

T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
DEPREM RİSKLİ YAPILAR VE KENTSEL DÖNÜŞÜM

**ÖZEL ÇELİK ÇAPRAZLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ  
BETONARME ÇERÇEVE SİSTEMİN DEPREM  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan: **Burak ADAK**

İstanbul, 2017

T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
DEPREM RİSKLİ YAPILAR VE KENTSEL DÖNÜŞÜM

**ÖZEL ÇELİK ÇAPRAZLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ  
BETONARME ÇERÇEVE SİSTEMİN DEPREM  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan:

**Burak ADAK**

Öğrenci No:

140868002

Danışman:

Yrd. Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK

İstanbul, 2017

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Projesi Olarak Sunduğum “ÖZEL ÇELİK ÇAPRAZLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME ÇERÇEVE SİSTEMİN DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullandıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım. 19/04/2017



Aday: **Burak ADAK**

T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ SAVUNMA SINAVI SONUÇ TUTANAĞI

**Beykent Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,**


Aşağıda tez adı belirtilen yüksek lisans öğrencisi 140868002 no'lu Burak ADAK'ın 19/04/2017 tarihinde yapılan tez savunma sınavı<sup>1</sup> sonucunda 45 dakika süreyle sunduğu ve savunduğu tezi hakkında<sup>2</sup> oybirliğiyle, KABUL kararı verilmiştir.

Bilgilerinize saygılarımızla arz ederiz.

---

**Anabilim Dalı** : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
**Programı** : DEPREM RİSKLİ YAPILAR VE KENTSEL DÖNÜŞÜM PROGRAMI  
**Tez Başlığı<sup>3</sup>** : ÖZEL ÇELİK ÇAPRAZLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME ÇERÇEVE SİSTEMİN DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

---

<u>Tez Sınav Jürisi</u>	<u>Öğretim Üyesi</u>	<u>İmza</u>
<b>Danışman</b>	: Yrd.Doç.Dr. Hasan ÖZKAYNAK	
<b>Üye</b>	: Yrd.Doç.Dr. Ayşe Elif ÖZSOY ÖZBAY	
<b>Üye</b>	: Yrd.Doç.Dr. Ahmet Anıl DİNDAR	

<sup>1</sup> Jüri üyeleri söz konusu tezin kendilerine teslim edildiği tarihten itibaren en geç bir ay içinde toplanarak öğrenciyi tez savunma sınavına alır. Belirlenen günde yapılamayan jüri toplantısı, katılanların hazırladığı bir tutanakla enstitü yönetimine bildirilir. Bu durumda jüri en geç onbeş gün içinde toplanarak adayı tez savunma sınavına alır. Tez savunma sınav süresi en az 45 dakikadır. Yüksek lisans tez savunma sınavı, tez çalışmasının sunulması ve bunu izleyen soru-yanıt bölümlerinden oluşur ve dinleyiciye açıktır. (Beykent Lisansüstü eğitim ve Öğretim Yönetmeliği-Madde30-3)

<sup>2</sup> Tez sınavının tamamlanmasından sonra jüri, tez hakkında “kabul”, “düzeltme” veya “red” kararı verir. Jüri başkanı, jüri üyelerince imzalanmış sınav tutanağını, tez sınavını izleyen üç gün içinde ilgili enstitü yönetimine teslim eder. Tezi başarısız bulunan öğrencinin Enstitü ile ilişkisi kesilir. Tezi hakkında düzeltme kararı verilen öğrenci en geç üç ay içinde gerekli düzeltmeleri yaparak ve yönetmelikte belirtilen usullere uygun olarak tezini aynı jüri önünde yeniden savunur. Bu savunma sınavında da tezi kabul edilmeyen öğrencinin enstitü ile ilişkisi kesilir. (Beykent Lisansüstü eğitim ve Öğretim Yönetmeliği-Madde30-4)

<sup>3</sup> İleride doğabilecek aksaklıkların engellenmesi için tezin başlığının yazılması gerekmektedir.

