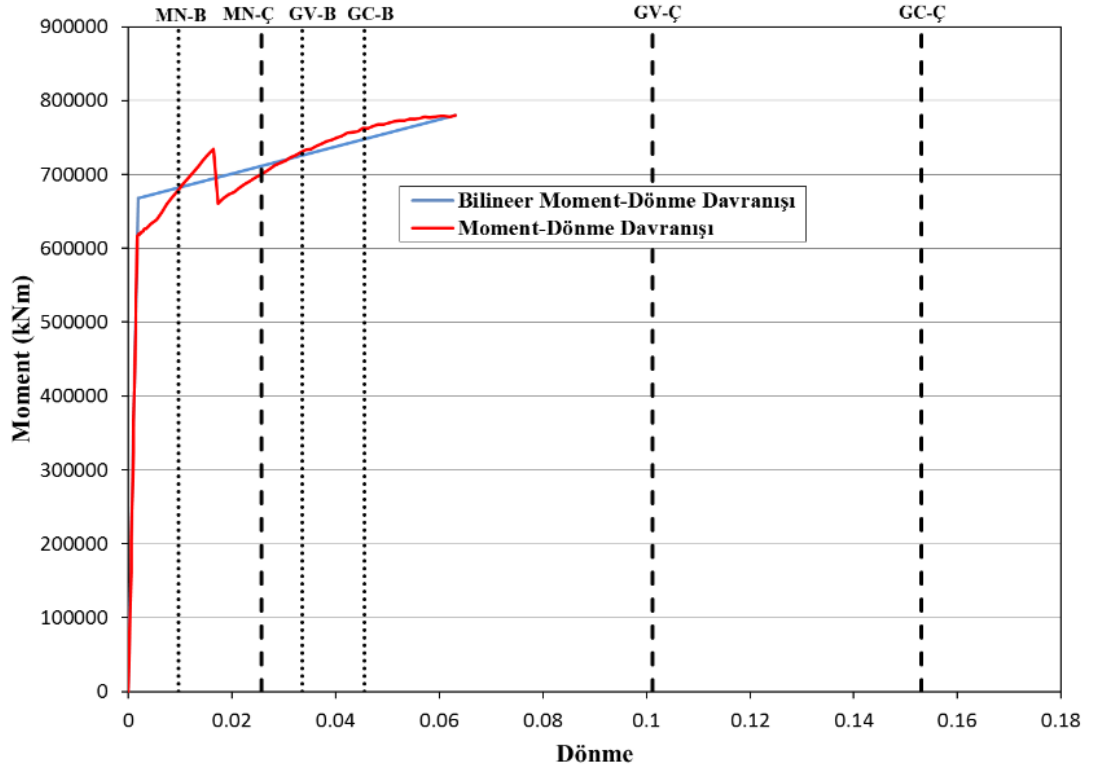
İncelenen yapıda 1000x600 mm boyutunda yatay kirişler kullanılmıştır. Sargısız beton ve donatı çeliği özellikleri perde duvar modellenmesi için kullanılan malzeme özellikleriyle aynı olmakla birlikte, sargılı beton özellikleri farklı miktarda sargı donatısı kullanıldığından tekrar hesaplanmıştır. Şekil 3.8’de bu kirişlerde kullanılan sargılı beton gerilme-şekil değiştirme özellikleri gösterilmiştir. Çevre kolonlarını bağlayan bu kirişler, elastik kiriş elemanı ve bu elemanın iki ucuna yerleştirilen plastik mafsallar ile modellenmişlerdir (Şekil 3.9). Plastik mafsal elemanlarının kapasiteleri XTRACT programı yardımı ile hesaplanmıştır. Plastik mafsalların moment-dönme eğrileri idealleştirilerek bi-lineer olarak hesaba katılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.8 : Kiriş için tanımlanan sargılı beton gerilme-şekil değiştirme grafiği.



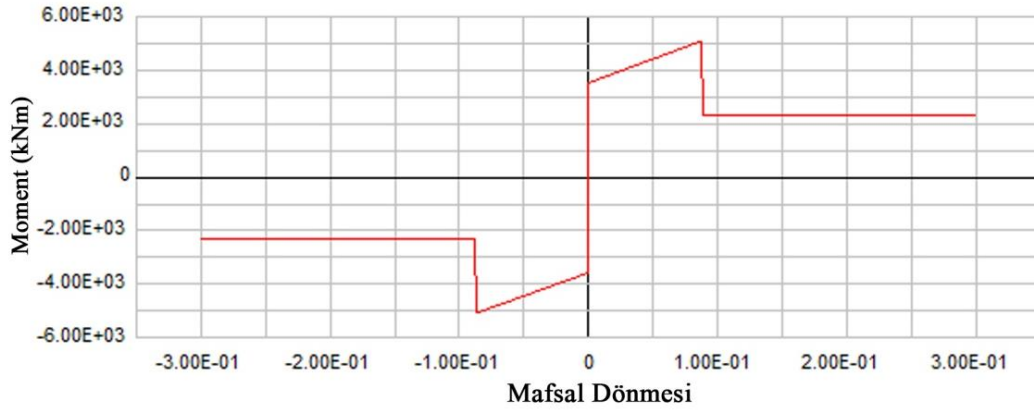
Şekil 3.9 : Tipik kiriş eleman modeli.



Şekil 3.10 : Plastik mafsall için tanımlanan moment-dönme eğrisi grafiği.

3.3.3. Çelik bağ kirişi modellenmesi

İncelenen yüksek yapıda HE650M kesitine ve S355 malzeme özelliklerine sahip çelik bağ kirişleri kullanılmıştır. Bu bağ kirişleri iki ucunda plastik mafsallar ile modellenmiştir (Şekil 3.9). Bu dönme tipi mafsalların hesabı FEMA-356 Bölüm 5' te dışmerkez çaprazlı çerçevelerdeki bağlantı elemanı için verilen yöntem ile yapılmış olup EK B-2' de yapılan hesaplamalar bulunmaktadır. Plastik mafsalların modellenmesinde, mukavemet kaybı göz önüne alınmış fakat çevrimsel bozulma ihmal edilmiştir. Şekil 3.11'da bağ kirişi mafsalının moment-dönme ilişkisi gösterilmiştir.

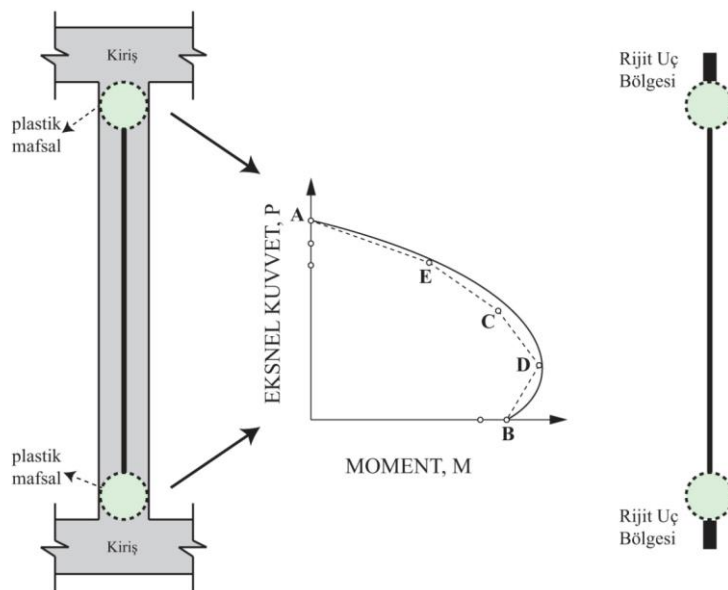


Şekil 3.11 : Plastik mafsallı moment-dönme ilişkisi.

3.3.4. Kompozit çerçeve kolonu modellenmesi

İncelenen yapıda 1 m çapında kompozit kolonlar kullanılmıştır. Kolon içerisindeki çelik profil HD400x900 kesit ve S460 malzeme özelliklerine sahiptir. Hesap kolaylığı açısından kompozit kolonlar eşdeğer beton kesitli elemanlara çevrilerek kullanılmıştır. Modellemede kullanılan eşdeğer kesit özelliklerinin hesabı Ek B-1’de bulunmaktadır.

Kompozit kolonların modellenmesinde elastik olarak tanımlanmış kolon elemanları ve bu elemanların iki ucuna konumlandırılmış plastik mafsallar kullanılmıştır (Şekil 3.12). Plastik mafsalların kapasiteleri, “AISC Design Examples V14 2011” dokümanında tanımlanan kompozit kolonlar için moment-eksenel kuvvet etkileşim eğrisi kullanılarak belirlenmiştir. Modelleme için kullanılan moment-eğrilik etkileşim eğrisinin hesabı Ek B-1’de gösterilmiştir.



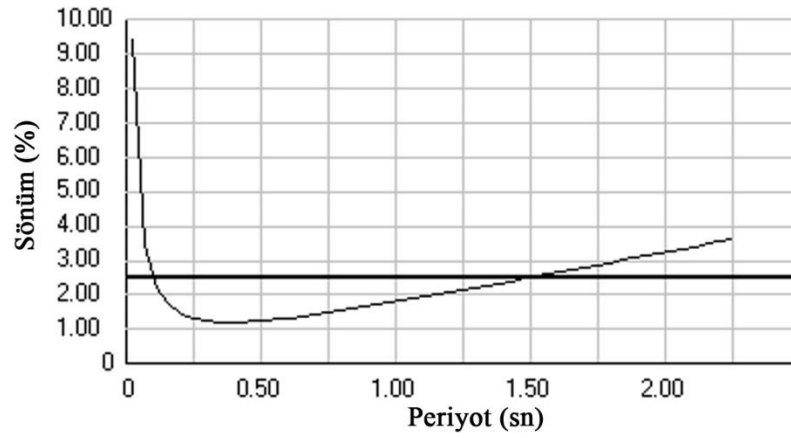
Şekil 3.12 : Tipik kolon eleman modeli.

3.3.5. Döşeme modellenmesi

İncelenen yapının döşeme kalınlığı 26 cm olarak tasarlanmıştır. Doğrusal olmayan analiz modeline elastik “shell” elemanı olarak girilen döşemelerin efektif eğilme rijitliği 0.25 EI olarak alınmıştır.

3.3.6. Yapısal sönüm modeli

İncelenen yapıda sönüm değeri, 0.1 sn ile 1.5 sn arasında %2.5 Rayleigh Sönümü olarak hesaplara katılmıştır. Kullanılan sönüm eğrisi Şekil 3.13’de görülmektedir.



Şekil 3.13 : Modellemede kullanılan sönümleme eğrisi.

3.3.7. Özel durumlar

Bu kısımda PERFORM-3D programı kullanılarak oluşturulan doğrusal olmayan analiz modeli ile ilgili ek bilgiler verilmiştir.

- Perde duvarların modellenmesi sırasında, dikkat edilmesi gereken en önemli nokta eğilme momenti aktaran kiriş-perde ve/veya perde-kolon birleşimlerinin modellenmesidir. Perde duvar elemanlarında bulunan düğüm noktalarının kendi düzlemleri içinde dönme rijitliklerinin bulunmaması sebebi ile bu noktalar mafsallı birleşim noktaları gibi davranmaktadırlar. Bu problemin çözümü için duvar elemanları içerisinde perde duvar ile aynı rijitliği gösterebilecek kiriş elemanlar kullanılmalıdır.
- Doğrusal olmayan analiz modelinde, perde duvarla ve kompozit kolonlar için P-Δ etkisi hesaplara katılmıştır.
- Modeldeki elemanların şekil değiştirme değerleri, uzunlukları boyunca atanan stain gage elemanları kullanılarak elde edilmiştir.

3.4. Deprem Etkilerinin Tanımlanması

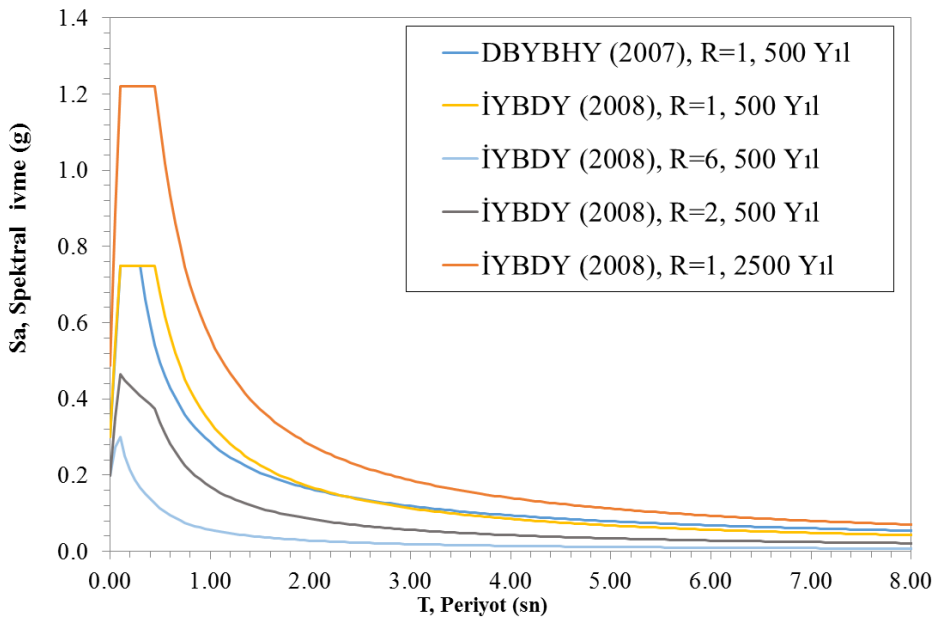
3.4.1 Tasarım ivme spektrumları

İncelenen binanın deprem tasarımı, proje sahasını inceleyen özel bir firmanın değerlendirmeleri üzerinden yapılmıştır. Proje sahası için DBYYHY kapsamında hazırlanan değerlendirme sonuçlarına göre yapının temel altı zemin grubu B1, yerel zemin sınıfı ise Z1 olarak belirtilmiştir. Tasarım esaslı davranış spektrumunun elde edilmesi için İYBDY (2008) deprem şartnamesinde 0.2sn ve 1sn periyotlarındaki zemin-bağımlı spektral genliklere ($SA(0.2s)$ ve $SA(1s)$) dayalı olarak elde edilen ivme spektrumları kullanılmıştır.

Deprem senaryoları için kullanılacak tasarım spektrum parametreleri Çizelge 3.3' de verilmiştir. Bu çizelgedeki parametreler kullanılarak elde edilen tasarım ivme spektrumları Şekil 3.14 gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Spektrum parametreleri.

	D1 DEPREMİ	D2 DEPREMİ	D3 DEPREMİ
$S_s=0.2sn$	0.33g	0.75g	1.22g
$S_1=1sn$	0.125g	0.34g	0.56g
F_v, F_a	1	1	1



Şekil 3.14 : Tasarım ivme spektrumları.

3.4.2. Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerin yapılması amacı ile deprem kayıtları üç şekilde elde edilebilir.

- Yapay yöntemler ile benzetilmiş kayıtlar
- Kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksek olarak benzetilmiş kayıtlar
- Gerçek kayıtlardan elde edilen ivme kayıtları

Deprem etkilerinin modellenmesinde gerçek ivme kayıtlarının kullanılması, bu kayıtların deprem hareketinin özelliklerini içermeleri dolayısıyla diğer yöntemlerden daha üstündür. Günümüzde deprem kayıtlarının kolay bir şekilde elde edilebilmesi, bu kayıtların kullanımını çok yaygınlaştırmıştır. Bu çalışmada gerçek deprem ivme kayıtları kullanılmış ve bu kayıtlar Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Pasific Earthquake Engineering Research center-PEER) veri bankasından elde edilmiştir.

Deprem kayıtlarının kullanılan tasarım spektrumuna uygun hale getirilmesi amacı ile ölçekleme işlemi yapılmalıdır. Bu çalışmada ölçekleme işlemi zaman tanım alanında yapılmış böylece ivme kaydının süresi ve frekans içeriği değişmemiştir. Zaman tanım alanında ölçekleme işlemi, deprem kaydının bir katsayı ile çarpılması ile yapılmaktadır. Bu katsayı gerçek deprem kaydına ait % 5 sönüm oranı için elde edilmiş olan tepki spektrumunun, istenilen belirli bir periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna eşleştirilmesi esası uygulanarak elde edilmiştir. Zaman tanım alanındaki doğrusal olmayan analizlerde, Türk deprem yönetmeliğinde (DBYBHY-2007) belirtilmiş olan koşullar çerçevesinde %5 sönümlü 2475 yılda aşılma olasılığı %2 olan tasarım ivme spektrumuna uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilmiş toplam 7 adet deprem yer hareketi kullanılmıştır. Ölçeklendirme işlemi MATLAB programında yazılmış bir kod yardımı ile yapılmıştır. Ölçeklendirme işlemi sırasında iki adet yöntem karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerden birincisi, belirli bir sönüm değeri için üretilen deprem kaydına ait ivme spektrumunun, istenen bir modal periyot aralığında hedef spektrumundan pozitif ve negatif farklarının eşit olması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntem klasik yöntem olarak bilinmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan ikinci yöntem ise belirli bir sönüm değeri için üretilen deprem kaydına ait ivme spektrumunun, istenen modal periyot aralıkları için hedef spektrumundan pozitif ve negatif farklarının modal kütle katılımları oranı ile çarpılması ile elde edilen değerlerin eşit olması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemlerden yeni önerilen bir ölçeklendirme yöntemi olan ikinci yöntem bu

çalışmada tüm deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde kullanılmıştır. Bununla birlikte bu yöntem ile ilgili daha fazla araştırma ve çalışma yapılmalıdır.

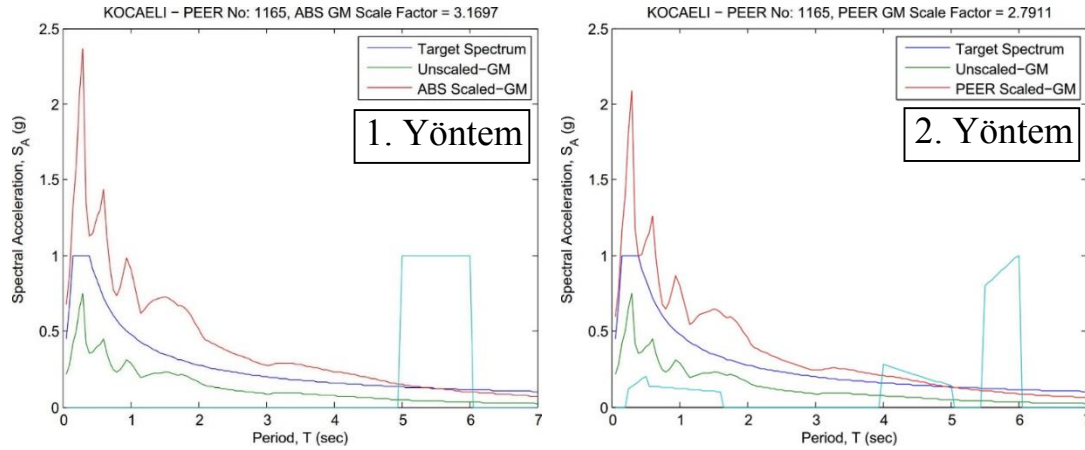
Çizelge 3.4'te ise kullanılan deprem kaydı özellikleri ve ölçek katsayıları gösterilmiştir. Ölçeklendirme işlemi için kullanılan MATLAB kodu çıktıları Şekil 3.15' de gösterilmektedir.

3.5. Doğrusal olmayan analiz sonuçları

Bu çalışmada incelen yapı için hazırlanan doğrusal olmayan analiz modelinden elde edilen sonuç grafikleri EK-A' da bulunmaktadır.

Çizelge 3.4 : Deprem kayıtları ölçekleme katsayıları.

Deprem Referans Numarası	PEER Kayıt Numarası	Deprem İsmi	Süre (sn)	Zaman Aralığı (sn)	Ölçekleme Katsayısı
S1	821	Erzincan, Turkey	20.775	0.005	1.09
S2	1176	Kocaeli, Turkey	34.995	0.005	0.92
S3	838	Landers	39.98	0.02	2.86
S4	1634	Manjil, Iran	29.48	0.01	1.92
S5	180	Imperial Valley	39.28	0.005	1.1
S6	1165	Kocaeli, Turkey	29.995	0.005	2.29
S7	1605	Düzce, Turkey	25.88	0.005	0.85

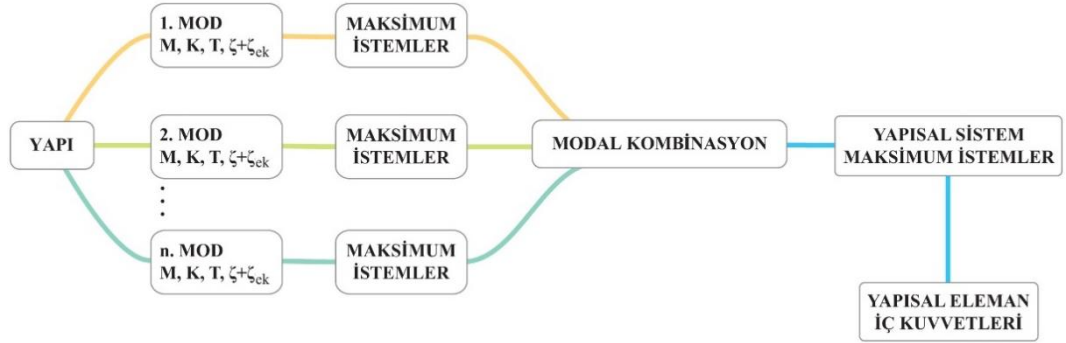


Şekil 3.15 : Ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarından elde edilmiş ivme spektrumları.