## **ÖNSÖZ**

Tez çalışmam esnasında yardımını, desteğini ve bilgisini esirgemeyen tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Hasan ÖZKAYNAK'a, yine tez çalışmam sırasında bana yardımcı olan İnş.Müh. Bayram Metehan AĞCA'ya ve hayatım boyunca bana her konuda maddi ve manevi destek olan, inanan canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İSTANBUL, 2017

Burak ADAK

# ÖZEL ÇELİK ÇAPRAZLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME ÇERÇEVE SİSTEMİN DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

**Tezi Hazırlayan:** Burak ADAK

## Özet

Yeryüzü birçok levha parçalarının birleşiminden oluşan kırılğan bir yapıya sahiptir. Bu levhalar yatay ve düşey eksen boyunca sürekli hareket etmektedirler. Bu hareket sonucunda birbirine yaklaşan veya uzaklaşan levha parçaları arasında bir enerji oluşmaktadır. Levhalar arasında zamanla biriken enerji istemi belli bir düzeye ulaştığı zaman açığa çıkmak isteyecektir. Enerjinin açığa çıkması sonucu deprem adını verdiğimiz doğal afet meydana gelmektedir. Enerji çıkışı esnasında yeryüzünde meydana gelen kırıklara fay denilmektedir.

Ülkemiz, deprem açısından önemli aktif fay hatları üzerinde bulunduğu için yapıların depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi büyük önem arz etmektedir. Geçtiğimiz yıllarda yaşanan depremler sonrasında meydana gelen büyük çapta can ve mal kayıpları, bu konuda önlem almasını zorunlu hale getirmiştir. Depremden sonra güncellenen yönetmeliklerde öngörülen koşullar yeni yapılacak olan yapıların alacağı mühendislik hizmeti kalitesinin artmasını sağlamıştır. Mevcut yapıların yeni yönetmelik şartlarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilerek sağlamayan yapıların yenilenmesi veya güçlendirilmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için kentsel dönüşümü teşvik edici kanunlar çıkarılmıştır.

Tezin ilk bölümünde konuya giriş, çalışmanın amacı, çalışmaya esas olan terimlerin açıklanması ve yapıyla olan ilişkisi anlatılmıştır.

İkinci bölümde; çalışmada kullanılan tipik yapının özellikleri, hesap modeli, yüklemeler ve modellemede kullanılan program hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde; lineer olmayan analizler sonucunda mevcut yapı ile ilgili veriler toplanmıştır. Güçlendirmenin yapılmadığı yalın durum ve güçlendirmiş durum için elde edilen yerdeğiştirme, kat ötelemeleri ve kat kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Yapı modeli için kırılma eğrileri oluşturulmuştur. Kırılma eğrilerinin elde edilmesinde kullanılan yöntem hakkında bilgi verilmiştir. Kırılma eğrilerine ait analitik sonuçların yalın durum ve güçlendirilmiş durum için karşılaştırılması yapılmıştır.

Son bölümde; çalışmanın sonuçlarına yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güçlendirme, Kırılma Eğrileri, Deprem Performansı

# **EARTHQUAKE BEHAVIOR OF RC FRAMES RETROFITTED WITH SPECIAL STEEL BRACES**

**Presented by: Burak ADAK**

## **Abstract**

The earth has a fragile structure consisting of a combination of many plate fragments. These plates move continuously along the horizontal and vertical axis. As a result of this movement, energy is imparted between the pieces of the plate coming together or departing from each other. The energy that accumulates between these plates will discharge as it reaches a certain level. Fractures that occur on the earth during the energy output are called faults.

Our country is located on highly active fault lines in terms of earthquake, it is very important to construct earthquake resistant structures against the seismic events. Earthquakes in the past years caused large-scale loss of life and structures made it necessary to take precautions. The regulations of updated codes enforced the quality of engineering service to account for the design of new structures. It is proposed that the existing structures should be renewed or strengthened to ensure that they could meet the requirements of the seismic codes. Accordingly, laws encouraging the urban transformation have been placed.

In the first part of the thesis, introduction to the subject, purpose of the study, explanation of the factors that are essential for the study and the relationship with the structure are explained.

In the second chapter; the system information that constitutes the type used in the study, the account model, the loads, and the program used in the model.



In the third chapter; nonlinear analysis results were collected for the current structure. The displacements, storey drifts and storey shear forces results compared for bare condition and braced condition. Fragility curves have been obtained for the building model. Information about the method used to obtain the fragility curves is given. The analytical results of the fragility curves were compared for bare condition and braced condition.

In the last section; the overall results of the study were included.

**Keywords:** Strengthening, Fragility Curves, Earthquake Performance.



## İÇİNDEKİLER

<b>Özet</b> .....	iii
<b>Abstract</b> .....	v
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	xi
<b>DENKLEMLER LİSTESİ</b> .....	xiii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	xiv
<b>1.GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Yerdeğiştirme .....	5
1.2. Görelİ Kat Ötelemesi.....	5
1.3. Kat Kesme Kuvveti .....	5
1.4. Kırılğanlık Eğrileri .....	6
1.4.1. Kırılğanlık Eğrilerinin Oluşturulma Yöntemleri .....	6
<b>2. ÇALIşMADA KULLANILAN YAPININ İNCELENMESİ</b> .....	8
2.1. Giriş .....	8
2.2. Yapı Genel Bilgileri .....	8
2.2.1. Betonarme Çerçeve Sistemi Oluşturan Elemanlar.....	9
2.2.2. Yapı Sisteme Etkiyen Yükler .....	11
2.3. Güçlendirme Yöntemi için Önerilen Analitik Model.....	12
2.4. Çerçeve Sistemin Analitik Modeli .....	16
2.5. Kullanılan Deprem İvme Kayıtları .....	17
<b>3. ANALİZ SONUÇLARI</b> .....	23
3.1. Kat Yerdeğiştirmeleri .....	23
3.2. Görelİ Kat Ötelemeleri .....	26
3.3. Kat Kesme Kuvvetleri .....	29
3.4. 1.Kat Kolonların Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması .....	32
3.5. Kırılğanlık Eğrileri .....	35

3.5.1. Kırılgnlık Fonksiyonlarının Oluşturulması.....	36
3.5.2. Mevcut Yapı Analiz Sonuçları ve Kırılgnlık Eğrileri.....	38
3.5.3. Analizler Sonucunda Oluşan Maksimum Göreli Kat telemesi Değerleri	39
3.5.4. Hasar Sınıflarına Göre Oluşturulmuş Kırılgnlık Eğrileri.....	42
3.5.4.1. Hemen Kullanım Performans Seviyesi için Kırılgnlık Eğrisi .....	42
3.5.4.2. Can Güvenliği Performans Seviyesi için Kırılgnlık Eğrisi .....	44
3.5.4.3. Göçmenin nlenmesi Performans Seviyesi için Kırılgnlık Eğrisi ..	46
<b>4. SONUÇLAR .....</b>	<b>48</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>50</b>