4. EŞDEĞER SÖNÜM HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

4.1 Giriş

Ek sönümleyici sistemlerin kullanıldığı yapıların tasarımında, en önemli parametrelerden bir tanesi de sönümleyici sistemin yapıya kattığı ek sönümleme değeridir. Bu sönümleme değerinin yaklaşık olarak elde edilmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bununla birlikte bu yöntemlerin yapının ön tasarımı aşamasında kullanılması ve nihai tasarım aşamasında ise bulunan sonuçların zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizler ile doğrulanması önerilmektedir. Ek sönümleyici kullanılan bir yapının ön tasarım aşamasında modal analiz akış şeması Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Sönümleyici sistem kullanılan yapılar için ön tasarım aşamaları.

Bu çalışma kapsamında da modal şekil değiştirme enerjisi yöntemi ve ASCE/FEMA dokümanlarında belirtilen eşdeğer sönüm hesap yöntemi incelenmiştir. Bu bölüm kapsamında ilk olarak, her iki yöntem ile eşdeğer sönüm hesabı yapılmış ve ASCE/FEMA yöntemi ile bulunan eşdeğer sönüm değerinin doğruluğu incelenmiştir.

4.2 Modal Şekil Değiştirme Enerjisi Yöntemi

4.2.1 Yöntem

Modal şekil değiştirme enerjisi yöntemi, eşdeğer sönüm hesaplama yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanıdır. Bu yöntem temel olarak yapının modal davranışının viskoz sönüme sahip eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem ile ifade edilmesine

dayanmaktadır (Şekil 4.2). Yapının bu şekilde ifade edilebilmesi için, yapısal taşıyıcı sistemin içsel sönümünün yanı sıra sistemde bulunan sönümleyicilerin yapıya ek olarak sağladığı sönüm miktarının da bilinmesi gerekmektedir. Bu ek sönüm miktarı, sönümleyicilerin yapının herhangi bir modu için harmonik hareketin bir çevrimi sonucu sönümlendiği enerjinin, eşdeğer tek serbest dereceli sistemin harmonik hareket altında bir çevrim sonucu sönümlendiği enerji miktarına eşit olduğu kabulü ile hesaplanmaktadır. Ek sönümün sayısal olarak hesabı şu şekilde yapılmaktadır:

$$E = \int f \, du = \int_0^{2\pi/w} (c\dot{u})\dot{u} \, dt = 2\pi\zeta \frac{w}{w_n} k u_0^2 \quad (4.1)$$

E : Tek serbestlik dereceli sistem için, harmonik titreşimin bir çevrimi sonucu sönümlenen viskoz enerji miktarı

w : Sisteme etkiyen harmonik kuvvetin frekansı

w_n : Sistem doğal frekansı

k : Sistem rijitliği

u_0 : Sistem yer değiştirmesi

ζ : Sönüm

$$E_s = \frac{1}{2} k u_0^2 \quad (4.2)$$

E_s : Yapısal sistemin şekil değiştirme enerjisi

4.2 denklemi, 4.1 denklemi içerisine yerleştirilirse;

$$E = 4\pi\zeta \frac{w}{w_n} E_s \quad (4.3)$$

Yapısal sistemdeki sönümleyici cihazların sönümlendiği enerji miktarı E_D , 4.3 denkleminde eşitlenerek ek sönüm miktarı bulunmuş olur.

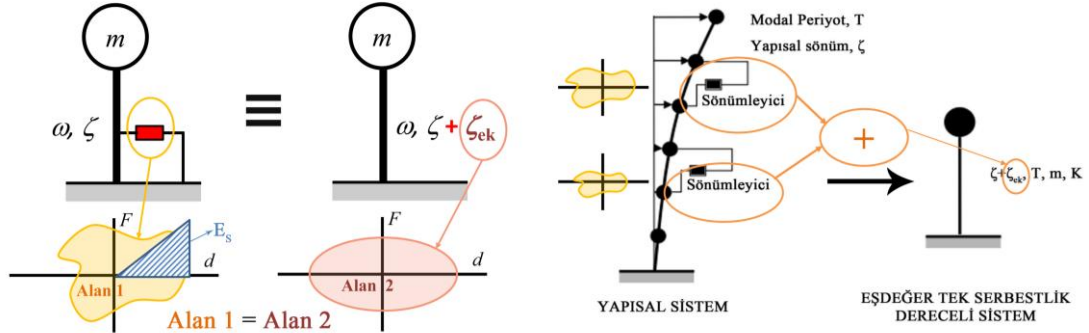
$$E_D = E = 4\pi\zeta \frac{w}{w_n} E_s \longrightarrow \zeta_{EK} = \frac{E_D w_n}{4\pi E_s w} \quad (4.4)$$

Harmonik hareket altında, yapısal sistemdeki sönümleyici cihazların sönümlendiği enerji miktarı E_D ve yapısal sistemin şekil değiştirme enerjisi E_s Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Şekil 4.3’den de anlaşıldığı üzere 4.4 denklemi yapısal sistemin elastik limitler içinde kaldığı durumlar için geçerlidir.

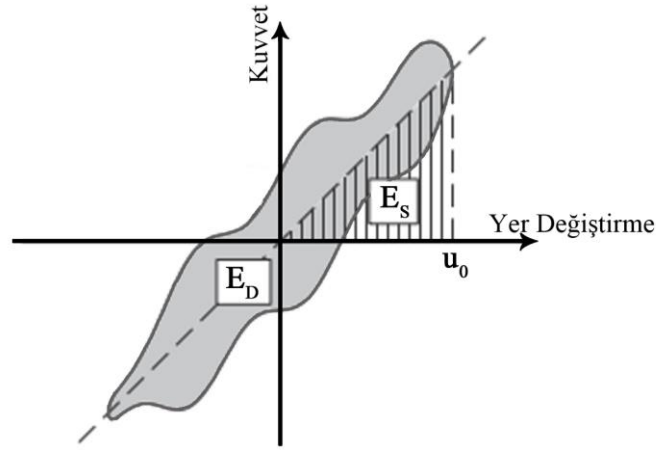
Formül içerisindeki w_n/w oranının, sönüm değerinin yapısal sistem istemleri üzerinde en çok etkili olduğu durumun sağlanması için bir ($w=w_n$) olarak alınması gerekmektedir. Bununla birlikte bu oranın birden farklı değerleri için elde edilen

sönüm değeri, bir değeri kullanılarak elde edilen sonuçlara yeterli yakınlık sağlaması ile 4.4 denklemi şu şekilde sadeleştirilebilir:

$$\zeta_{EK} = \frac{E_D}{4\pi E_S} \quad (4.5)$$



Şekil 4.2 : Tek ve çok serbestlik dereceli sistemler için eşdeğer sönüm hesap konsepti.



Şekil 4.3 : Harmonik titreşimin bir çevrimi için E_D ve E_S .

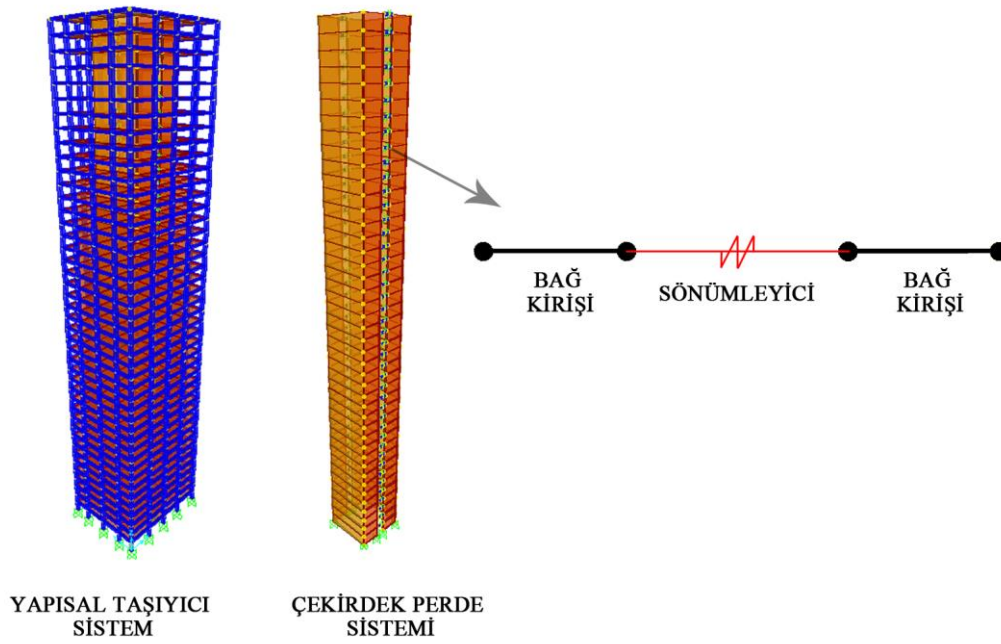
4.2.2 İncelenen yapı için eşdeğer sönüm hesabı

Bu bölümde modal şekil değiştirme enerjisi yöntemi kullanılarak, incelenen yapının birinci modu için eşdeğer sönüm hesabı SAP2000 programı yardımı ile yapılmıştır. Analiz modelinde yapısal elemanlar için efektif rijitlik değerleri kullanılmıştır (Betonarme perde duvarlar, kirişler ve döşemeler için eğilme rijitlikleri sırasıyla $0.7EI$, $0.35EI$ ve $0.25EI$ olarak alınmıştır). Her katta bağ kirişlerinin ortasına yerleştirilmiş sönümleyiciler ise sadece düşey yönde yer değiştirmeye izin veren *link elemanlar* olarak tanımlanmışlardır (Şekil 4.4). Yapının içsel sönümü %2.5 olarak hesaba katılmış ve yapılan eşdeğer sönüm hesabında yapının uygulanan deprem kuvvetleri altında doğrusal davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) 1 olarak alınmış ve İstanbul Yüksek Yapılar Yönetmeliğinde (2008) D3 depremine

denk gelen ivme spektrumu kullanılmıştır. Kullanılan sürtünme tipi sönümleyicilerin özellikleri izelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Sürtünme tipi sönümleyici zellikleri.

Sönümleyici zellikleri		
Akma Kuvveti (kN)	Akma Yer değiştirmesi (m)	Başlangıç Rijitliği (kN/m)
1500	0.003	500000



şekil 4.4 : SAP2000 analiz modeli.

Modal şekil değiştirme enerjisi yöntemi ile yapılan eşdeğer sönüm hesabı için şu adımlar izlenmiştir;

1. Yapının içsel sönümü %2.5 ve sönümleyiciler tarafından sağlanan ek sönüm ise %7.5 olarak kabul edilmiş ve bu sönüm değerine uygun ivme spektrumu eğrisi oluşturulmuştur.
2. Sönümleyicinin maksimum yer değiştirmesi esnasındaki modal periyodun tahmin edilmesi: Bu periyodun belirlenmesi için iterasyon işlemleri uygulanmıştır. İlk olarak, başlangıç rijitlik değeri (izelge 4.1) atanan sönümleyiciler ile oluşturulan modelde, %10 sönüme göre oluşturulmuş ivme spektrum eğrisi kullanılarak analiz yapılmış ve link elemanlarının düşey yönde yaptıkları yer değiştirme değerleri belirlenmiştir. Bu yer değiştirme değerleri

kullanarak, sönümleyicilerin kapasiteleri sabit kalmak koşulu ile yeni rijitlik değerleri atanmıştır. Yapılan bu işlemler bir kaç kez tekrarlanarak yer değiştirmeler için yeterli yaklaşıklık sağlanmış ve yapının efektif periyodu (T_{eff}) belirlenmiştir.

3. Efektif periyoda sahip analiz modelinde eşdeğer sönüm hesabı yapılmak istenen birinci mod için spektrum analizi yapılmış ve 2. adımda belirtilen iterasyon tekrarlanmıştır. Yeterli yaklaşıklık sağlandıktan sonra, elde edilen analiz modelinden birinci mod için sönümleyicilerin yaptığı maksimum yer değiştirmeler elde edilmiştir.
4. Sürtünme tipi sönümleyicilerin enerji yutma kapasiteleri, üzerlerine uygulanan yük seviyesi ile yaptıkları maksimum yer değiştirmeye bağlıdır. Dolayısıyla bu tip sönümleyicilerin her deprem seviyesi için sönümledikleri enerji miktarları ayrı ayrı hesaplanmalıdır (Şekil 4.5 a). İncelenen yapıda D3 deprem seviyesi için hesap yapılmakta olup, kullanılan sürtünme tipi sönümleyiciler tarafından sönümlenen enerji şu şekilde ifade edilmektedir:

$$E_D = 4(x_d - D_y)F_y \quad (4.6)$$

F_y : Akma kuvveti D_y : Akma yer değiştirmesi

x_d : Sönümleyicide oluşan maksimum yer değiştirme

Hesaplanan E_D değeri sönümleyicinin, harmonik titreşim altında maksimum yer değiştirme yaptığı çevrimi için sönümlediği enerjiye, yani histeretik eğrisinin içerisinde kalan alana eşittir (Şekil 4.5 b). Kullanılan sönümleyiciler için 3 mm olan akma yer değiştirmesi enerji hesaplamaları sırasında ihmal edilmiştir.

5. Sönümleyicilerin yaptığı maksimum şekil değiştirmenin elde edildiği analiz modelinden yararlanarak yapının şekil değiştirme enerjisi hesaplanmıştır. Bu hesap için 4.7 denklemi kullanılmıştır.

$$E_s = \frac{1}{2} w^2 (m_1 x_{1,max}^2 + m_2 x_{2,max}^2 + + m_n x_{n,max}^2) \quad (4.7)$$

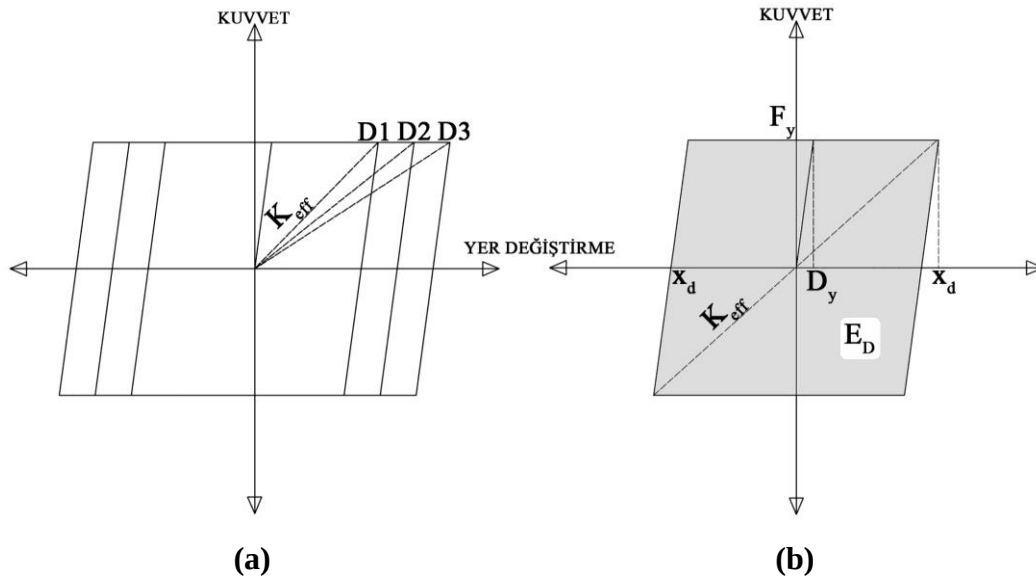
m_n : n. kat kütlesi

w : İlgilenilen modun frekansı

x_n : İlgilenilen mod için n. kat maksimum yer değiştirmesi

6. Dördüncü ve beşinci adımda elde edilen E_D ve E_S değerleri 4.5 denkleminde yerine koyularak sönümleyiciler tarafından yapıya sağlanan ek sönüm miktarı (ζ_{EK}) bulunmuş olur.
7. Bulunan ek sönüm miktarı kullanılarak, ilk adımda %10 sönüm kabulü ile oluşturulan ivme spektrumu eğrisi tekrar oluşturularak üçüncü, dördüncü, beşinci ve altıncı adımlar tekrarlanmıştır. Bu işlemlerin sonunda yeni bir sönüm değeri elde edilmiştir. Elde edilen sönüm değeri ile bu sönümü elde etmek için kullanılan sönüm değeri eşitleninceye kadar bu adımlardaki işlemler tekrarlanmıştır. Gerekli yaklaşıklık sağlandığında birinci mod için eşdeğer sönüm değeri elde edilmiş olmaktadır.

Yukarıda anlatılan modal enerji metodu kullanılarak, incelenen yapıda sönümleyicilerin birinci mod için %15 eşdeğer sönüm sağladıkları hesaplanmıştır. Sonuç olarak, toplam sönüm değeri %17.5 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5 : Sürtünme tipi sönümleyicilerin (a) harmonik etki altında davranışı ve (b) farklı deprem seviyeleri için davranışı.

4.3 ASCE/FEMA Yaklaşımı İle Eşdeğer Sönüm Hesabı

4.3.1 Yöntem

İncelenen yapıda kullanılan sürtünme tipi sönümleyicilerin eşdeğer sönüm hesabı için ASCE 7-10 Bölüm 18 ve FEMA-450 Bölüm 15’de belirtilen yöntem kullanılmıştır. Yöntemin altyapısı Ramirez ve diğ. (2001, 2002a,2002b) ile Whittaker ve diğ. (2003) çalışmalarına dayanmaktadır. Bu yöntem ile belirlenen bir yer değiştirme durumu için

yapının dikkate alınan modunda kullanılmak üzere eşdeğer sönüm hesabı yapılabilmektedir. Eşdeğer sönüm hesabında kullanılan formüller şu şekildedir:

$$\beta = \beta_1 + \beta_v \sqrt{\mu} + \beta_H \quad (4.8)$$

β_1 : yapının içsel sönümünü dikkate alan bileşen

β_v : yapının ilgilenilen yönünde dikkate alınan modu için sönümleyici sistemin, yatay yük taşıyıcı sistemin efektif akma yer değiştirmesinde ya da hemen öncesinde sönümlediği viskoz enerjiyi dikkate alan bileşen

β_H : Yapının eşdeğer sönüm hesabı yapılan yönü için yatay kuvvet taşıyıcı sistem ve sönümleyici sistem elemanlarının akma durumundan sonra oluşan histeretik davranışlarını dikkate alan bileşen

β_H bileşenin hesabı şu şekilde yapılmaktadır:

$$\beta_H = q_H (0.64 - \beta_1) \left(1 - \frac{1}{\mu} \right) \quad (4.9)$$

$$q_H = 0.67 \frac{T_s}{T_1} \quad 0.5 \leq q_H \leq 1.0 \quad (4.10)$$

$$\mu = \frac{D_1}{D_{eff}} \quad \text{veya} \quad \mu = \left(\frac{T_1}{T_{eff}} \right)^2 \quad (4.11)$$

μ : Efektif süneklik

q_H : Histerik çevrim düzeltme faktörü

D_1 : İlgilenilen yönde, tasarım ya da tahmin edilen maksimum depremin yapının temel modunda yapının çatı seviyesinin rijitlik merkezinde meydana getirdiği yer değiştirme

D_{eff} : Yatay kuvvet taşıyıcı sistemin efektif akma noktasında yapının çatı seviyesinin rijitlik merkezinde meydana gelen yer değiştirme

4.3.2 İncelenen yapı için eşdeğer sönüm hesabı

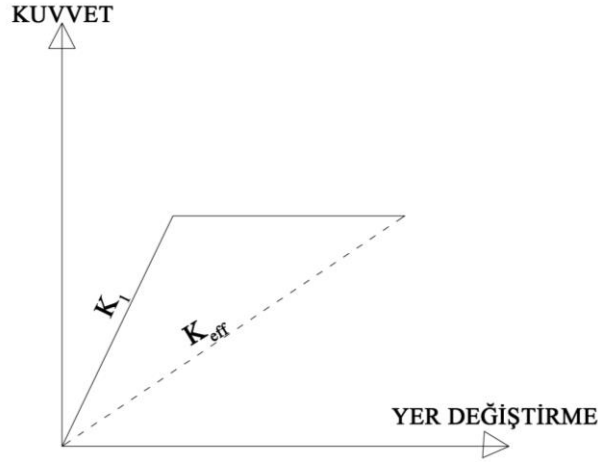
Bu bölümde ASCE/FEMA yaklaşımı ile, incelenen yapının birinci modu için eşdeğer sönüm hesabı SAP2000 programı yardımı ile yapılmıştır. Analiz modelinde yapısal elemanlar için efektif rijitlik değerleri kullanılmıştır (Betonarme perde duvarlar, kirişler ve döşemeler için eğilme rijitlikleri sırasıyla 0.7EI, 0.35EI ve 0.25EI olarak alınmıştır). Sönümleyiciler modal şekil değiştirme enerjisi yönteminde kullanılan analiz modelindeki gibi sadece düşey yönde yer değiştirmeye izin veren *link elemanlar*

olarak tanımlanmışlardır (Şekil 4.4). Yapının içsel sönümü %2.5 olarak hesaba katılmış ve yapılan eşdeğer sönüm hesabında yapının uygulanan deprem kuvvetleri altında doğrusal davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) 1 olarak alınmış ve İstanbul Yüksek Yapılar Yönetmeliğinde (2008) D3 depremine denk gelen ivme spektrumu kullanılmıştır. Çizelge 4.1’de verilen sürtünme tipi sönümleyici özellikleri bu kısım içinde geçerlidir.

ASCE/FEMA yaklaşımı ile yapılan eşdeğer sönüm hesabı için şu adımlar izlenmiştir:

- 1- Modal periyodun sönümleyicilerin aktive olmasından önce tahmin edilmesi: Analiz modelinde tüm sönümleyicilere başlangıç rijitlikliği (Çizelge 4.1) verilerek modal analiz yapılmıştır. Bu analiz sonucu birinci mod için periyot değeri (T_1) elde edilmiştir (Şekil 4.6).
- 2- Sönümleyicinin maksimum yer değiştirmesi esnasındaki modal periyodun tahmin edilmesi: Bu periyodun belirlenmesi için iterasyon işlemleri uygulanmıştır. İlk olarak, başlangıç rijitlik değeri atanan sönümleyiciler ile oluşturulan analiz modelinde, D3 depremi için %2.5 sönüme sahip ivme spektrumu kullanılarak analiz yapılmış ve link elemanlarının düşey yönde yaptıkları yer değiştirme değerleri belirlenmiştir. Bu yer değiştirme değerleri kullanarak, sönümleyicilerin kapasiteleri sabit kalmak koşulu ile yeni rijitlik değerleri atanmıştır. Yapılan bu işlemler bir kaç kez tekrarlanarak yer değiştirmeler için yeterli yaklaşıklık sağlanmış ve yapının efektif periyodu (T_{eff}) belirlenmiştir (Şekil 4.6).
- 3- Efektif sünekliğin tahmin edilmesi: Efektif süneklik istemi ASCE/FEMA dokümanlarında verilen **4.11** formülü yardımı ile hesaplanmaktadır.
- 4- Histerik döngü düzeltme faktörü 0.5 olarak kabul edilmiştir.
- 5- Son olarak, sönümleyici sistemlerin yapısal sisteme eklediği eşdeğer sönüm miktarı **4.9** formülü ile hesaplanmıştır.
- 6- Bulunan eşdeğer sönüm miktarı, yapının içsel sönüm miktarı ile toplanarak yapının toplam sönüm miktarı elde edilmiş olmaktadır.
- 7- Bulunan toplam sönümüne göre yeni bir ivme spektrumu oluşturulmuştur. Bu ivme spektrumu T_{eff} ’in elde edildiği modelde kullanılarak, 2. adımda anlatılan iterasyon tekrar yapılmış ve 3, 4, 5, 6 adımları tekrarlanarak yeni bir toplam sönüm bulunmuştur. Bu işleme, iterasyon işlemlerinde kullanılan sönüm ile

sonunda elde edilen sönüm değerlerinde yeterli yaklaşıklık sağlanıncaya kadar devam edilmiş ve nihai toplam sönüm değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.6 : Kuvvet-Yer değiştirme eğrisi.

- 8- Bulunan toplam sönümüne göre yeni bir ivme spektrumu oluşturulmuştur. Bu ivme spektrumu T_{eff} 'in elde edildiği modelde kullanılarak, 2. adımda anlatılan iterasyon tekrar yapılmış ve 3, 4, 5, 6 adımları tekrarlanarak yeni bir toplam sönüm bulunmuştur. Bu işlem, iterasyon işlemlerinde kullanılan sönüm ile sonunda elde edilen sönüm değerlerinde yeterli yaklaşıklık sağlanıncaya kadar devam ettirilmiş ve nihai toplam sönüm değeri elde edilmiştir.
- 9- İncelenen yapının birinci modu için toplam sönüm değeri %16 olarak elde edilmiştir.

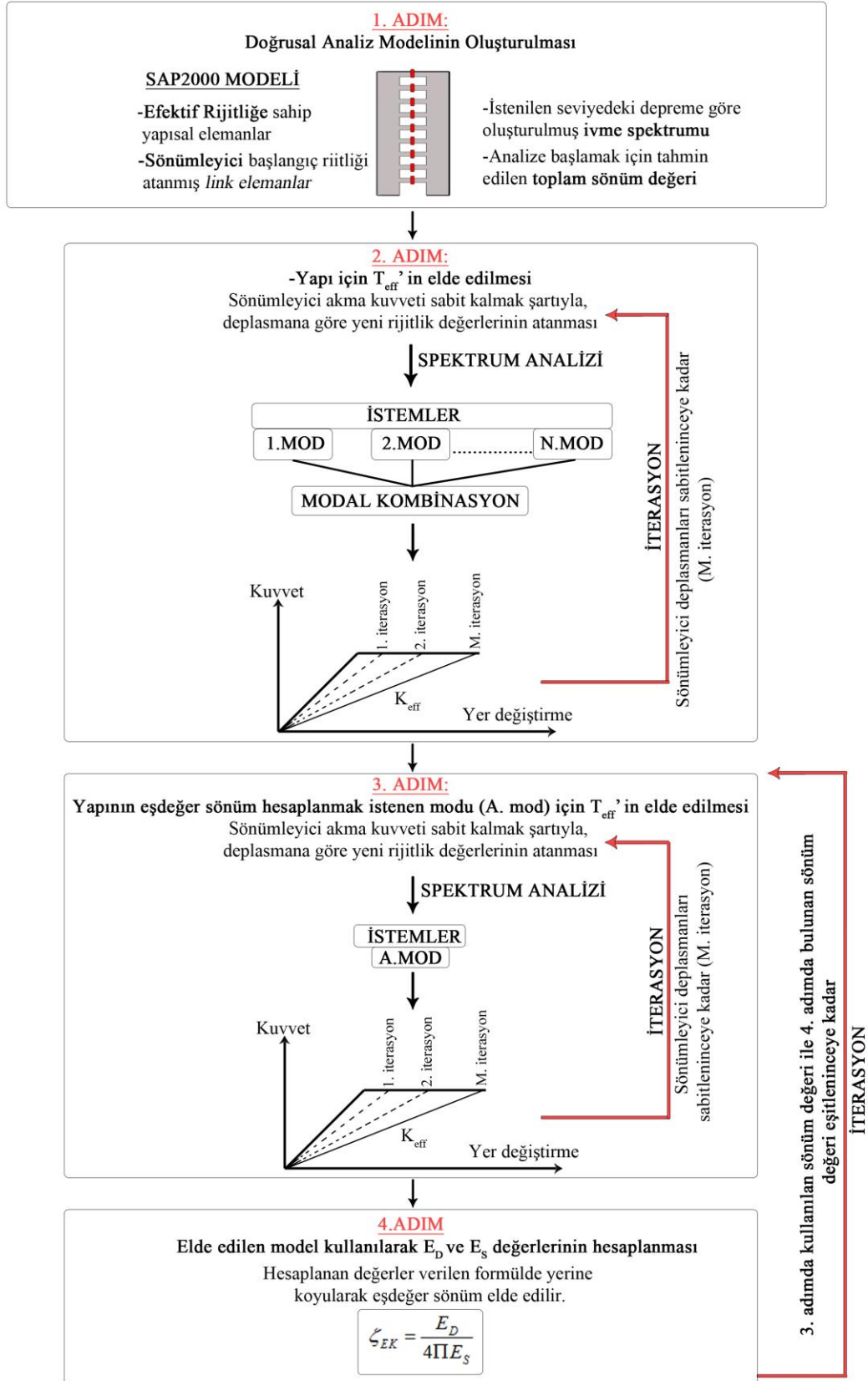
4.4 Eşdeğer Sönüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Eşdeğer sönüm hesabı yöntemlerinden modal şekil değiştirme enerjisi yöntemi ve ASCE/FEMA yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

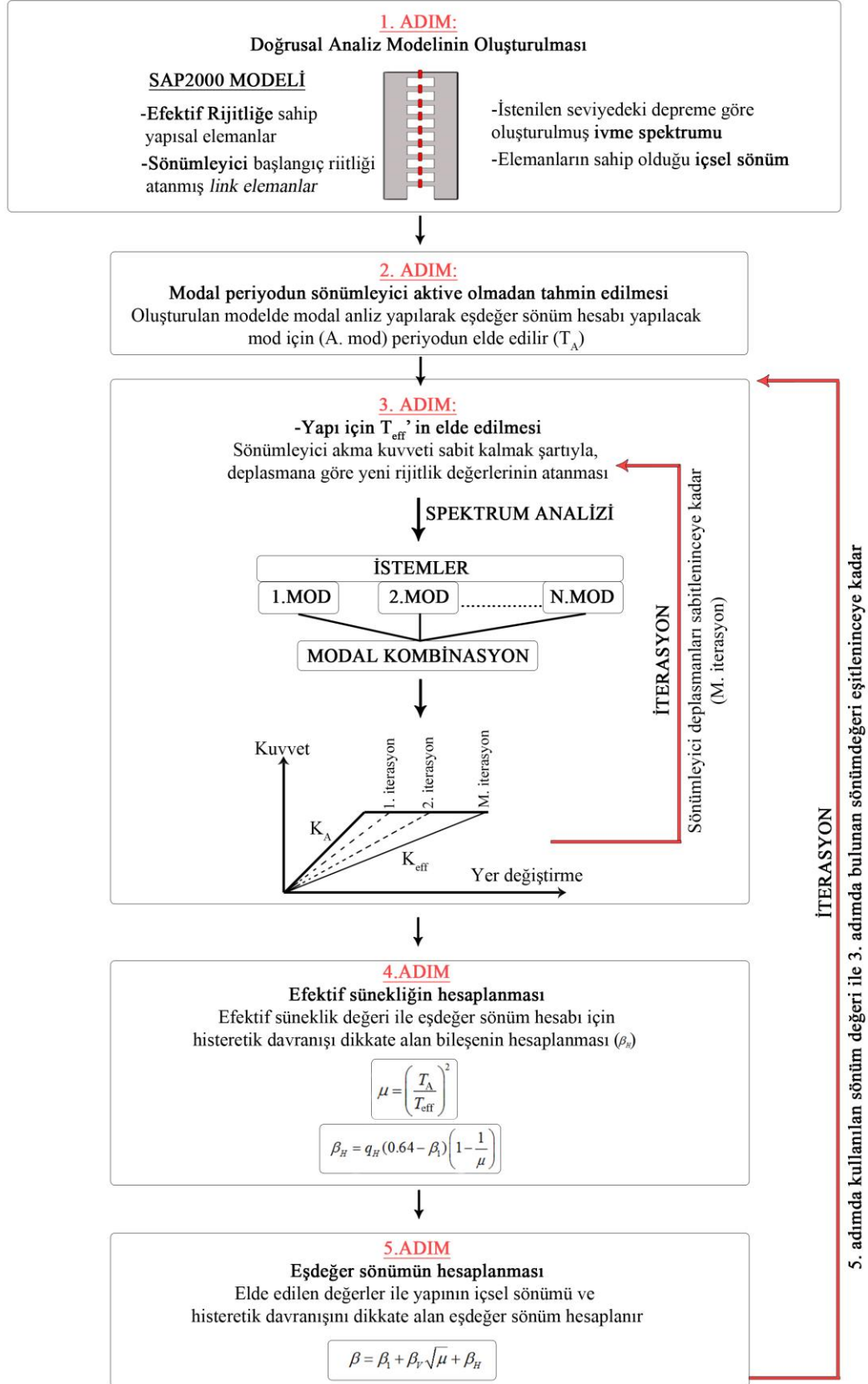
Çizelge 4.2 : Eş değer sönüm yöntemlerinin karşılaştırılması.

Metod	Eşdeğer Ek Sönüm (ÇEK)	Yapı İç Sönümü (Ç)	TOPLAM SÖNÜM
Modal Şekil Değiştirme Enerjisi	15%	2.50%	17.50%
ASCE/FEMA Yaklaşımı	13.50%	2.50%	16%

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de, eşdeğer sönüm hesabı yapılan iki yöntem için izlenen hesap adımları akış diyagramı şeklinde özetlenmiştir.



Şekil 4.7 : Modal şekil değiştirme enerjisi yöntemi hesap adımları.

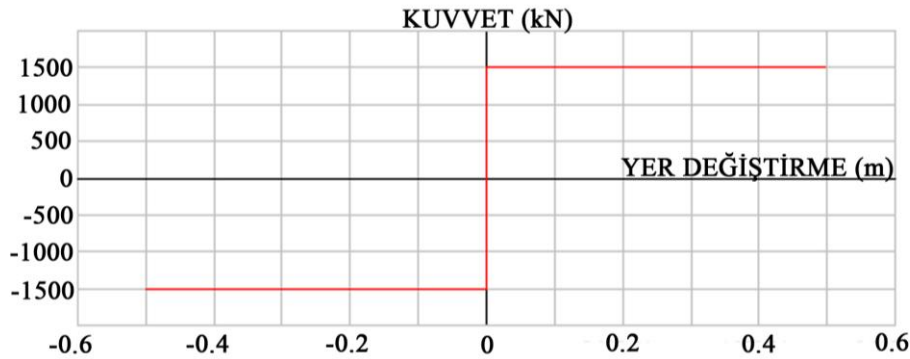


Şekil 4.8 : ASCE/FEMA yaklaşımı ile eşdeğer sönüm hesap adımları.

4.5 Eşdeğer Sönüm Hesabı İncelemesi

4.5.1 Giriş

Bu bölümde, hesap adımları detaylı olarak anlatılmış olan ASCE/FEMA yaklaşımı ile eşdeğer sönüm hesabının doğruluğu araştırılmıştır. Bu bölümde incelenen yapısal sistem için iki adet analiz modeli oluşturulmuştur. SAP2000 programında oluşturulan birinci modelde tüm yapısal elemanlar doğrusal olarak tanımlanmış spektrum ve zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Birinci mod için bir önceki bölümde hesaplanan eşdeğer sönüm oranı %16, diğer modlar içinse sabit %2.5 sönüm kullanılmıştır. İkinci model ise PERFORM-3D programında oluşturulmuş ve sönümleyici dışındaki tüm elemanlar doğrusal olarak tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan davranışa sahip sönümleyicilerin özellikleri Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Her iki modelde de sönüm, 0.1T ile 1.5T arasında Rayleigh sönümü olarak hesaba katılmıştır. Zaman tanım alanında yapıları analizler için üçüncü bölümde özellikleri belirtilen 7 adet deprem kaydı kullanılmıştır.



Şekil 4.9 : PERFORM-3D programında tanımlanan sürtünme tipi sönümleyici davranışı.

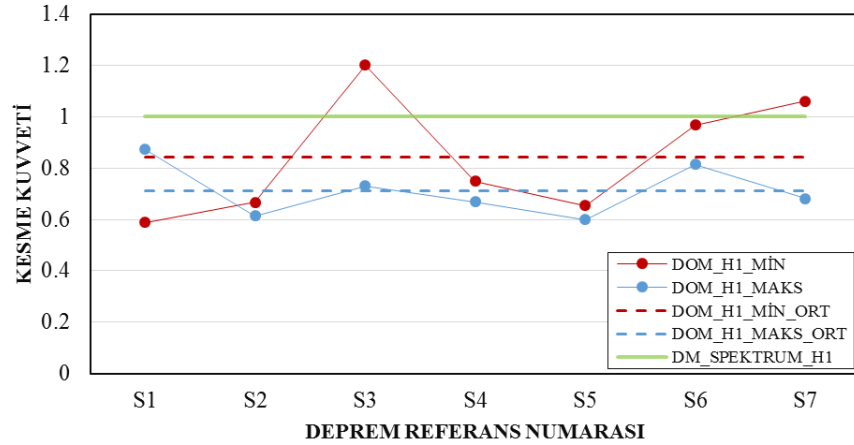
4.5.2 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Bu bölümde bir önceki bölümde tanımlanan analiz modellerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma X (H1) ve Y (H2) yönlerindeki kolon tepe noktası yer değiştirmesi, taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri için yapılmıştır. Grafiklerdeki “DOM” kısaltması doğrusal olmayan sönümleyici kullanılan PERFORM-3D modelinin sonuçlarını, “DM” kısaltması SAP2000 de oluşturulan doğrusal modelin sonuçlarını, “MAKS” kısaltması ilgili doğrultunun pozitif yönünü, “MİN” kısaltması ilgili doğrultunun negatif yönünü ve kesikli çizgiler 7 adet deprem kaydı için yapılan analiz sonuçlarının ortalamasını göstermektedir.

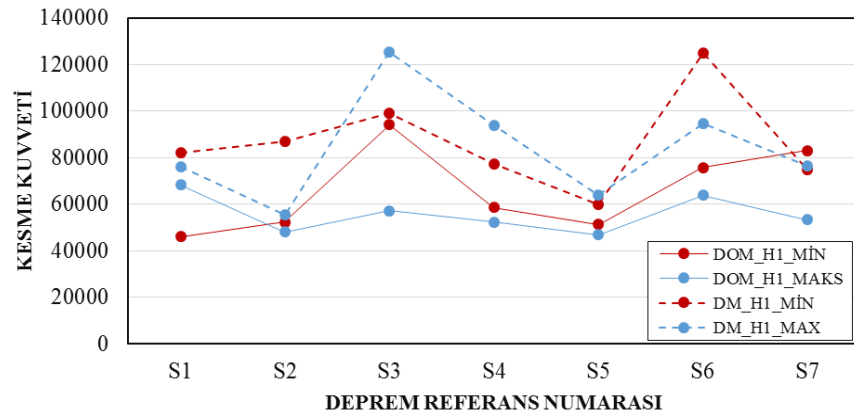
4.5.2.1 Taban kesme kuvveti

Şekil 4.10'da doğrusal model kullanılarak yapılan spektrum analizi ve doğrusal olmayan model kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen X (H1) yönü taban kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Grafikteki tüm değerler, doğrusal modelde yapılan spektrum analizi sonucu elde edilen kesme kuvvetine oranlanarak gösterilmiştir. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değer arasında yaklaşık %15-%30 fark gözlemlenmiştir.

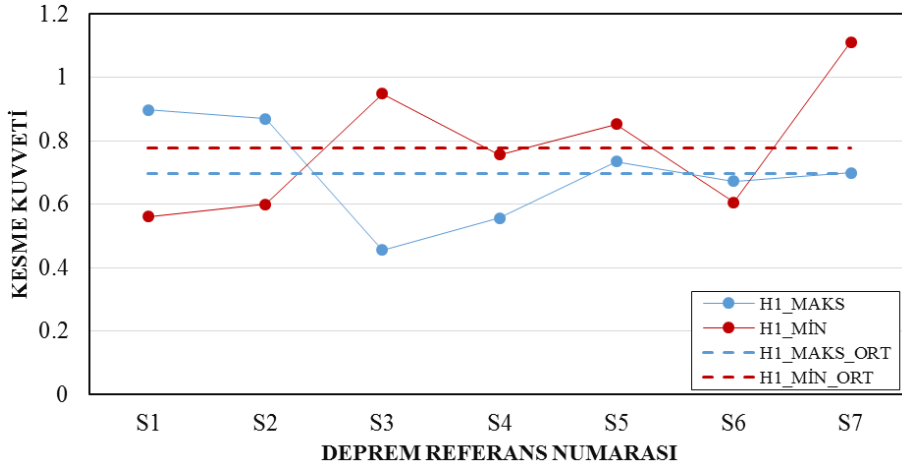
Şekil 4.11'de doğrusal model ve doğrusal olmayan model kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen X (H1) yönü taban kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Şekil 4.12'de ise bu taban kesme kuvvetlerinin birbirlerine oranları bulunmaktadır. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması arasında yaklaşık %20-%30 fark gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10 : X (H1) yönü taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.



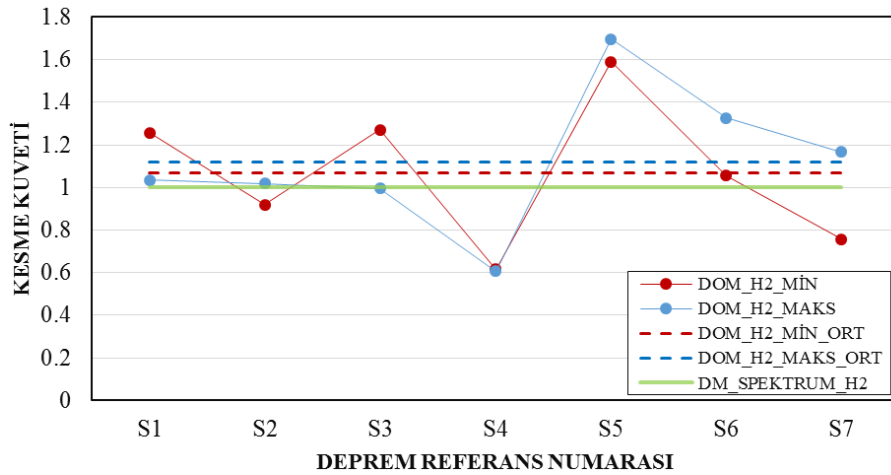
Şekil 4.11 : X (H1) yönü taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.