## TABLolar LİSTESİ

	<b>Sayfa No.</b>
<b>Tablo 1.1:</b> Türkiye’de Magnitüdü 7.0 Üzeri Olan Depremler (1900-2011) .....	1
<b>Tablo 1.2:</b> TDY 2007 Performans Hasar Seviyeleri .....	7
<b>Tablo 2.1:</b> Kolon Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.....	10
<b>Tablo 2.2:</b> Kiriş Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.....	11
<b>Tablo 2.3:</b> Sisteme Etkiyen Düşey Tekil Yükler .....	12
<b>Tablo 2.4:</b> Çelik Eleman için Önerilen Mekanik Özellikler .....	14
<b>Tablo 2.5:</b> Uzak Alan Kayıt Seti için Deprem Olaylarının Özeti .....	18
<b>Tablo 3.1:</b> Yalın ve Güçlendirilmiş Durum için Ortalama Kat Yerdeğiştirmeleri .	25
<b>Tablo 3.2:</b> Yalın ve Güçlendirilmiş Durum için Ortalama Görelî Kat Ötelemeleri .	28
<b>Tablo 3.3:</b> Yalın ve Güçlendirilmiş Durum için Ortalama Kat Kesme Kuvvetleri ..	31
<b>Tablo 3.4:</b> Güçlendirme Sonrasında 1.Kat Kolonların Kesme Kuvvetlerinde Meydana Gelen Azalma Oranları (%)......	35
<b>Tablo 3.5:</b> Yalın Durum için Elde Edilen Maksimum Görelî Kat Ötelemeleri (%)	39
<b>Tablo 3.6:</b> Güçlendirilmiş Durum için Elde Edilen Maksimum Görelî Kat Ötelemeleri (%) .....	41
<b>Tablo 3.7:</b> HK Performans Seviyesinde Kırılğanlık Eğrisini Oluşturabilmek için Olasılık Tablosu - Yalın Durum .....	42
<b>Tablo 3.8:</b> HK Performans Seviyesinde Kırılğanlık Eğrisini Oluşturabilmek için Olasılık Tablosu - Güçlendirilmiş Durum.....	42
<b>Tablo 3.9:</b> CG Performans Seviyesinde Kırılğanlık Eğrisini Oluşturabilmek için Olasılık Tablosu - Yalın Durum .....	44
<b>Tablo 3.10:</b> CG Performans Seviyesinde Kırılğanlık Eğrisini Oluşturabilmek için Olasılık Tablosu - Güçlendirilmiş Durum .....	44

<b>Tablo 3.11:</b> GÖ Performans Seviyesinde Kırılganlık Eğrisini Oluşturabilmek için Olasılık Tablosu - Yalın Durum .....	46
<b>Tablo 3.12:</b> GÖ Performans Seviyesinde Kırılganlık Eğrisini Oluşturabilmek için Olasılık Tablosu - Güçlendirilmiş Durum.....	46



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa No.</b>
<b>Şekil 1.1:</b> Yerdeğiştirme ve Görelî Kat Ötelemesi .....	5
<b>Şekil 1.2:</b> Kat Kesme Kuvveti .....	6
<b>Şekil 2.1:</b> Yapı Modeline Ait Sistem Ölçüleri .....	8
<b>Şekil 2.2:</b> S402 Kolonu ve Kiriş Boyutları .....	10
<b>Şekil 2.3:</b> Çelik Eleman Uygulama Detayı.....	13
<b>Şekil 2.4:</b> Analitik Yay Modeli.....	14
<b>Şekil 2.5:</b> Metal Sönümleyici .....	14
<b>Şekil 2.6:</b> Yay İçin Tanımlanan Çevrimsel Davranış .....	15
<b>Şekil 2.7:</b> Analizlerde Kullanılan Çerçeve Modelleri.....	16
<b>Şekil 2.8:</b> Seçilmiş Deprem Kayıtlarının Spektrum Eğrileri .....	18
<b>Şekil 2.9:</b> Seçilmiş Deprem Kayıtlarının İvmeleri .....	19
<b>Şekil 3.1:</b> Yalın Durum ve Güçlendirilmiş Durum için Kat Yerdeğiştirme Sonuçlarının Karşılaştırması .....	23
<b>Şekil 3.2:</b> Yalın Durum ve Güçlendirilmiş Durum için Görelî Kat Öteleme Sonuçlarının Karşılaştırması .....	26
<b>Şekil 3.3:</b> Ortalama Görelî Kat Ötelemeleri .....	28
<b>Şekil 3.4:</b> Kat Kesme Kuvveti Değerleri .....	29
<b>Şekil 3.5:</b> Taban Kesme Kuvveti Değerleri.....	32
<b>Şekil 3.6:</b> Kırılgnalık Eğrilerinin Oluşturulmasında İçin Temsili Hesap Yöntemi ..	38
<b>Şekil 3.7:</b> Deprem Büyüklüklerine Göre Yalın Durumda Oluşan Maksimum Görelî Kat Öteleme Değerleri .....	40
<b>Şekil 3.8:</b> Deprem Büyüklüklerine Göre Güçlendirilmiş Durumda Oluşan Maksimum Görelî Kat Öteleme Değerleri .....	41