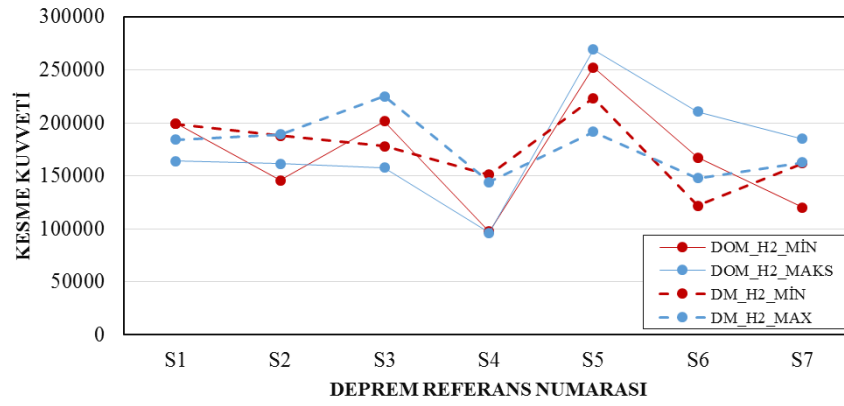
Şekil 4.12 : X (H1) yönü taban kesme kuvvetleri oranları.

Şekil 4.13’de doğrusal model kullanılarak yapılan spektrum analizi ve doğrusal olmayan model kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen Y (H2) yönü taban kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Grafikteki tüm değerler doğrusal modelde yapılan spektrum analizi sonucu elde edilen taban kesme kuvvetine oranlanarak gösterilmiştir. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değer arasında yaklaşık %6-%12 fark gözlemlenmiştir.

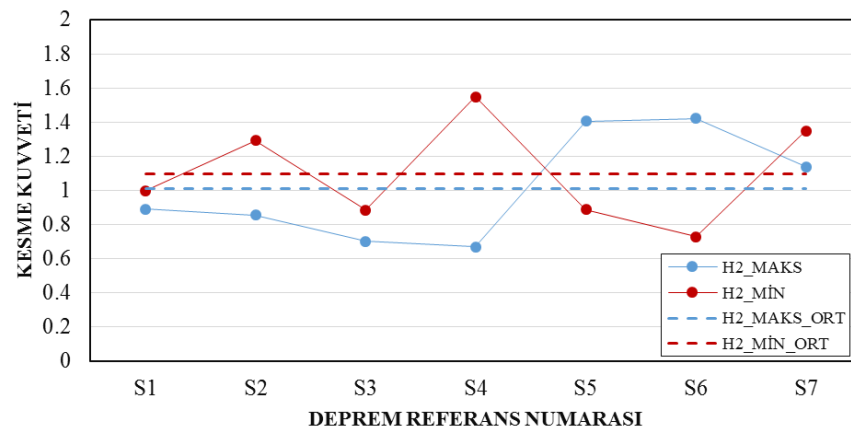
Şekil 4.14’de doğrusal model ve doğrusal olmayan model kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen Y (H2) yönü taban kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Şekil 4.15’de ise bu taban kesme kuvvetlerinin birbirlerine oranları bulunmaktadır. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması arasında maksimum %1-%10 fark gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13 : Y (H2) yönü taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.



Şekil 4.14 : Y (H2) yönü taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.

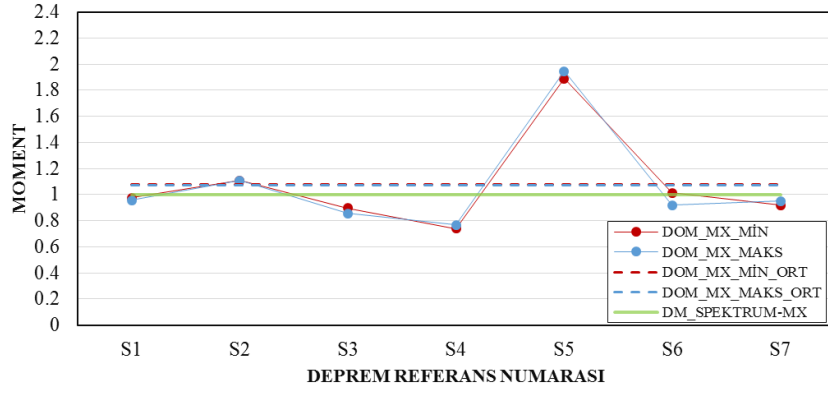


Şekil 4.15 : Y (H2) yönü taban kesme kuvvetleri oranları.

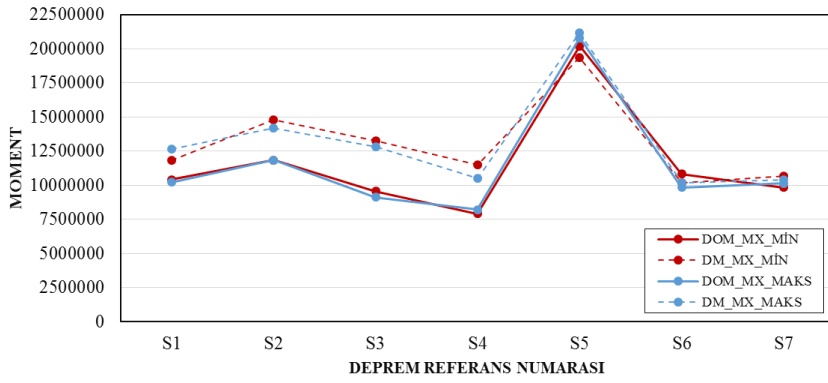
4.5.2.2 Devrilme momenti

Şekil 4.16'da doğrusal model kullanılarak yapılan spektrum analizi ve doğrusal olmayan model kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen X (H1) doğrultusu etrafında devrilme momenti değerleri görülmektedir. Grafikteki tüm değerler doğrusal modelde yapılan spektrum analizi sonucunda bulunan devrilme momenti değerine oranlanarak gösterilmiştir. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değer arasında yaklaşık %8 fark gözlemlenmiştir.

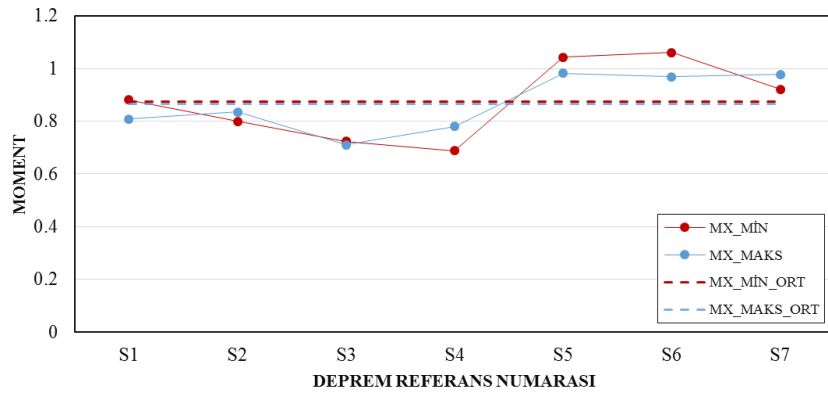
Şekil 4.17'de doğrusal model ve doğrusal olmayan model kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen X (H1) doğrultusu etrafında devrilme momenti değerleri görülmektedir. Şekil 4.18'de ise bu devrilme momenti değerlerinin birbirlerine oranları bulunmaktadır. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması arasında maksimum %15 fark gözlemlenmiştir.



Şekil 4.16 : X (H1) doğrultusu etrafında devrilme momentleri karşılaştırması.



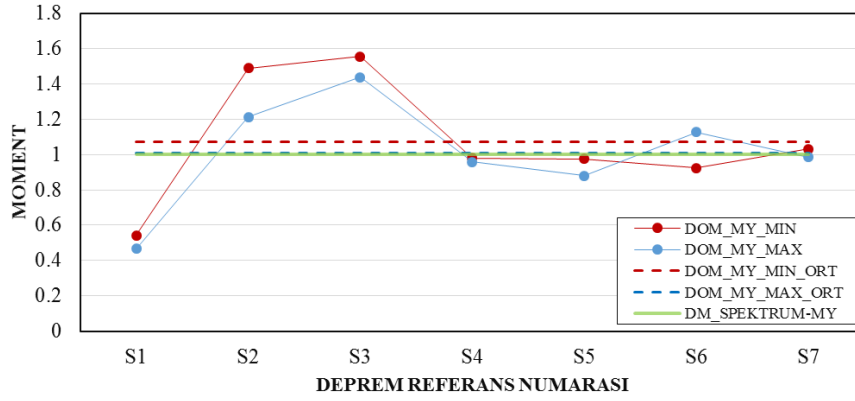
Şekil 4.17 : X (H1) doğrultusu etrafında devrilme momentleri karşılaştırması.



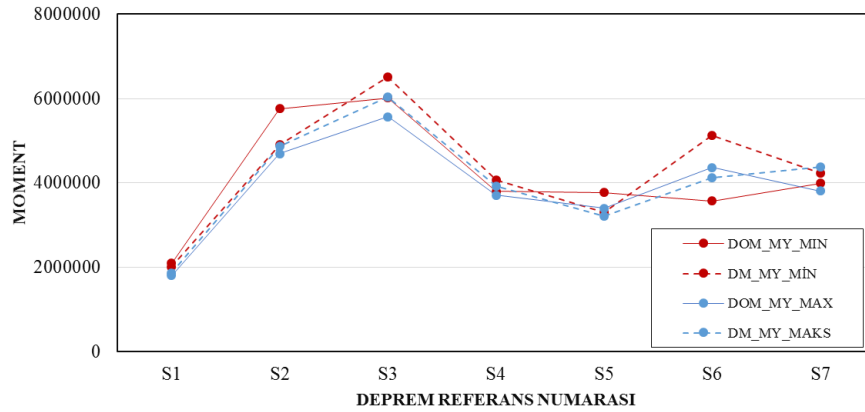
Şekil 4.18 : X (H1) doğrultusu etrafında devrilme momentleri oranları.

Şekil 4.19’da doğrusal model kullanılarak yapılan spektrum analizi ve doğrusal olmayan model kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen Y (H2) doğrultusu etrafında devrilme momenti değerleri görülmektedir. Grafikteki tüm değerler doğrusal modelde yapılan spektrum analizi sonucunda bulunan devrilme momenti değerine oranlanarak gösterilmiştir. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değer arasında yaklaşık %7 fark gözlemlenmiştir.

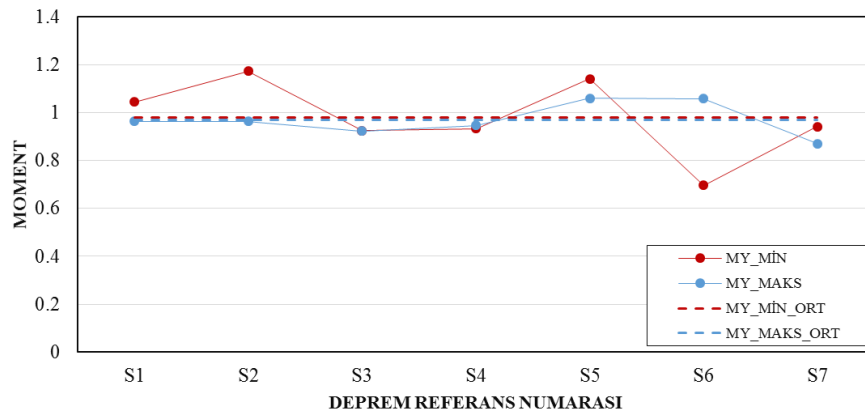
Şekil 4.20’de doğrusal model ve doğrusal olmayan model kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen Y (H2) doğrultusu etrafında devrilme momenti değerleri görülmektedir. Şekil 4.21’de ise bu devrilme momenti değerlerinin birbirlerine oranları bulunmaktadır. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması arasında maksimum %3 fark gözlemlenmiştir.



Şekil 4.19 : Y (H2) doğrultusu etrafında devrilme momentleri karşılaştırması.



Şekil 4.20 : Y (H2) doğrultusu etrafında devrilme momentleri karşılaştırması.



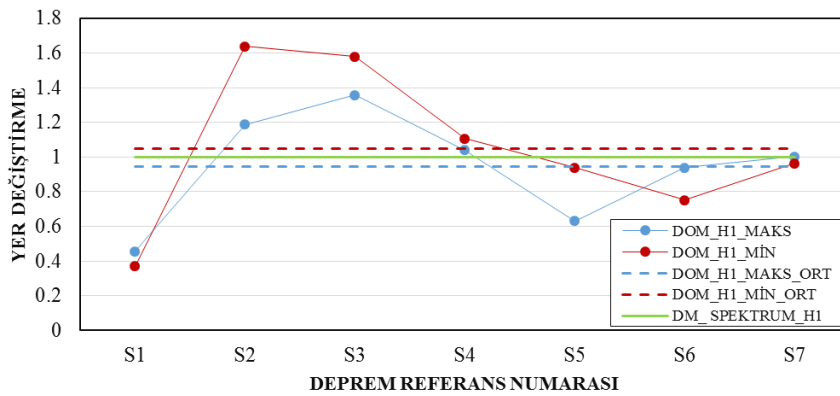
Şekil 4.21 : Y (H2) doğrultusu etrafında devrilme momentleri oranları.

4.5.2.3 Yer değiştirme

Yer değiştirme karşılaştırması yapının çatı seviyesinde birer adet köşe kolon ve perde duvar uç noktası iin yapılmıştır. Yapılan iki karşılaştırma yakın sonu verdiğinden, sadece kolon uç noktası iin elde edilen değerler bu bۆlmde gۆsterilmiřtir.

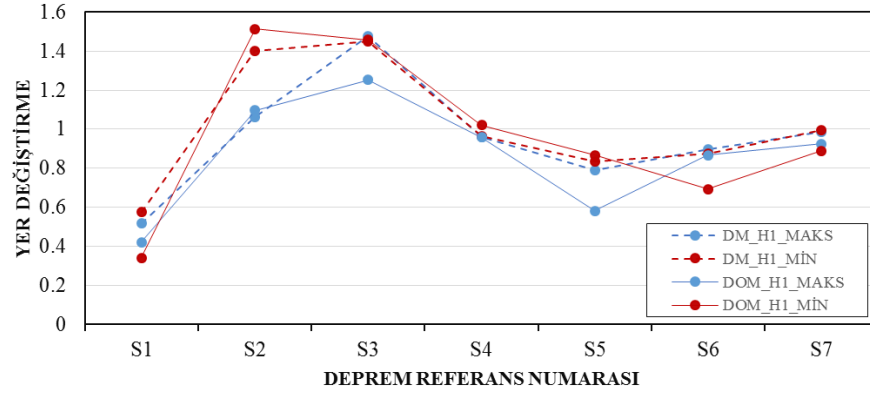
şekil 4.22’de doğrusal model kullanılarak yapılan spektrum analizi ve doğrusal olmayan model kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen X (H1) yۆn yer değiştirme değerleri gۆrlmektedir. Grafikteki tm değerler doğrusal modelde yapılan spektrum analizi sonucunda bulunan yer değiştirme değerine oranlanarak gۆsterilmiřtir. Doğrusal olmayan ۆzmleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması ile eşdeğer sۆnm kullanılan doğrusal ۆzmleme sonucu elde edilen değer arasında yaklaşık %5 fark gۆzlemlenmiřtir.

şekil 4.23’de doğrusal model ve doğrusal olmayan model kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen X (H1) yۆnnde yer değiştirme değerleri g�rlmektedir. şekil 4.24’de ise bu yer değiştirme değerlerinin birbirlerine oranları bulunmaktadır. Doğrusal olmayan ۆzmleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması ile eşdeğer sۆnm kullanılan doğrusal ۆzmleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması arasında yaklaşık %10 fark gۆzlemlenmiřtir.

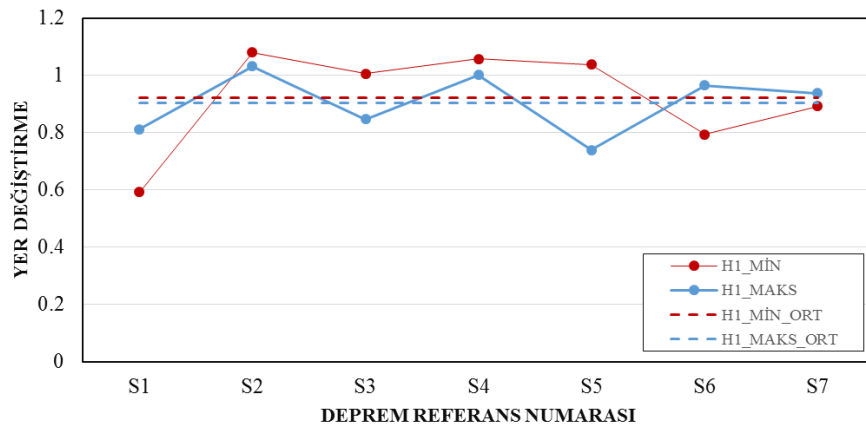


şekil 4.22 : X (H1) yۆnnde kolon uç noktası iin yer değiştirme karşılaştırması.

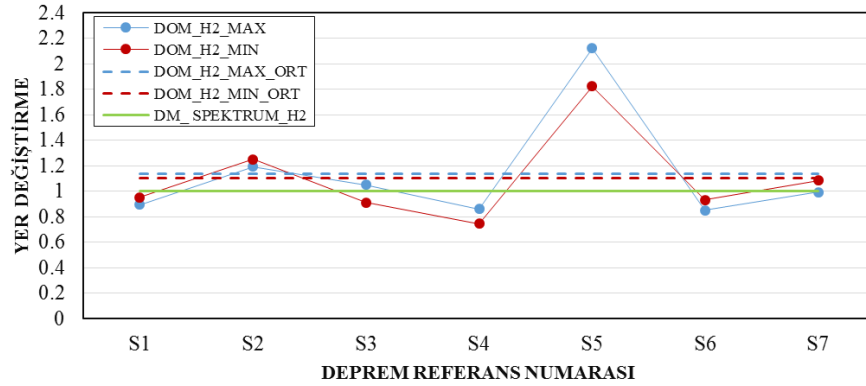
şekil 4.25’de doğrusal model kullanılarak yapılan spektrum analizi ve doğrusal olmayan model kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen Y (H2) yۆn yer değiştirme değerleri g�rlmektedir. Grafikteki tm değerler doğrusal modelde yapılan spektrum analizi sonucunda bulunan yer değiştirme değerine oranlanarak gösterilmiştir. Doğrusal olmayan ۆzmleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması ile eşdeğer sۆnm kullanılan doğrusal ۆzmleme sonucu elde edilen değer arasında yaklaşık %10-%14 fark gözlemlenmiştir.



Şekil 4.23 : X (H1) yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme karşılaştırması.

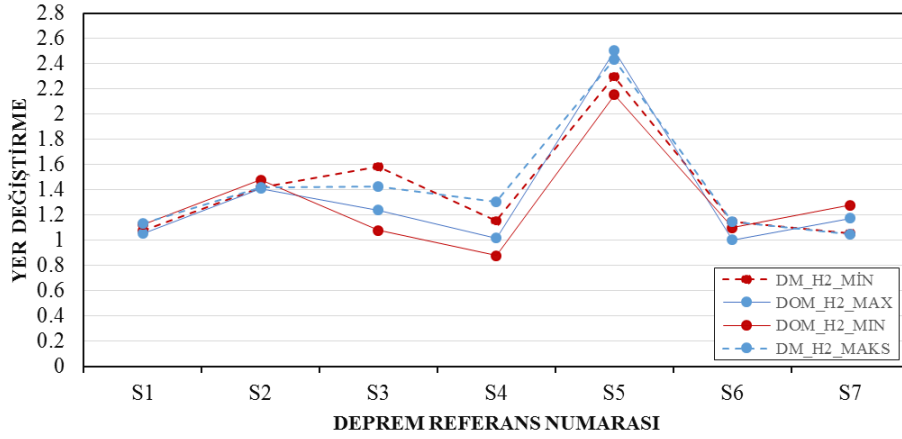


Şekil 4.24 : X (H1) yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme oranları.

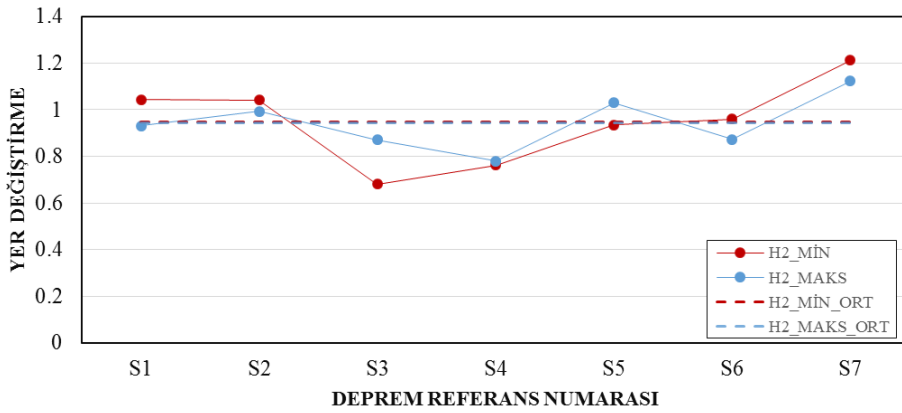


Şekil 4.25 : Y (H2) yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme karşılaştırması.

Şekil 4.26'da doğrusal model ve doğrusal olmayan model kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen Y (H2) yönünde yer değiştirme değerleri görülmektedir. Şekil 4.27'de ise bu yer değiştirme değerlerinin birbirlerine oranları bulunmaktadır. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değerlerin ortalaması arasında maksimum %6 fark gözlemlenmiştir.



Şekil 4.26 : Y (H2) yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme karşılaştırması.



Şekil 4.27 : Y (H2) yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme oranları.

4.5.2.4 Sayısal sonuçlar

Bu kısımda, bir önceki bölümde grafikler yardımı ile yapılan karşılaştırmaların detaylı sayısal sonuçları gösterilmektedir. Aşağıdaki karşılaştırma tablolarında bulunan sayılar, doğrusal olmayan analiz modeli sonuçlarının, doğrusal analiz modeli sonuçlarına oranını göstermektedir. Grafiklerdeki “DOM” kısaltması doğrusal olmayan sönümleyicinin kullanıldığı PERFORM-3D modelinin, “DM” kısaltması ise SAP2000 de oluşturulan doğrusal modelin sonuçlarını ifade etmektedir. “MAKS” kısaltması ilgili doğrultunun pozitif yönünü, “MİN” kısaltması ise ilgili doğrultunun negatif yönünü ifade etmektedir. Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 doğrusal olmayan analiz sonuçlarını, Çizelge 4.6 doğrusal analiz sonuçları ve Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 doğrusal olmayan analiz sonuçlarının ve doğrusal analiz sonuçlarına oranını göstermektedir.

Çizelge 4.3 : Doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetleri.

DEPREM REFERANS NUMARASI	TABAN KESME KUVVETİ			
	DOĞRUSAL OLMAYAN ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ			
	H1 (X) YÖNÜ		H2 (Y) YÖNÜ	
	DOM_H1_MAKS	DOM_H1_MİN	DOM_H2_MAKS	DOM_H2_MİN
S1	68405	46021	163970	199400
S2	48111	52255	161600	145720
S3	57174	94060	157870	201580
S4	52323	58636	96347	97665
S5	46935	51253	268960	252160
S6	63785	75814	210370	167240
S7	53420	83074	185020	120020
ARİTMETİK ORT.	55736	65873	177734	169112

*Birim kN

Çizelge 4.4 : Doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen devrilme momentleri.

DEPREM REFERANS NUMARASI	DEVİRİLME MOMENTİ			
	DOĞRUSAL OLMAYAN ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ			
	X EKSENİ ETRAFINDA		Y EKSENİ ETRAFINDA	
	DOM_MX_MAKS	DOM_MX_MİN	DOM_MY_MAX	DOM_MY_MIN
S1	10224000	10411000	1806500	2100600
S2	11851000	11844000	4694600	5764100
S3	9130900	9572900	5569500	6017400
S4	8219300	7909100	3714300	3800200
S5	20774000	20179000	3405200	3776300
S6	9832400	10821000	4368300	3573800
S7	10145000	9822100	3812200	3995900
ARİTMETİK ORT.	11453800	11508443	3910086	4146900

*Birim kNm

Çizelge 4.5 : Doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen kolon uç noktası yer değiştirmeleri.

DEPREM REFERANS NUMARASI	YER DEĞİŞTİRME			
	DOĞRUSAL OLMAYAN ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ			
	H1 (X) YÖNÜ		H2 (Y) YÖNÜ	
	DOM_H1_MAKS	DOM_H1_MİN	DOM_H2_MAX	DOM_H2_MIN
S1	0.42	0.34	1.06	1.12
S2	1.10	1.51	1.41	1.48
S3	1.25	1.46	1.24	1.08
S4	0.96	1.02	1.02	0.88
S5	0.58	0.87	2.50	2.15
S6	0.87	0.69	1.00	1.10
S7	0.93	0.89	1.17	1.28
ARİTMETİK ORT.	0.87	0.97	1.34	1.30

*Birim m

Çizelge 4.6 : Doğrusal analiz sonuçları.

DOĞRUSAL ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ									
DEPREM REFERANS NUMARASI	X YÖNÜNDE TABAN		Y YÖNÜNDE TABAN		X EKSENİ ETRAFINDA DEVİRLİME MOMENTİ		Y EKSENİ ETRAFINDA DEVİRLİME MOMENTİ		X YÖNÜNDE YER DEĞİŞTİRME
	KESME KUVVETİ		KESME KUVVETİ		(MX)		(MY)		
S1	MAKSİMUM	76126	76126	12658336	1874679	0.52	1.13		
S2	MAKSİMUM	55290	55290	14188543	4867779	1.06	1.42		
S3	MAKSİMUM	125504	125504	12840505	6032983	1.48	1.43		
S4	MAKSİMUM	93978	93978	10527921	3922322	0.96	1.31		
S5	MAKSİMUM	63768	63768	21174722	3214373	0.79	2.43		
S6	MAKSİMUM	94796	94796	10162224	4125298	0.90	1.15		
S7	MAKSİMUM	76334	76334	10374582	4380114	0.99	1.05		
ARİTMETİK ORT.									
S1	MINİMUM	83685	83685	13132405	4059780	0.96	1.42		
S2	MINİMUM	-82030	-198902	-11812028	-2011358	-0.58	-1.08		
S3	MINİMUM	-86989	-188056	-14812515	-4914503	-1.40	-1.42		
S4	MINİMUM	-99126	-178051	-13236503	-6506953	-1.45	-1.59		
S5	MINİMUM	-77408	-151093	-11482089	-4075735	-0.97	-1.15		
S6	MINİMUM	-60094	-223487	-19358350	-3311534	-0.84	-2.30		
S7	MINİMUM	-125021	-121835	-10205538	-5131000	-0.88	-1.15		
ARİTMETİK ORT.									
		-86485	-174739	-13082591	-4313419	-1.01	-1.39		
*Birimler kN, kNm, m									
DOĞRUSAL SPEKTRUM ANALİZİ									
ANALİZ YÖNÜ	X YÖNÜNDE TABAN		Y EKSENİ ETRAFINDA		X DOĞRULTUSUNDA		Y YÖNÜNDE TABAN		X EKSENİ ETRAFINDA Y DOĞRULTUSUNDA DEVİRLİME MOMENTİ YER DEĞİŞTİRME
	KESME KUVVETİ		DEVİRLİME MOMENTİ		YER DEĞİŞTİRME		KESME KUVVETİ		
X DOĞRULTUSUNDA ANALİZ	78291	3872202	0.92	-	158595	10685337	-		
Y DOĞRULTUSUNDA ANALİZ	-	-	-	-	-	-	-		1.18
*Birimler kN, kNm, m									

Çizelge 4.7 : Taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.

TABAN KESME KUVVETİ								
DEPREM REFERANS NUMARASI	D.O.M ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUCU D.M. SPEKTRUM ANALİZİ SONUCU				D.O.M ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUCU D.M. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUCU			
	H1_MAKS	H1_MİN	H2_MAKS	H2_MİN	H1_MAKS	H1_MİN	H2_MAKS	H2_MİN
S1	0.87	0.59	1.03	1.26	0.90	0.56	0.89	1.00
S2	0.61	0.67	1.02	0.92	0.87	0.60	0.86	1.29
S3	0.73	1.20	1.00	1.27	0.46	0.95	0.70	0.88
S4	0.67	0.75	0.61	0.62	0.56	0.76	0.67	1.55
S5	0.60	0.65	1.70	1.59	0.74	0.85	1.40	0.89
S6	0.81	0.97	1.33	1.05	0.67	0.61	1.42	0.73
S7	0.68	1.06	1.17	0.76	0.70	1.11	1.14	1.35
ARİTMETİK ORT	0.71	0.84	1.12	1.07	0.70	0.78	1.01	1.10

Çizelge 4.8 : Devrilme momentleri karşılaştırması.

DEVİRİLMİ MOMENTİ								
DEPREM REFERANS NUMARASI	D.O.M ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUCU D.M. SPEKTRUM ANALİZİ SONUCU				D.O.M ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUCU D.M. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUCU			
	MX_MAKS	MX_MİN	MY_MAKS	MY_MİN	MX_MAKS	MX_MİN	MY_MAKS	MY_MİN
S1	0.96	0.97	0.47	0.54	0.81	0.88	0.96	1.04
S2	1.11	1.11	1.21	1.49	0.84	0.80	0.96	1.17
S3	0.85	0.90	1.44	1.55	0.71	0.72	0.92	0.92
S4	0.77	0.74	0.96	0.98	0.78	0.69	0.95	0.93
S5	1.94	1.89	0.88	0.98	0.98	1.04	1.06	1.14
S6	0.92	1.01	1.13	0.92	0.97	1.06	1.06	0.70
S7	0.95	0.92	0.98	1.03	0.98	0.92	0.87	0.94
ARİTMETİK ORT.	1.07	1.08	1.01	1.07	0.87	0.87	0.97	0.98

Çizelge 4.9 : Kolon uç noktası yer değiştirmesi karşılaştırması.

YER DEĞİŞTİRME								
DEPREM REFERANS NUMARASI	D.O.M ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUCU D.M. SPEKTRUM ANALİZİ SONUCU				D.O.M ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUCU D.M. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUCU			
	H1_MAKS	H1_MİN	H2_MAKS	H2_MİN	H1_MAKS	H1_MİN	H2_MAKS	H2_MİN
S1	0.46	0.37	0.89	0.95	0.81	0.59	0.93	1.04
S2	1.19	1.64	1.19	1.25	1.03	1.08	0.99	1.04
S3	1.36	1.58	1.05	0.91	0.85	1.01	0.87	0.68
S4	1.04	1.11	0.86	0.74	1.00	1.06	0.78	0.76
S5	0.63	0.94	2.11	1.82	0.74	1.04	1.03	0.94
S6	0.94	0.75	0.85	0.93	0.96	0.79	0.87	0.96
S7	1.00	0.96	0.99	1.08	0.94	0.89	1.12	1.21
ARİTMETİK ORT.	0.94	1.05	1.13	1.10	0.90	0.92	0.94	0.95

5. EŞDEĞER SÖNÜMÜN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ GÖSTEREN YÜKSEK BİR YAPI İÇİN İNCELENMESİ

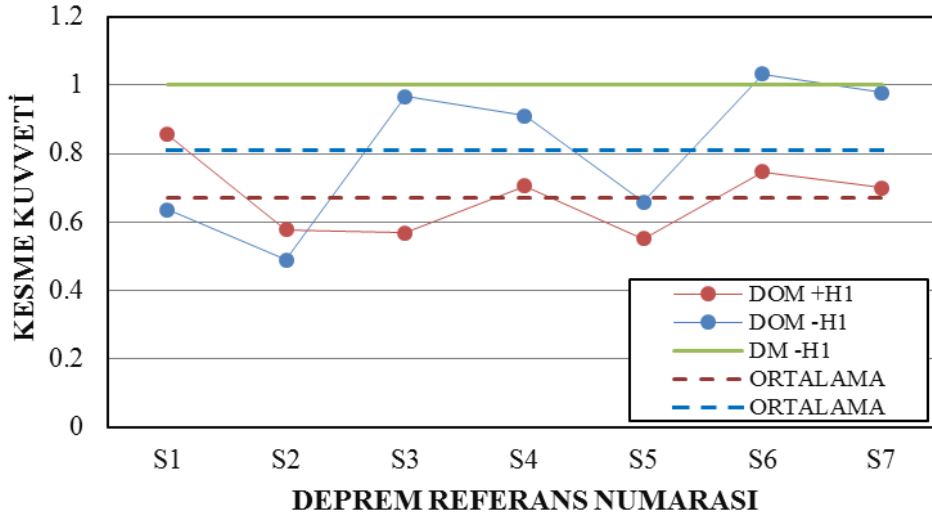
5.1 Giriş

Bu çalışmada son olarak yüksek bir yapı için doğrusal olmayan analiz modeli kullanılarak elde edilen sonuçların, ASCE/FEMA yöntemi ile bulunan eşdeğer sönüm değerinin kullanıldığı doğrusal analiz modelinin sonuçları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu bölümde, eşdeğer sönüm değeri kullanılan doğrusal model ile yapılan spektrum analizi sonuçları ile doğrusal olmayan model ile yapılan zaman tanım alanında analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma X (H1) ve Y (H2) yönlerindeki kolon tepe noktası yer değiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri arasında yapılmıştır. Grafiklerdeki “DOM” kısaltması doğrusal olmayan modelin sonuçlarını, “DM” kısaltması doğrusal modelin sonuçlarını, kesikli çizgiler 7 adet deprem kaydı için yapılan analiz sonuçlarının ortalamasını göstermektedir.

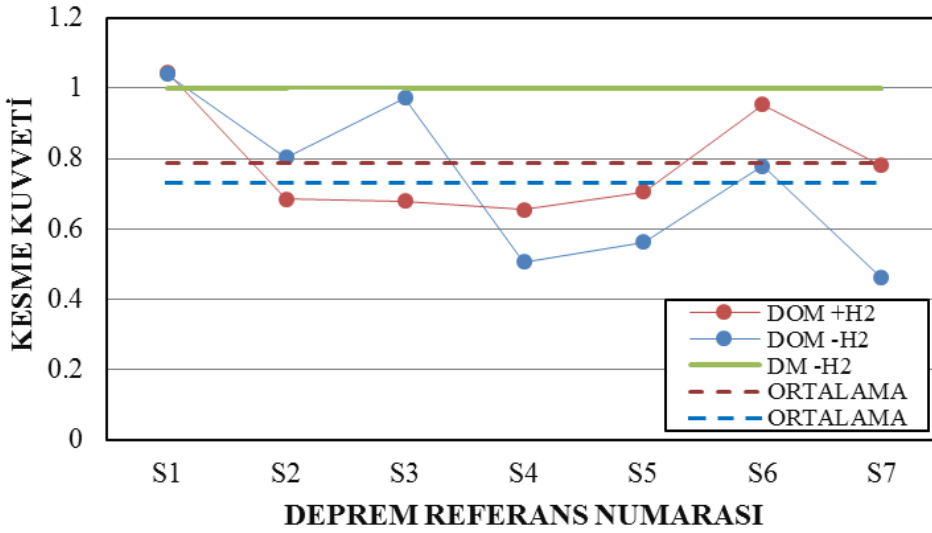
5.2 Taban Kesme Kuvveti

Şekil 5.1’de doğrusal model ile yapılan spektrum analizi ile doğrusal olmayan model ile yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen X (H1) yönü taban kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Grafikteki tüm değerler doğrusal modelde yapılan spektrum analizi sonucunda bulunan taban kesme kuvveti değerine oranlanarak gösterilmiştir. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değer arasında yaklaşık %20-%30 fark gözlemlenmiştir.

Şekil 5.2’de doğrusal model ile yapılan spektrum analizi ile doğrusal olmayan model ile yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen Y (H2) yönü taban kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Grafikteki tüm değerler doğrusal modelde yapılan spektrum analizi sonucunda bulunan taban kesme kuvveti değerine oranlanarak gösterilmiştir. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değer arasında yaklaşık %20-30 fark gözlemlenmiştir.



Şekil 5.1 : X (H1) yönü taban kesme kuvveti karşılaştırması.



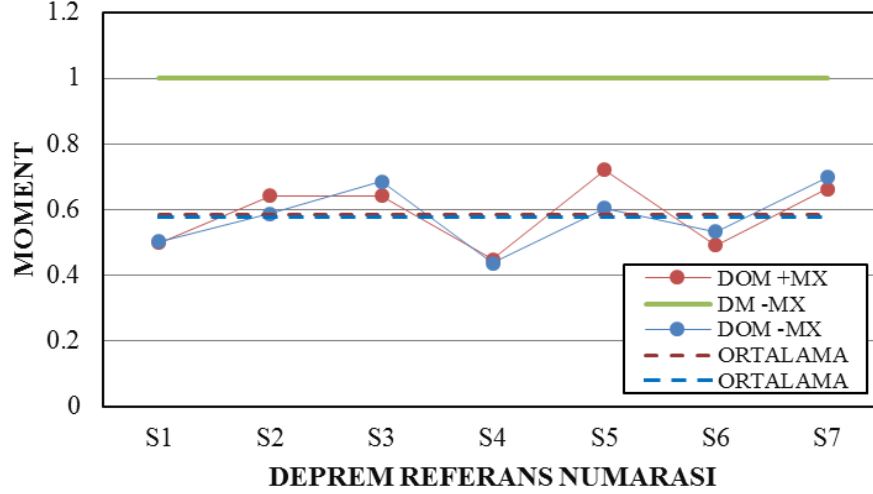
Şekil 5.2 Y : (H2) yönü taban kesme kuvveti karşılaştırması.

5.3 Devrilme Momenti

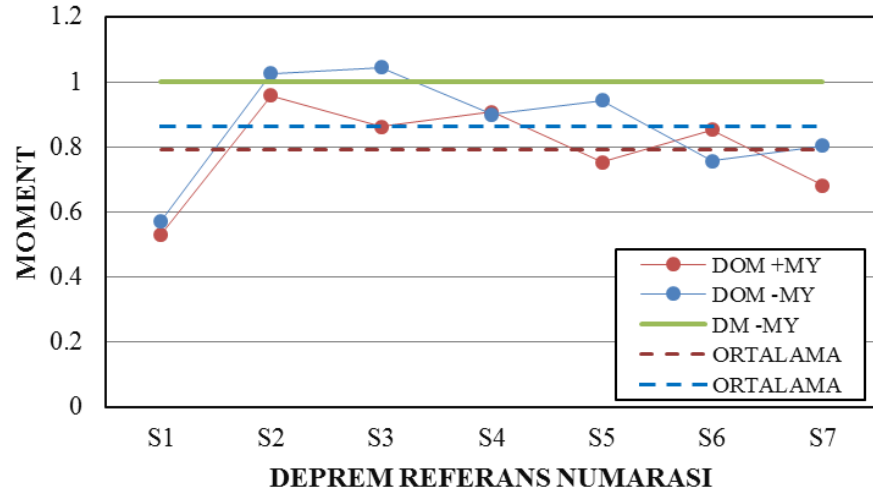
Şekil 5.3’de doğrusal model ile yapılan spektrum analizi ile doğrusal olmayan model ile yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen X (H1) doğrultusu etrafında devrilme momenti değerleri görülmektedir. Grafikteki tüm değerler doğrusal modelde yapılan spektrum analizi sonucunda bulunan devrilme momenti değerine oranlanarak gösterilmiştir. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen devrilme momentlerinin ortalaması, eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değer arasında yaklaşık %40 fark olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 5.4’de doğrusal model ile yapılan spektrum analizi ile doğrusal olmayan model ile yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen Y (H2) doğrultusu etrafında

devrilme momenti değerleri görülmektedir. Grafikteki tüm değerler doğrusal modelde yapılan spektrum analizi sonucunda bulunan devrilme momenti değerine oranlanarak gösterilmiştir. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen devrilme momentlerinin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değer arasında yaklaşık %20 fark gözlemlenmiştir.



Şekil 5.3 : X (H1) doğrultusu etrafında devrilme momenti karşılaştırması.



Şekil 5.4 : Y (H2) doğrultusu etrafında devrilme momenti karşılaştırması.

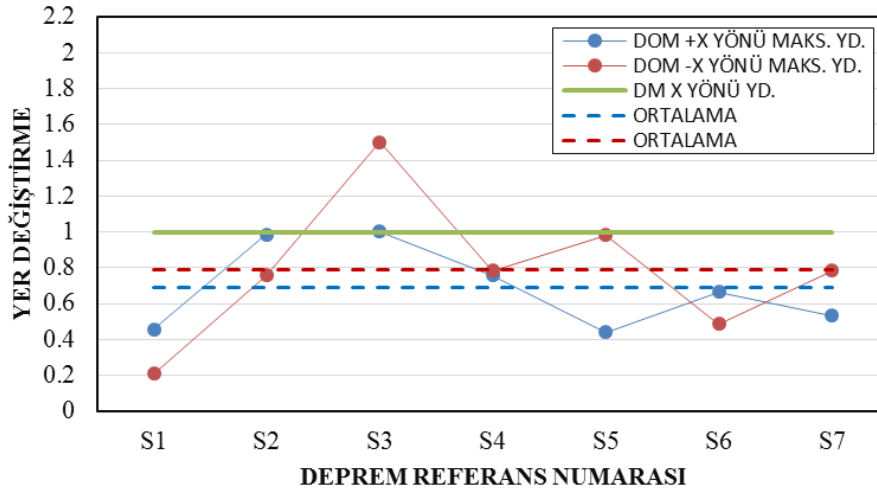
5.4 Yer Değiştirme

Yer değiştirme karşılaştırması yapının çatı seviyesinde birer adet köşe kolon ve perde duvar uç noktası için yapılmıştır. Yapılan iki karşılaştırma yakın sonuç verdiği için, sadece kolon uç noktası için elde edilen değerler bu bölümde gösterilmiştir.

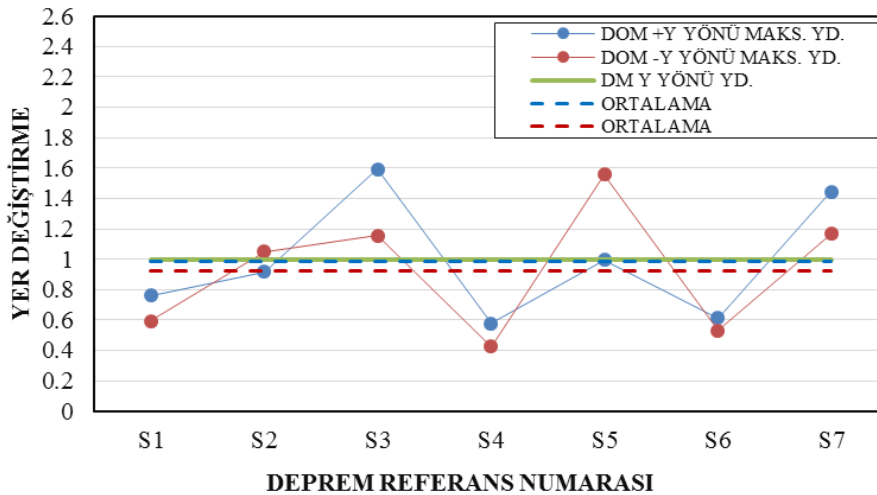
Şekil 5.5’de doğrusal model ile yapılan spektrum analizi ile doğrusal olmayan model ile yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen X (H1) yönünde yer

değiştirme değerleri görülmektedir. Grafikteki tüm değerler doğrusal modelde yapılan spektrum analizi sonucunda bulunan yer değiştirme değerine oranlanarak gösterilmiştir. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen yer değiştirme değerlerinin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değer arasında yaklaşık %20-%30 fark gözlemlenmiştir.