<b>Şekil 3.9:</b> HK Performans Seviyesinde Yalın ve Güçlendirilmiş Durum için Kırılma Eğrileri .....	43
<b>Şekil 3.10:</b> CG Performans Seviyesinde Yalın ve Güçlendirilmiş Durum için Kırılma Eğrileri .....	45
<b>Şekil 3.11:</b> GÖ Performans Seviyesinde Yalın ve Güçlendirilmiş Durum için Kırılma Eğrileri .....	47



## DENKLEMLER LİSTESİ

**Sayfa No.**

**Denklem 3.1:** Kümülatif Dağılım Fonksiyonu..... 37





## SİMGELER VE KISALTMALAR

$\beta$	: Standart Sapma
$\Delta_i$	: Görelî Kat Ötelemesi
$\theta$	: Kırılgnlık Fonksiyonunun Medyanı
$\delta$	: Deplasman
ATC	: Applied Technology Council
CG	: Can Güvenliği
FEMA	: Fedaral Emergency Management Agency
G	: Düşey Sabit Yükler
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
HK	: Hemen Kullanım
PGA	: Peak Ground Acceleration
Q	: Düşey Hareketli Yükler
TDY07	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007

## 1. GİRİŞ

Depremler meydana geldikten sonra yeryüzüne çıkan enerjinin büyüklüğünü, ve etkisini tanımlamak için esas olarak iki parametre kullanılmaktadır. Bunlardan biri magnitüd diğeri ise şiddettir. Magnitüd, standart bir sismografla kaydedilen deprem hareketinin maksimum genlik ve periyot değeri ve alet kalibrasyon fonksiyonlarının kullanılması ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilmektedir. Şiddet ise matematiksel fonksiyonlara dayalı olmayıp sadece gözlemler neticesinde yapılar, doğa ve insanlar üzerinde oluşan etki sonucu tespit edilen bir büyüklüktür.

Ülkemizde son yüzyılda meydana gelen ve magnitüdü 7.0 üzerinde olan depremler Tablo 1.1’de verilmiştir. [1]

**Tablo 1.1:** Türkiye’de Magnitüdü 7.0 Üzeri Olan Depremler (1900-2011)

TARİH	MEYDANA GELDİĞİ YER	MAGNİTÜDÜ
09.08.1912	MÜREFTE	7.3
31.03.1928	İZMİR/TORBALI	7.1
06.05.1930	HAKKARİ SINIRI	7.2
26.12.1939	ERZİNCAN	7.9
20.12.1942	NİKSAR ERBAA	7.0
06.10.1944	AYVALIK	7.0
17.08.1949	KARLIOVA	7.0
18.03.1953	YENİCE/GÖNEN	7.4
22.07.1967	ADAPAZARI	7.2
28.03.1970	GEDİZ	7.2
24.11.1976	ÇALDIRAN/MURADIYE	7.2
17.08.1999	KOCAELİ	7.4
12.11.1999	BOLU/DÜZCE	7.2
23.10.2011	VAN	7.2

Meydana gelen her deprem sonrasında yapısal olarak görülen eksiklikler çıkarılan yönetmeliklerle giderilmeye çalışılmıştır. İlk olarak 1940 yılında “İtalyan Yapı Talimatnamesi” ile çıkan deprem yönetmeliğini sırasıyla, 1944 yılında “Zelzele Mintıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi”, 1949 yılında “Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği”, 1953 yılında “Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı

*Yönetmeliği*”, 1962, 1968, 1975 ve 1997 yıllarında “*Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*” takip etmiştir. Son olarak da 2007 yılından beri yürürlükte olan “*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*” kullanılmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı kapsamında ülkemizde mevcut olan yapıların güçlendirilmesi; güçlendirme yöntemine bağlı olarak maliyet açısından değerlendirildiğinde, yapının yeniden yapımı daha avantajlı olabilmektedir. Bunun ötesinde binanın servise devam edebilmesi için önerilen güçlendirme yöntemleri literatürde sınırlı sayıdadır. Bu kapsamda deneysel ve analitik çalışmalar yöntemin etkinliğine dikkat çekmektedir.

Eşmerkezli Y-şekilli çelik destekler kullanılarak 4.2 m açıklık ve 3.0 m yüksekliğe sahip tek katlı binanın bir plan ekseninde uygulama yapılan sistem; az katlı yapılar için tipik bir güçlendirme sistemi olarak tasarlanmıştır. Çalışma; yalın çerçeve ve 4 farklı ölçü kullanılarak yapılan çelik profil uygulamasından sonra, hazırlanan sistemlere sabit hız altında yanal olarak yük etki ettirilmiştir. Uygulama ve güçlendirme sonrasında dayanım ve yapısal sönüm oranında önemli iyileşmeler görülmüştür [2].

Depreme dayanıklı yapı tasarımında en son eğilimlerden biri de hasar kontrolüne olanak sağlayan, tamir edilebilir bir sigorta elemanı tertibatı geliştirilmesine neden olmuştur. Çelik çerçevenin kiriş kolon noktalarına montajı yapılan “I” cıvatalı çelik plakaların seçilen farklı türdeki geometrik ve narinlik parametreleri sonrasında 24 adet çevrimsel ve 2 adet monotonik test yürütülmüştür. Bu tasarım modelinin deneysel testleri sonrasında yöntemin yapının deprem davranışı açısından olumlu katkıları olduğu sonucuna varılmıştır [3].

Pasif enerji sönümlenmesi için geliştirilen “*Yielding shear panel device*” (YSPD), sonlu elemanlar metodu ile sayısal modellemesi yapılmıştır. Güçlendirmede kullanılan metal plakalar; deprem enerjisini emerek oluşabilecek kesme kuvveti deformasyonunu sönümlemek amacıyla geliştirilmiştir. YSPD; imalatı ve montajı kolay, ucuz bir malzemedir. Mevcut araştırma, deneysel olarak ve geliştirilen sayısal modelleme ile gerçekleştirilerek karşılaştırma yapılmış elde edilen sonuçlarla

birbiriyle örtüştüğü görülmüştür. Teorik yaklaşım, tasarım kurallarını geliştirmek için uygun olduğu kanısına varılmıştır [4].

Yapı üzerinde oluşabilecek deprem kuvvetlerini sönmüleye yarayan akışkan viskoz sönmüleyiciler sıvı viskoziteye dayalı titreşim kontrol sistemini esas alarak tasarlanmıştır. Güçlendirmede; 3 katlı, 6 katlı iki farklı çerçeve sistemine 3 farklı tipte viskoz sönmüleyici uygulaması yapılmıştır. Yapılan analiz sonrasında yalnız çerçevede oluşan yer değiştirmelerin güçlendirme sonrasında %25 ile %50 oranında azaldığı görülmüştür [5].