Şekil 5.6'de doğrusal model ile yapılan spektrum analizi ile doğrusal olmayan model ile yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen Y (H2) yönünde yer değiştirme değerleri görülmektedir. Grafikteki tüm değerler doğrusal modelde yapılan spektrum analizi sonucunda bulunan yer değiştirme değerine oranlanarak gösterilmiştir. Doğrusal olmayan çözümleme sonucu elde edilen yer değiştirme değerlerinin ortalaması ile eşdeğer sönüm kullanılan doğrusal çözümleme sonucu elde edilen değer arasında yaklaşık %2-%8 fark gözlemlenmiştir.



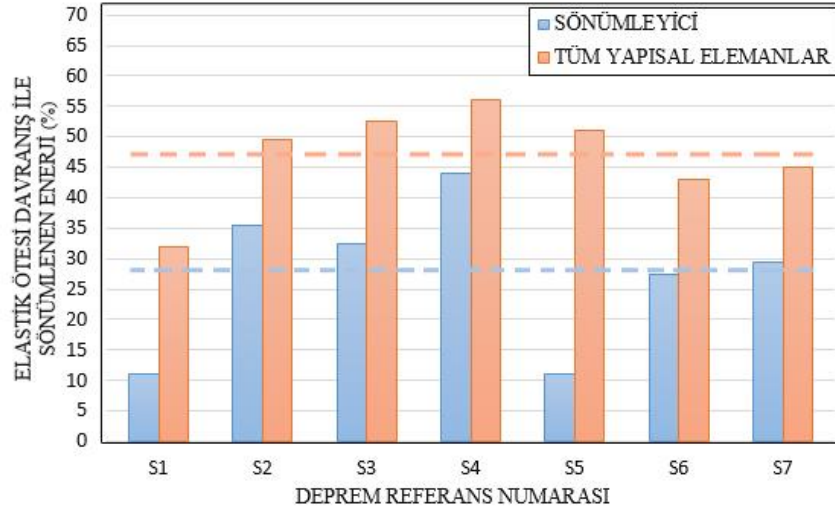
Şekil 5.5 : X yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme karşılaştırması.



Şekil 5.6 : Y yönünde kolon uç noktası için yer değiştirme karşılaştırması.

5.5 Elastik Ötesi Davranış Sonucu Sönümlenen Enerji Miktarı

İncelenen yapıya etkiyen deprem kuvvetleri sonucu oluşan enerji girişinin, tüm yapısal elemanların ve sadece yapıdaki sönümleyici cihazların elastik ötesi davranışları sonucu sönümlenen kısmı Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi ortalama olarak, yapıda lineer ötesi davranış ile sönümlenen enerjinin yaklaşık yarısının sönümleyiciler diğer yarısının ise diğer yapısal elemanlar tarafından sönümlendiği görülmektedir.



Şekil 5.7 : Yapısal elemanların ve sönümleyici cihazların elastik ötesi davranışları sonucu sönümlenen sönümlenen enerji miktarı.

5.6 Sayısal Sonuçlar

Bu kısımda, bir önceki bölümde grafikler yardımı ile yapılan karşılaştırmaların detaylı sayısal sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 5.1 doğrusal analiz sonuçlarını, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4 doğrusal olmayan analiz sonuçlarını ve Çizelge 5.5, Çizelge 5.6, Çizelge 5.7 doğrusal olmayan analiz sonuçlarının doğrusal analiz sonuçlarına oranını göstermektedir.

Çizelge 5.1 : Doğrusal analiz sonucu elde edilen değerler.

DOĞRUSAL ANALİZ SONUÇLARI		
X DOĞRULTUSU	Taban Kesme Kuvveti	68817
SPEKTRUM	Devrilme Momenti	3186712
ANALİZİ	Yer değiştirme	1.14
Y DOĞRULTUSU	Taban Kesme Kuvveti	135893
SPEKTRUM	Devrilme Momenti	7882782
ANALİZİ	Yer Değiştirme	1.30

*Birimler kN, kNm, m

Çizelge 5.2 : Doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetleri.

DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ SONUÇLARI				
TABAN KESME KUVVETİ				
DEPREM REFERANS NUMARASI	H1+	H1-	H2+	H2-
S1	58937	43719	142160	141260
S2	39790	33597	92886	109010
S3	39026	66529	92324	131990
S4	48543	62699	88907	68728
S5	37886	45342	95705	76511
S6	51414	71093	129470	105810
S7	48101	67248	106080	62591
ARİTMETİK ORT.	46242	55747	106790	99414

*Birim kN

Çizelge 5.3 : Doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen devrilme momenti değerleri.

DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ SONUÇLARI				
DEVİRİLMİ MOMENTİ				
DEPREM REFERANS NUMARASI	MX+	MX-	MY+	MY-
S1	3929000	3965600	1694700	1827500
S2	5064400	4633000	3053900	3273400
S3	5056500	5397300	2750600	3328700
S4	3533700	3437200	2894600	2870900
S5	5680400	4756600	2404500	3009200
S6	3868400	4203900	2717000	2413400
S7	5216000	5502400	2175400	2566200
ARİTMETİK ORT.	4621200	4556571	2527243	2755614

*Birim kNm

Çizelge 5.4 : Doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen kolon uç noktası yer değiştirme değerleri.

DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ SONUÇLARI				
YER DEĞİŞTİRME				
DEPREM REFERANS NUMARASI	H1+	H1-	H2+	H2-
S1	0.52	0.24	0.76	0.59
S2	1.13	0.86	0.92	1.05
S3	1.14	1.71	1.59	1.15
S4	0.86	0.89	0.58	0.42
S5	0.50	1.12	1.00	1.56
S6	0.76	0.56	0.61	0.53
S7	0.61	0.89	1.44	1.17
ARİTMETİK ORT.	0.79	0.90	0.99	0.92

*Birim m

Çizelge 5.5 : Taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.

DEPREM REFERANS NUMARASI	TABAN KESME KUVVETİ			
	<u>D.O.M. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUCU</u>			
	D.M. SPEKTRUM ANALİZİ SONUCU			
	H1+	H1-	H2+	H2-
S1	0.86	0.64	1.05	1.04
S2	0.58	0.49	0.68	0.80
S3	0.57	0.97	0.68	0.97
S4	0.71	0.91	0.65	0.51
S5	0.55	0.66	0.70	0.56
S6	0.75	1.03	0.95	0.78
S7	0.70	0.98	0.78	0.46
ARİTMETİK ORT.	0.67	0.81	0.79	0.73

Çizelge 5.6 : Devrilme momentleri karşılaştırması.

DEPREM REFERANS NUMARASI	DEVİRİLMİ MOMENTİ			
	<u>D.O.M. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUCU</u>			
	D.M. SPEKTRUM ANALİZİ SONUCU			
	MX+	MX-	MY+	MY-
S1	0.50	0.50	0.53	0.57
S2	0.64	0.59	0.96	1.03
S3	0.64	0.68	0.86	1.04
S4	0.45	0.44	0.91	0.90
S5	0.72	0.60	0.75	0.94
S6	0.49	0.53	0.85	0.76
S7	0.66	0.70	0.68	0.81
ARİTMETİK ORT.	0.59	0.58	0.79	0.86

Çizelge 5.7 : Kolon uç noktası yer değiştirmesi karşılaştırması.

DEPREM REFERANS NUMARASI	YER DEĞİŞTİRME			
	<u>D.O.M. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUCU</u>			
	D.M. SPEKTRUM ANALİZİ SONUCU			
	H1+	H1-	H2+	H2-
S1	0.46	0.21	0.76	0.59
S2	0.99	0.76	0.92	1.05
S3	1.00	1.50	1.59	1.15
S4	0.76	0.78	0.58	0.42
S5	0.44	0.98	1.00	1.56
S6	0.66	0.49	0.61	0.53
S7	0.53	0.78	1.44	1.17
ARİTMETİK ORT.	0.69	0.79	0.99	0.92

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bağ kiriş sönümleyicili yüksek bir yapının eş değer sönüm hesabı için kullanılan iki ayrı yöntem incelenmiştir. Kullanılan yöntemler sonucu elde edilen sönüm değeri ile doğrusal analizler yapılarak elde edilen sonuçlar, doğrusal olmayan analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve eşdeğer sönüm yöntemlerinin doğruluğu araştırılmıştır.

- Her iki eşdeğer sönüm hesap metodu (ASCE/FEMA yaklaşımı ve Modal Şekil Değiştirme Enerjisi Metodu) kullanılarak gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen eşdeğer toplam sönüm miktarları birbirleri ile oldukça yakın çıkmıştır. Dolayısıyla ön tasarım aşamasında, iki yöntem birbirinin alternatifi olarak kullanılabilir.
- Eşdeğer sönümlenme kullanılarak yapılan spektrum analizi sonuçlarının zaman tanım alanında, yapının doğrusal, sönümleyicilerin doğrusal olmadığı model için yapılan analiz sonuçlarından
 - Taban kesmesi için %20 mertebelerinde daha büyük olduğu
 - Devrilme momenti ve çatı katı kolon uç yer değiştirmeleri için ise %5-%10 mertebelerinde daha büyük olduğu görülmüştür.

Bu farkların mühendislik pratiği için kabul edilebilir farklar olduğu düşünülmektedir.

- Doğrusal olmayan modeller ile yapılan çalışmalarda tasarlanan yapının oldukça düşük seviyelerde doğrusal olmayan davranış gösterdiği görülmüştür.
- Doğrusal olmayan yapısal istemlerin doğrusal istemlerden yaklaşık 0.6-0.8 oranlarında daha küçük olduğu 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.

- Kullanılan sürtünme tipi sönümleyicilerin yüksek modlar etkisindeki katkıları ihmal edilmiştir. Konunun bir adım daha ileriye götürülmesi amacıyla yapılacak çalışmalarda, incelenecek taşıyıcı sistemin yüksek modları iinde eş değer sönüm değerleri hesaplanıp bu durumun etkileri araştırılabilir.
- Bu alışma kapsamında incelenen yapısal taşıyıcı sistem, deprem etkisi altında son derece rijit bir davranış göstermektedir. Efektif sönüm yöntemleri standart performanslı bir yapı iin ayrıca incelenmelidir.
- İncelenen yapıdaki her katta kullanılan sürtünme tipi sönümleyiciler iin farklı düzenlemeler denenerek (rn. en çok yer değiştirme yapan bağ kirişlerinde sönümleyici kullanılması), elde edilen sonular karşılaştırılabilir ve en etkin sönümleyici sayısı ve yeri belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- Cardenas, A. and Magura, D.**, “Strength of High-Rise Shear Walls— Rectangular Cross Section,” Response of Multi-story Concrete Structures to Lateral Forces, *ACI Publication SP-36*, American Concrete Institute, 1973.
- Christopoulos, C., Filiatrault, A.** (2006). Principles of Passive Supplemental Damping and Seismic Isolation, IUSS Press, Pavia, Italy.
- Chopra, A.K.**, (2000) Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- Chung, H. S., Moon, B. W., Lee, S. K. and Park, J. H.** (2009). Seismic performance of friction dampers using flexure of RC shear wall system. *The Structural Design of Tall and Special Buildings* 18:7,807-822.
- Derecho AT, Iqbal M & Corley WG** (1980). “Determining design force levels for earthquake-resistant reinforced concrete structural walls.” *7th World Conference on Earthquake Engineering*, Istanbul, Turkey, Vol. 5
- DBYBHY.** Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik 2007, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- El-Tawil, S., Harries, K., Fortney, P., Shahrooz, B., and Kurama, Y.** (2010). ”Seismic Design of Hybrid Coupled Wall Systems: State of the Art.” *J. Struct. Eng.*, 136(7), 755–769.
- 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 Ölçeklendirilmesi için Basitleştirilmiş Bir Yöntem.” 8. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 11-14 Mayıs, 2015, İstanbul, Türkiye.

- FEMA-450**, (2004). "NEHRP Recommended Provisions and Commentary for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. 2003 Edition." Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- FEMA E-74**, January 2011. Reducing the risks of nonstructural earthquake damage-a practical guide, ATC, California-94065, USA
- Harries, K. A., Mitchell, D., Redwood, R. G., and Cook, W. D.** (1997), "Seismic Design of Coupling Beams - A Case for Mixed Construction." *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 24, No. 3, 448-459.
- Harries KA, Gong B, Shahrooz BM.** 2000. "Behavior and design of reinforced concrete, steel and steel-concrete coupling beams." *Earthquake Spectra* 16(4): 775–799.
- Lehmkuhl, E.** (2002), "Renaissance – A Composite Coupled Shear Wall System." *Proceedings of the 2002 SEAOC Convention*.
- Mayes, R.** (2011). A tale of two earthquakes - EERI/PEER briefing on February 2011 Christchurch NZ earthquake
- Naeim F., (Ed.)**, (2001), The Seismic Design Handbook, 2nd ed. 2001, XIV, 830 p.
- Oosterle, R. G., Fiorato, A. E., Johal, L. S., Carpenter, J. E., Russell, H. G., and Corley, W. G.**, "Earthquake-Resistant Structural Walls—Tests of Isolated Walls." Report to the National Science Foundation, Portland Cement Association, Nov.1976.),
- Oosterle, R. G., Aristizabal-Ochoa, J. D., Fiorato, A. E., Russell, H. G. and Corley, W. G.**, "Earthquake Resistant Structural Walls—Tests of Isolated Walls—Phase II." Report to the National Science Foundation, Portland Cement Association Oct. 1979
- Paulay T.**,(1986), "The Design of Ductile Reinforced Concrete Structural Walls for Earthquake Resistance." *Earthquake Spectra*, Vol2. No.4
- Paulay T. and Priestley, M.J.N.** (1992). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings, Wiley, New York.
- PERFORM-3D**, 2006: Nonlinear Analysis and Performance Assessment of 3D Structures, Computer and Structures Inc. Berkeley, California

Powell, G., 2006a. Perform-3D User Guide, Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley- California

Ramirez O.M., Michael C. Constantinou, Juan D. Gomez, Andrew S. Whittaker, and Christis Z. Chrysostomou (2002a). "Evaluation of Simplified Methods of Analysis of Yielding Structures with Damping Systems." *Earthquake Spectra*, 18:3, 501-530.

Ramirez O.M., Michael C. Constantinou, Andrew S. Whittaker, Charles A. Kircher, and Christis Z. Chrysostomou (2002b). "Elastic and Inelastic Seismic Response of Buildings with Damping Systems." *Earthquake Spectra*, 18:3, 531-547.

Whittaker A.S., Michael C. Constantinou, Oscar M. Ramirez, Martin W. Johnson, and Christis Z. Chrysostomou (2003). "Equivalent Lateral Force and Modal Analysis Procedures of the 2000 NEHRP Provisions for Buildings with Damping Systems." *Earthquake Spectra*, 19:4, 959-980

EKLER

EK A: Doğrusal olmayan analiz sonuçları

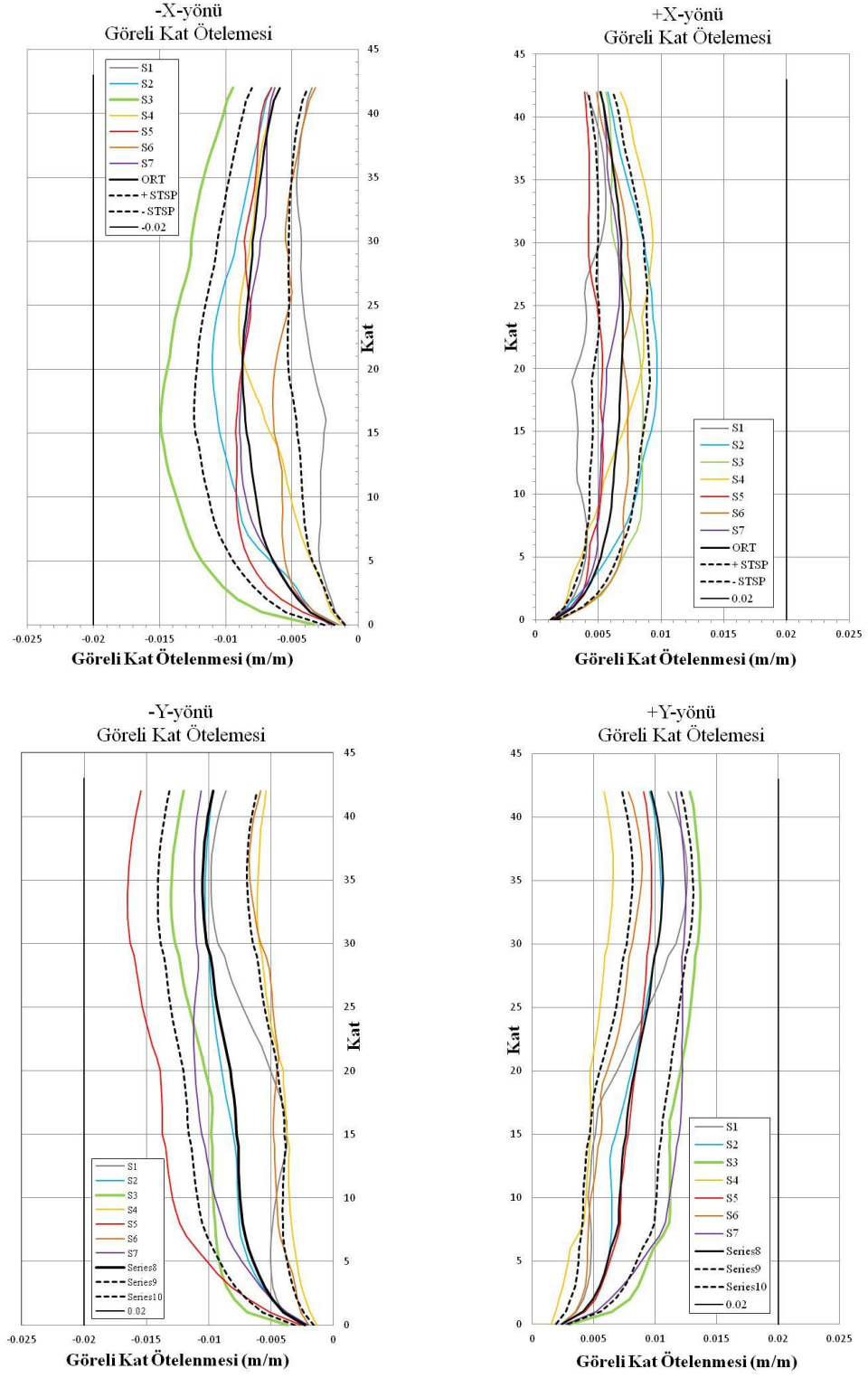
EK B: Hesaplar

EK B.1 : Kompozit Kolon Tasarımı

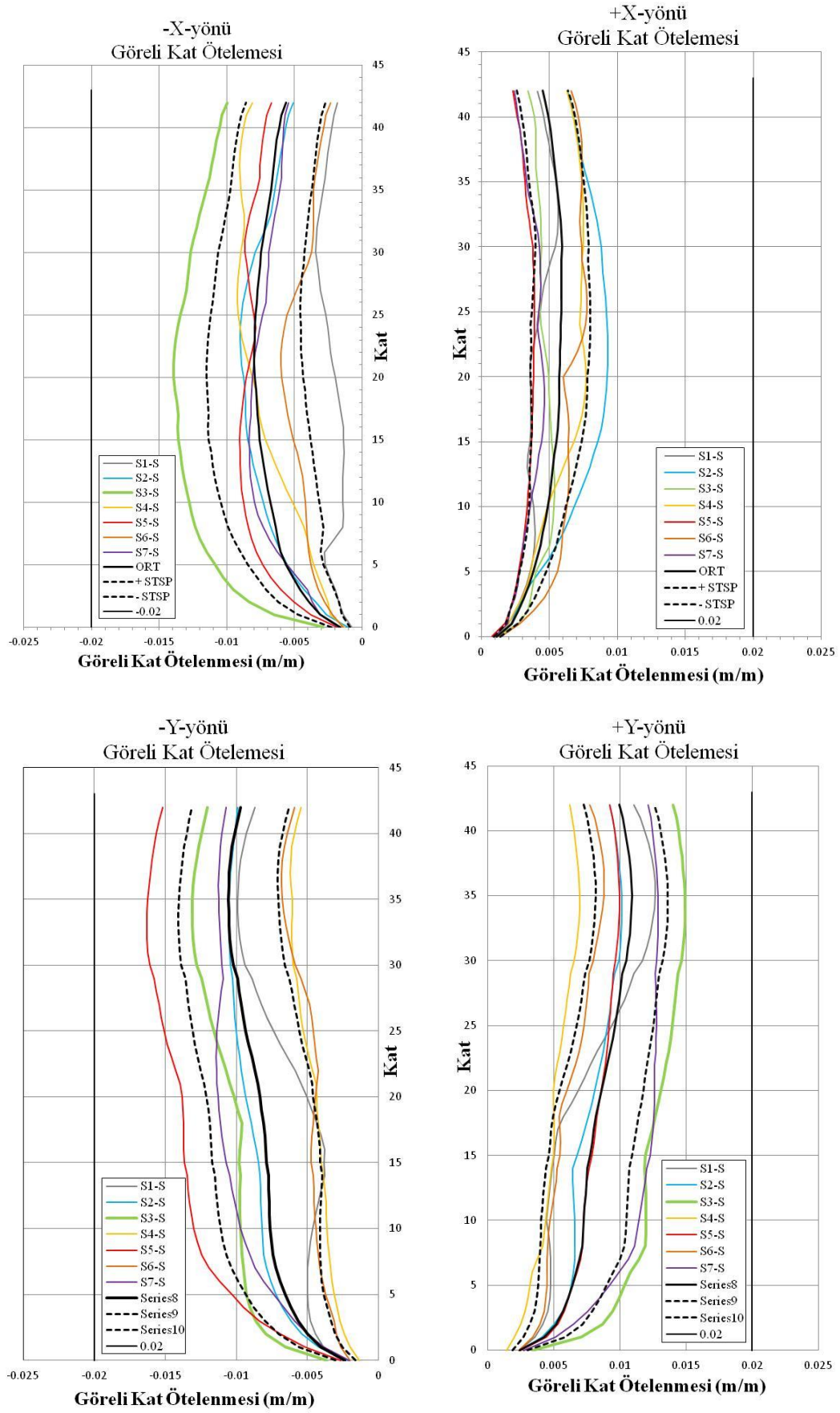
EK B.2 : Çelik Bağ Kirişleri

EK B.3 :Perde Duvar Fiber Kesiti

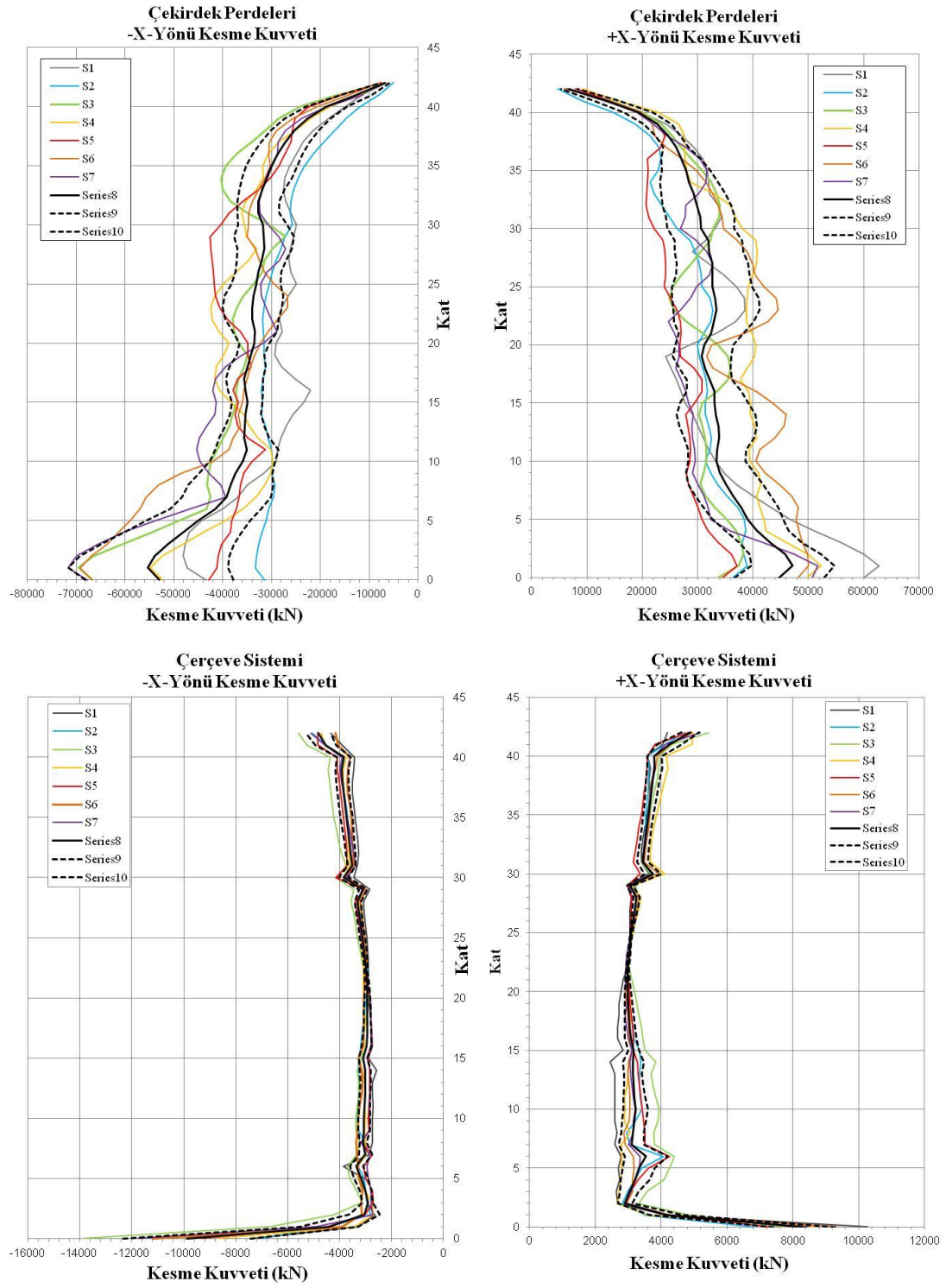
EK A



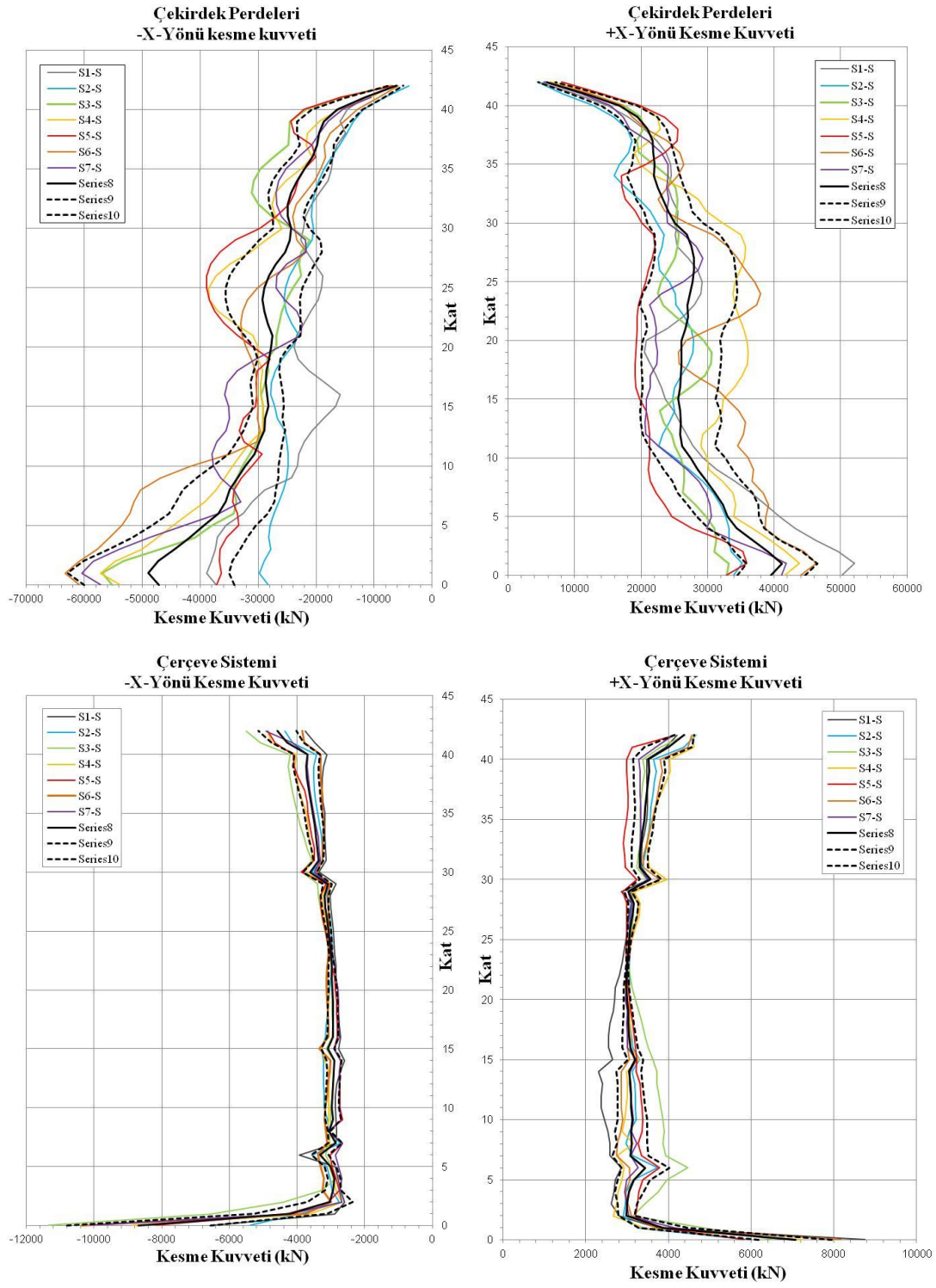
Şekil A.1 : Görel kat ötelenmeleri.



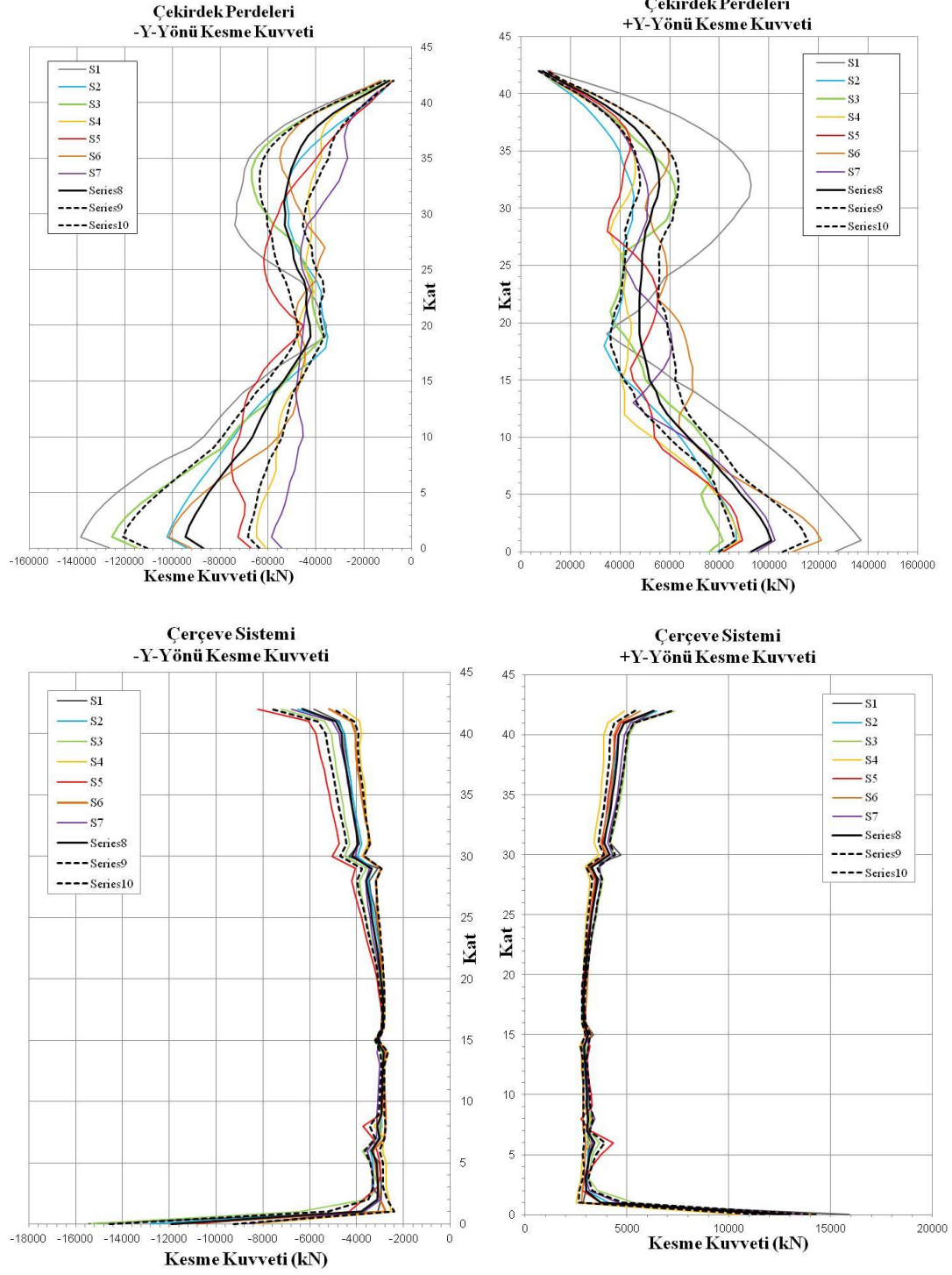
Şekil A.2 : Sönümleyicili model için görel kat ötelenmeleri.



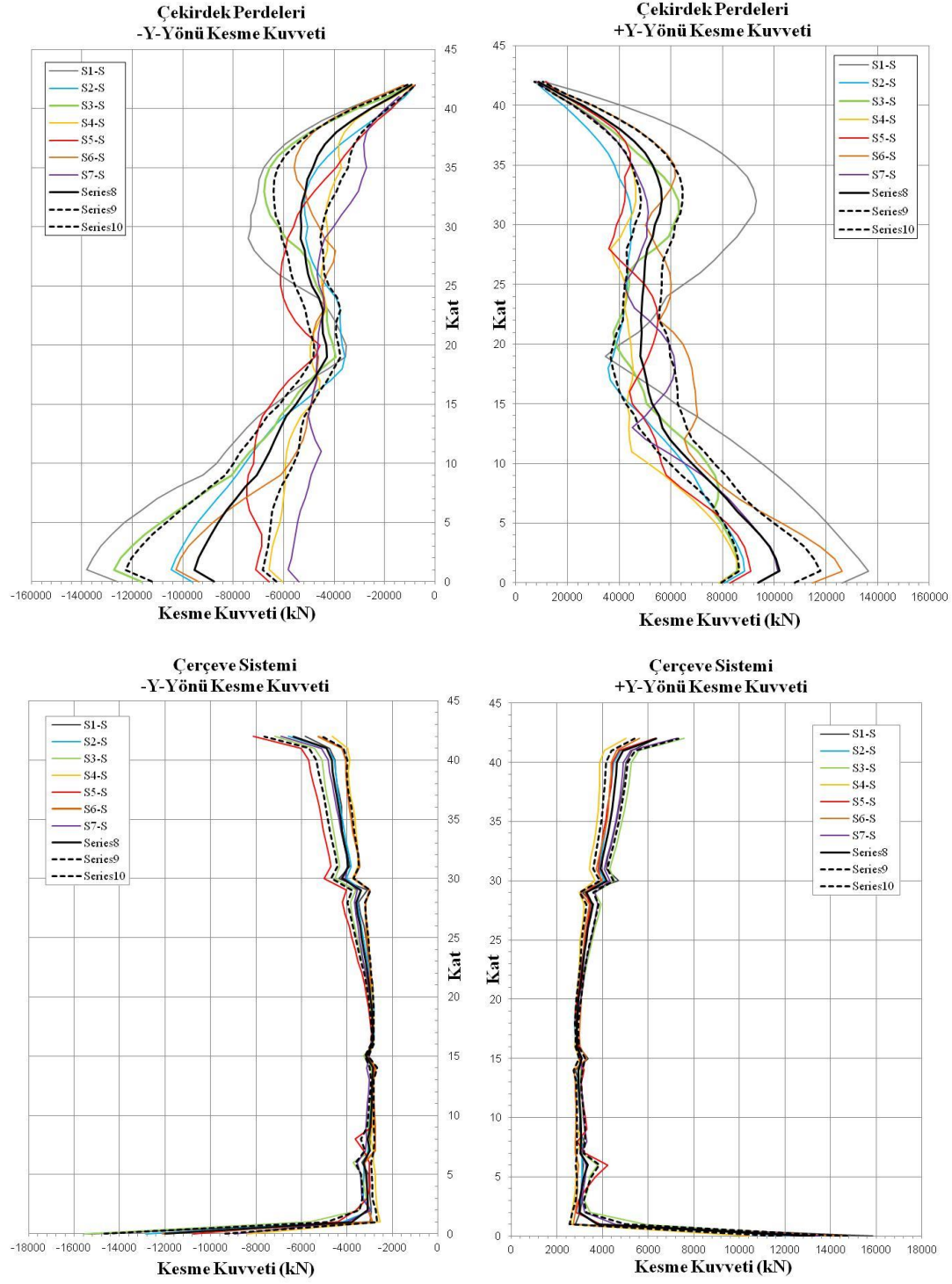
Şekil A.3 : Kat kesme kuvvetleri (H1 doğrultusu).



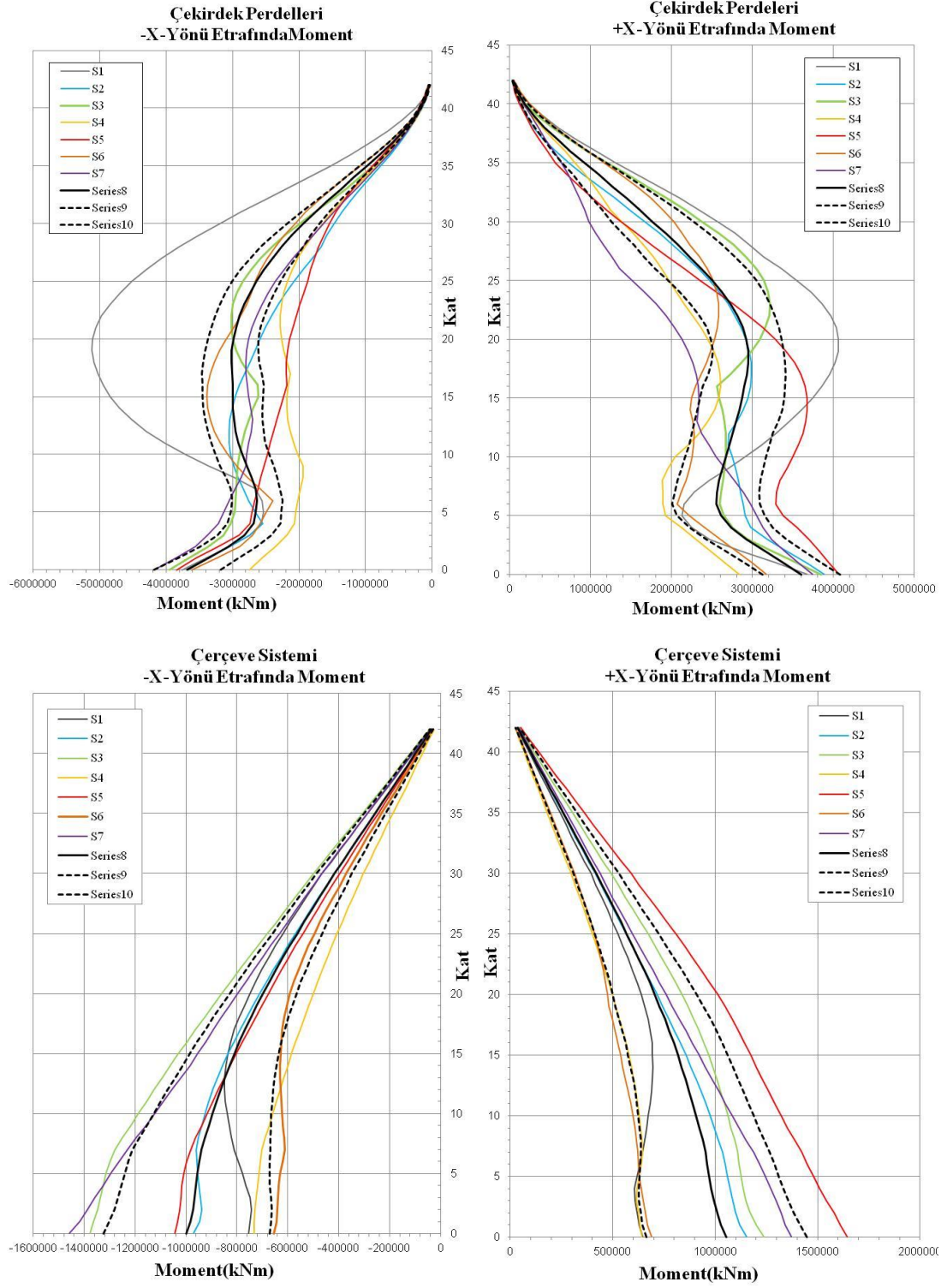
Şekil A.4 : Sönümleyicili sistemde kat kesme kuvvetleri (H1 Doğrultusu).