Çelik binalarda minimum hasar yaklaşımı ile tasarımı yapılan çelik enerji sönmüleme cihazları tasarlanmış ve analitik modeli için histeretik davranış eğrisi tanımlanmıştır. Uygulama 3 açıklıklı, 5 katlı prototip çelik bir binada kullanılmıştır. Güçlendirme, yarı çelik cihazının, kiriş alt flanşına cıvatalanarak ve viskoz sönmüleyicilerle desteklenerek yapılmıştır. Bu modelin çalışabilmesi için tasarım depremi olarak belli büyüklükte depremler seçilmiştir. Oluşturulan bu sistem her ne kadar uygulama açısından iyi olsa da maliyet açısından uygun olmadığı ve geliştirilmesi gerektiği görülmüştür [6].

Sürtünme sönmüleyicileri ile güçlendirilmiş betonarme tek serbestlik dereceli sistemin maksimum yer değiştirmesi talebi ile yer hareket parametresi arasındaki korelasyon araştırılmıştır. Amaç, doğrusal olmayan deprem kayıtlarının seçilmesinde kullanılan en iyi parametrelerin ortaya çıkarılmasıdır. Geliştirilen algoritma ile yalnız ve güçlendirilmiş, çeşitli parametreleri değiştirilerek oluşturulan 720 adet tek serbestlik dereceli sistemin, 260 deprem kaydı etki ettirilerek 187,200 adet dinamik analiz gerçekleştirilmiştir [7].

Sürtünme enerjisi dağıtıcıları içeren N katlı bina çerçevelerinin sismik tepkisini taklit eden 3 aşamalı yineleme döngüsüne sahip bir algoritma oluşturulmuştur. Önerilen algoritma yöntemi ve testten elde edilen deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Analitik yolla yapılan çözümlemenin, laboratuvar ortamındaki sonuçlarla örtüştüğü görülmüştür [8].

Deprem etkisi altında kendinden merkezli “*moment resisting frame*” (*MRF*), enerji dağıtma cihazı olarak kolon-kiriş birleşim noktalarına uygulanan *Bottom flange friction device*” (*BFFD*) geliştirilmiştir. Güçlendirilmiş çerçevede taban kesme kuvveti, maksimum görelî kat ötelenmeleri ve oluşan moment kuvvetlerinde önemli oranda azalmalar meydana gelmiştir. BFFD ile yapılan analitik analizler benzer bir çerçeve sistemi ile deneysel ortamdaki sonuçlar ile simetrik bir davranış sergilediği gözlemlenmiştir [9].

Yapıların depreme karşı korunması için tasarlanan duvar oyuklarına dayanan destek tipi sismik sönümleyici tûp içi tûp topluluğundan oluşmaktadır. Güçlendirme için birkaç tip izolatör belirlenmiş ve konvansiyonel çelik levhalar bir takım teste tabi tutulmuştur. Deney sonucunda sönümleyicinin çok kararlı histerik özelliklere ve mükemmel enerji dağıtma kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir [10].

Northridge ve Kobe depremleri sırasında momente dayanıklı birçok çerçeve özellikle kolon-kiriş bağlantı noktalarında hasarlar meydana gelmiştir. Bu sorunu çözmek için yenilikçi bir yapısal sistem olan sismik sönümleyiciler çözüm olarak sunulmuştur. Kullanılan güçlendirme sistemi sadece iyi bir performans değil aynı zamanda ağır bir depremden sonra kolayca tamir edilebilir metalik bir sönümleyici olarak tasarlandı. İki parçadan oluşan, kolon-kiriş birleşim bölgesinin üst ve alt kısmına yerleştirilen bu sönümleyiciler deneysel olarak testten geçirilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir [11].

Doğrusal elastik yöntemlerde; dış yük etkisinde taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanlarında oluşan iç kuvvetlerin taşıyıcı elemanın yük taşıma kapasitesi karşılaştırılmaktadır. Yapı elemanı için şekildeğiştirme kapasitesi ile ilgili bilgi elde edilemediği için hasar tipleri hakkında net sonuçlar elde edilemez. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde ise, sonuçlar deplasman bazlı olup yapının deprem esnasında şekil değıştirme ve yer değıştirme geçmişi elde edilebilmektedir. Bu yöntemle gerçekleştirilen analizler yapı performansı hakkında daha ayrıntılı inceleme yapılmasına olanak tanır. Bu amaçla yapılan çalışmada doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi kullanılmıştır.