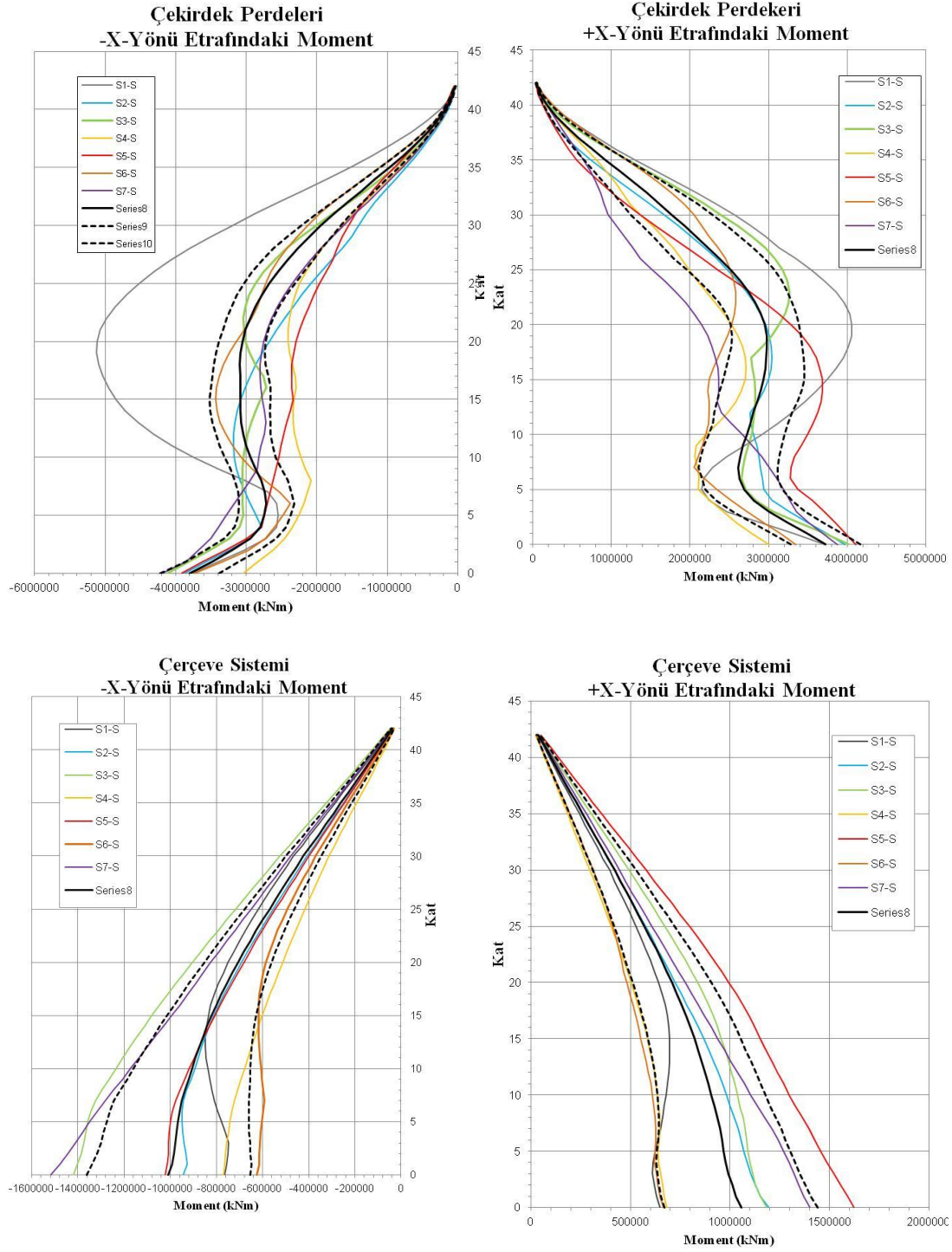
Şekil A.5 : Kat kesme kuvvetleri (H2 doğrultusu).



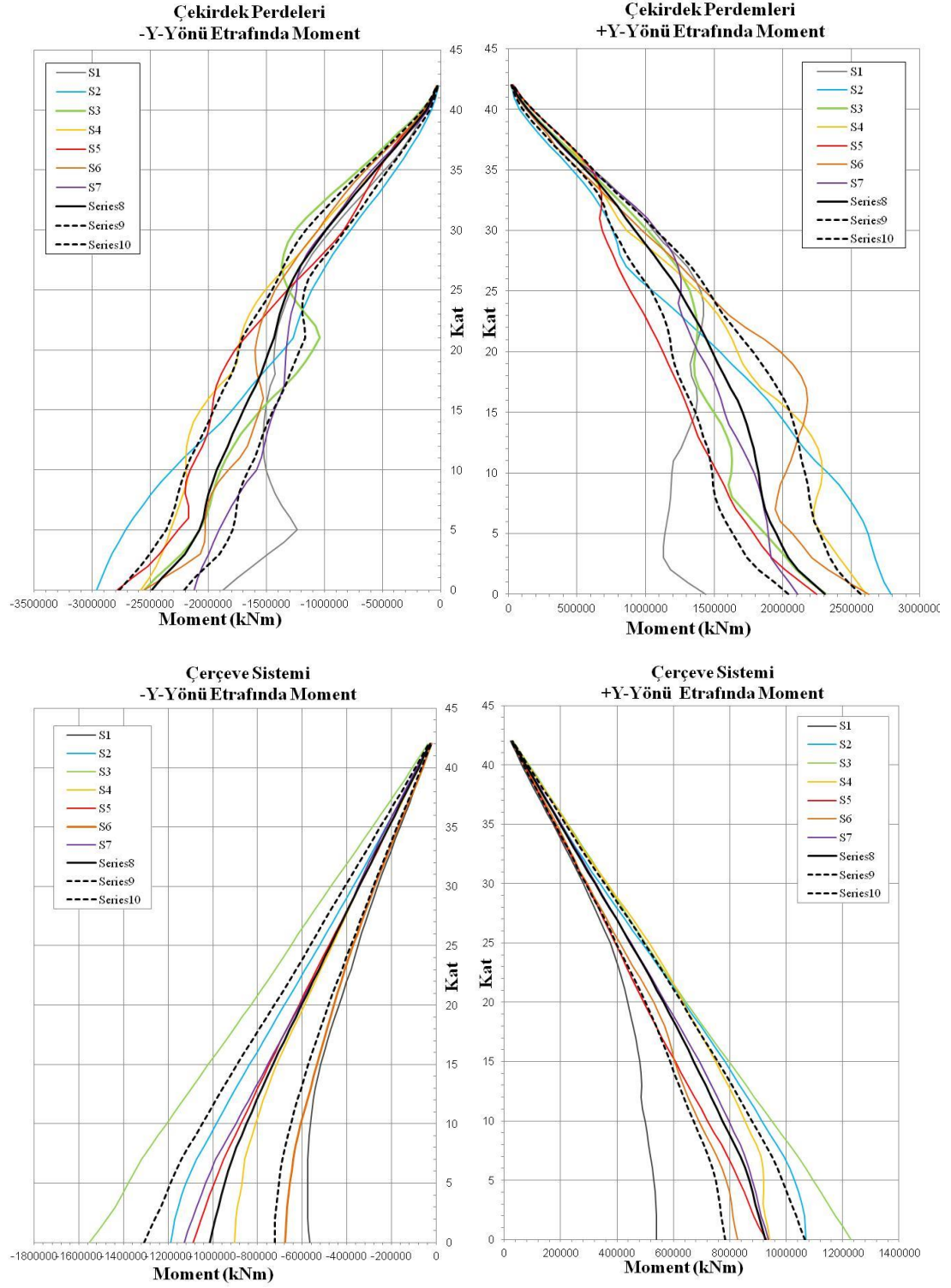
Şekil A.6 : Sönümleyicili sistemde kat kesme kuvvetleri (H2 doğrultusu).



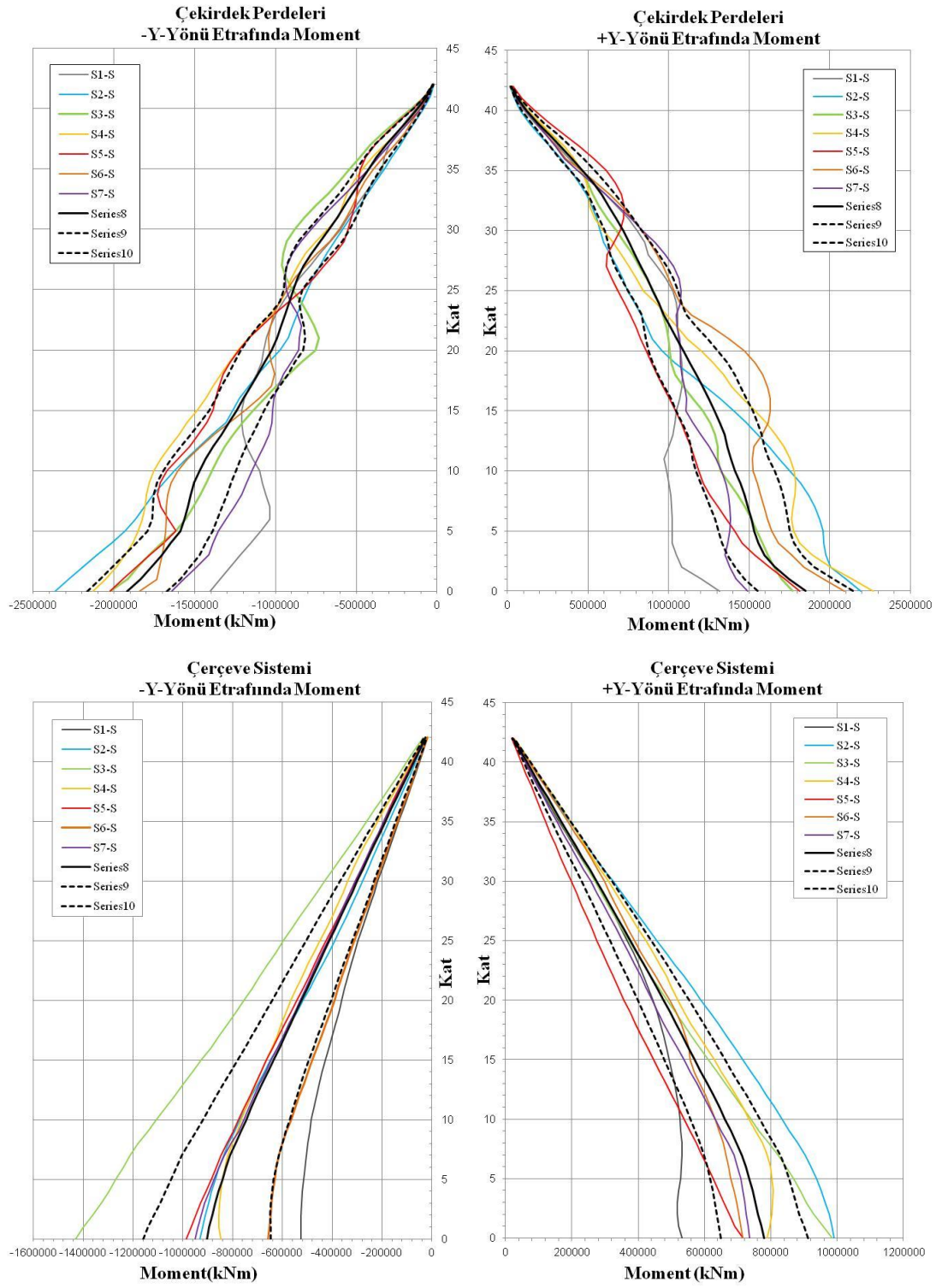
Şekil A.7 : Moment değerleri (H1 etrafında).



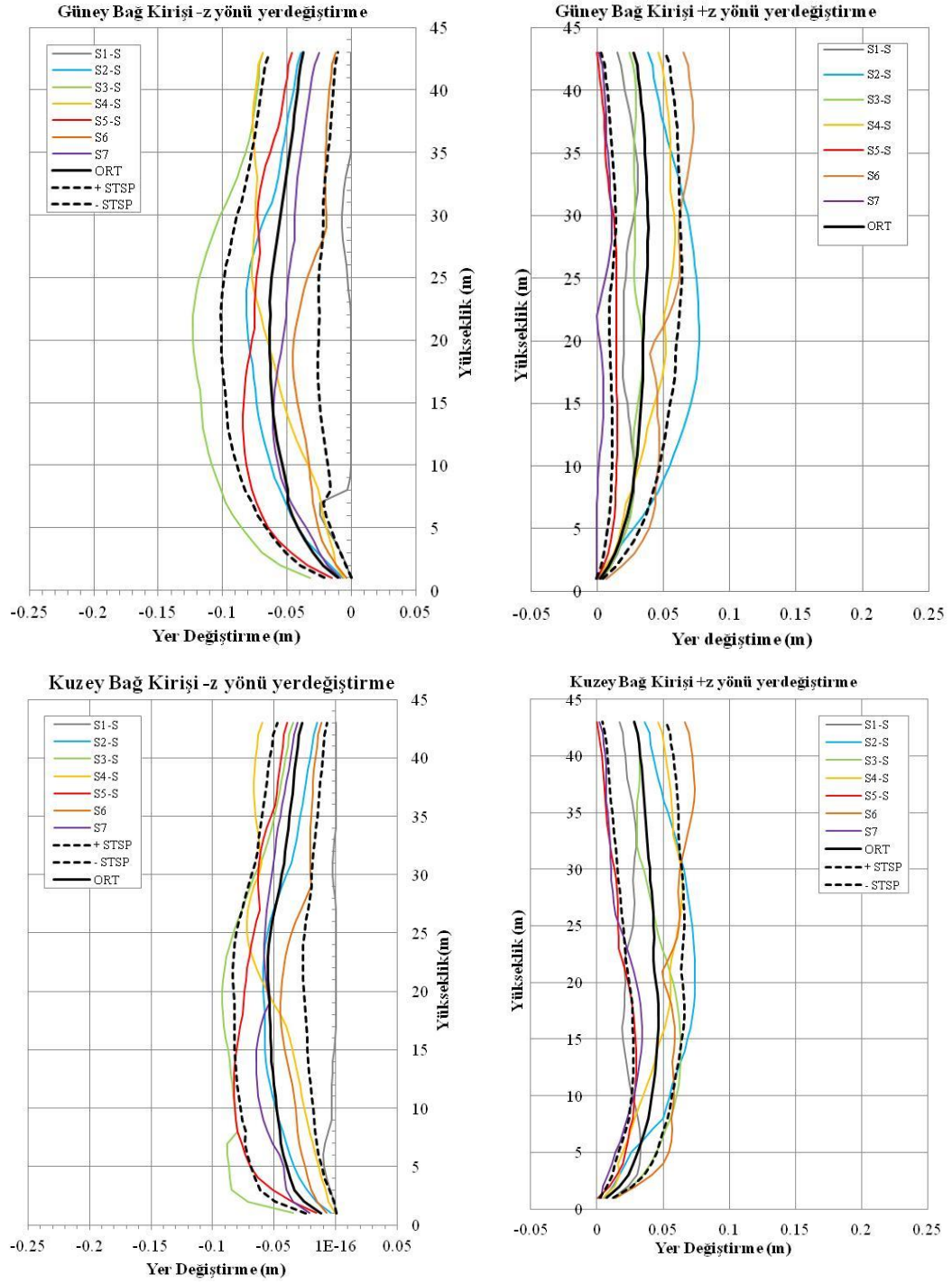
Şekil A.8 : Sönümleyicili sistemde moment değerleri (H1 etrafında).



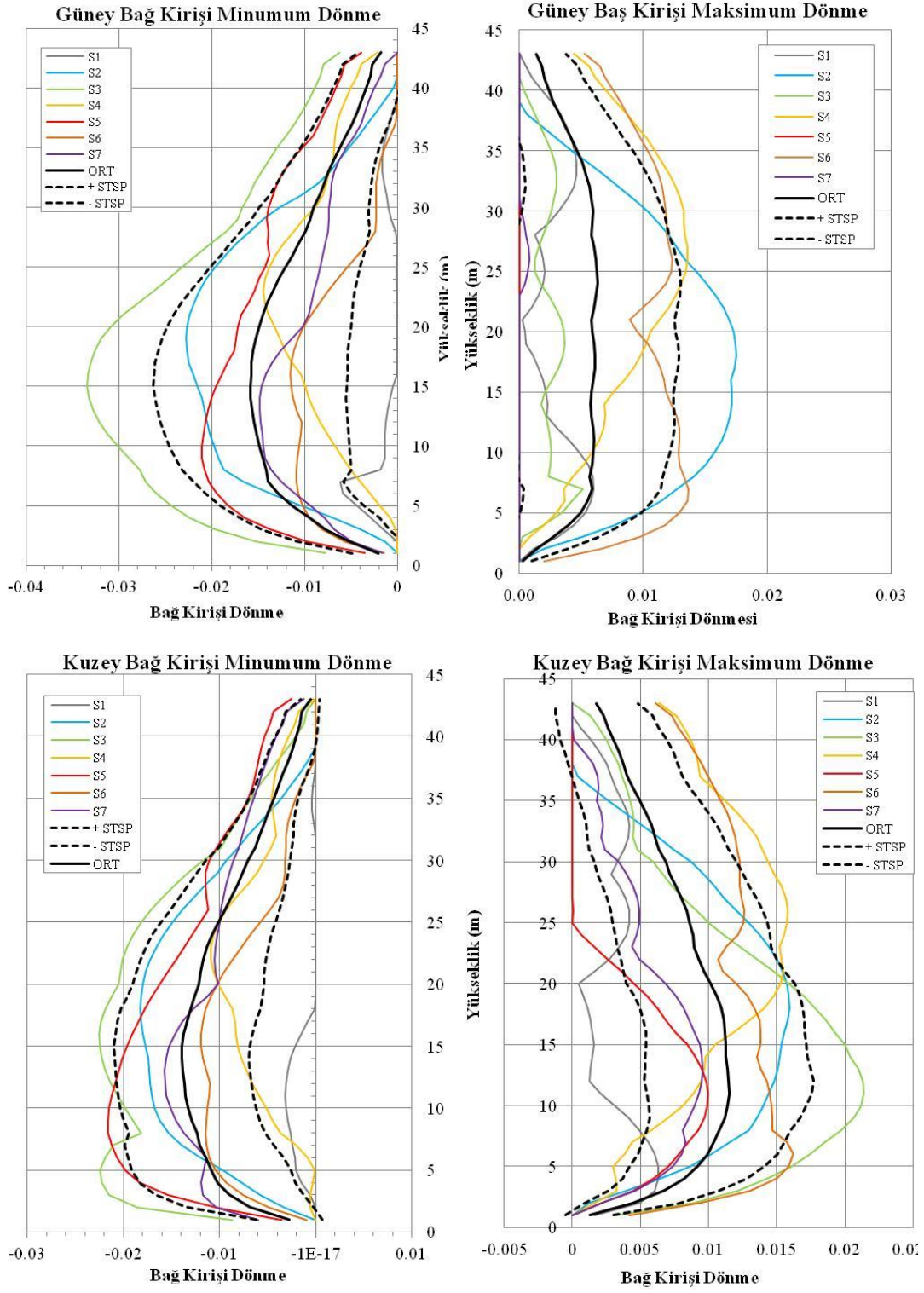
Şekil A.9 : Moment değerleri (H2 etrafında).



Şekil A.10 : Sönümleyicili sistemde moment değerleri (H2 etrafında).



Şekil A.11 : Sürtünme tipi sönümleyicinin yaptığı düşey yer değiştirme.



Şekil A.12 : Bağ kirişlerindeki plastik mafsalların dönme miktarı.

EK B

EK B.1 : Kompozit Kolon Tasarımı

A Noktasında;

Uzunluk etkisi dikkate alınmadan kolon kapasitesi hesabı:

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

Uzunluk etkisi dikkate alınmadan kolon kapasitesi hesabı:

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

D Noktasında;

$$\begin{aligned}P_D &= \frac{0,85 \cdot f_c \cdot A_c}{2} = \frac{0,85 \cdot 58,5 \text{ MPa} \cdot 662642 \text{ mm}^2}{2} \\P_D &= 16475 \text{ kN}\end{aligned}$$

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

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

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

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

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

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

B 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_x

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

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

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

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

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

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

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

EK B.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

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

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

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

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

$$\left. \begin{aligned} \frac{b_f}{2 * t_f} &= 3,812 < \frac{52}{\sqrt{F_{yexp}}} = 7,009 \\ \frac{h}{t_w} &= 28 < \frac{418}{\sqrt{F_{yexp}}} = 56,34 \end{aligned} \right\} \text{FEMA356 Table 5-6: Beam} \rightarrow a$$

$$\frac{1,6*M_{CE}}{V_{CE}} = 2,09 \text{ m}$$

$$\frac{2,6*M_{CE}}{V_{CE}} = 3,39 \text{ m}$$

Çizelge B.2.1 : Plastik dönme açıları ve artık dayanım oranı

e (m)	2,09	3	3,39
a=θ _p -θ _y	0,15	0,0803	0,00504
b	0,17	0,094	0,0616
c	0,8	0,66	0,6

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 Dayanım

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

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

Çizelge B.2.2 : Çelik bağ kirişi için performans seviyeleri

e (m)	2,09	3	3,39
MN	0,005	0,0054	0,0056
GV	0,11	0,0565	0,0336
GÇ	0,14	0,0734	0,0448

EK B.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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Muhammet Emre ERDEMLİ

Doğum Yeri ve Tarihi: 11/03/1989 İSTANBUL

E-Posta: emreerdemli@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi- İnşaat Mühendisliği (2012)

İstanbul Teknik Üniversitesi- Mimarlık (2013)

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

ARUP- Yapısal Tasarım Mühendisi (2014-)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Erdemli, M.E., Erkus, B. (2015). “Sönümleyiciler ile Bağlı Betonarme Perde Duvarlı Yüksek Yapılarda Eşdeğer Sönümleme 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.