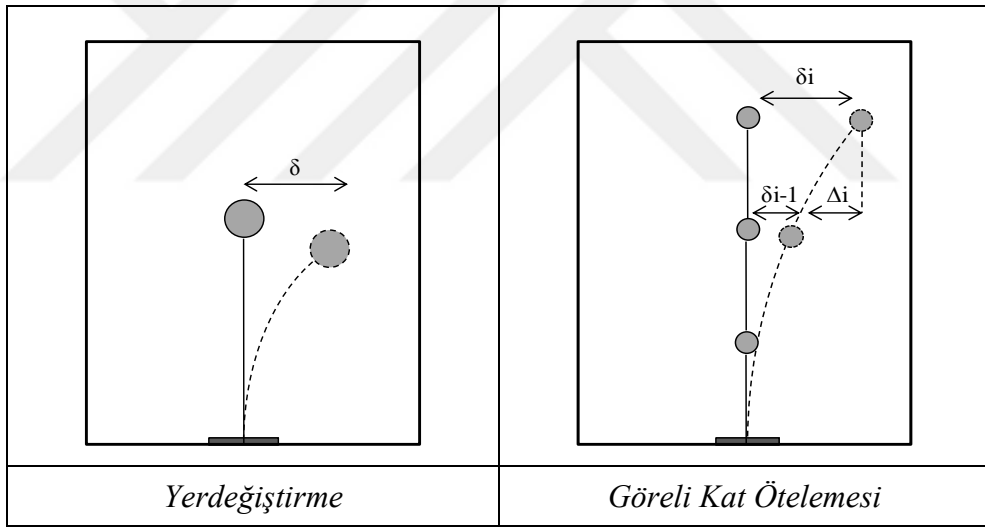
Deprem istemini karşılayamayan mevcut az katlı yapılar için yapı performansını iyileştirerek yapımı kolay, ekonomik ve hızlı bir güçlendirme yönteminin TDY 2007 kapsamında değerlendirilmesi bu çalışmanın ana amacıdır.

Çalışmaya esas olan sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerin başlıcaları şunlardır:

**1.1. Yerdeğiştirme:** Yapı sisteminin şekil değiştirmiş durumu ile şekil değiştirme yapmamış durumu arasında kat hizasında meydana gelen yer değiştirme miktarıdır. ( $\delta$ ), (Şekil 1.1)

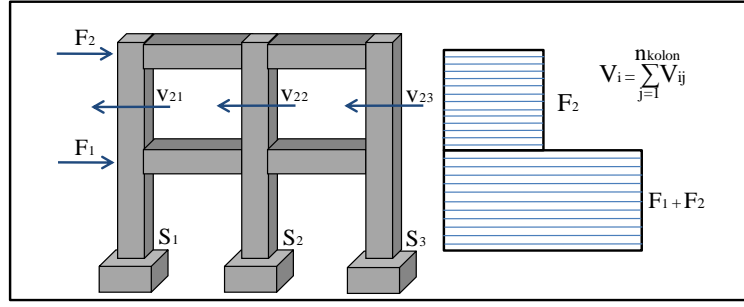
**1.2. Görelî Kat Ötelemesi:** Birbirine komşu olan iki katın yer değiştirmelerinin farkının kat yüksekliğine olan oranına görelî kat ötelemesi denir. ( $\Delta_i$ ), (Şekil 1.1)

$$(\Delta_i = \delta_i - \delta_{i-1})$$



**Şekil 1.1:** Yerdeğiştirme ve Görelî Kat Ötelemesi

**1.3. Kat Kesme Kuvveti:** Yapının kat hizasında tüm taşıyıcı elemanlar tarafından karşılanan toplam kesme kuvvetine kat kesme kuvveti denir. (Şekil 1.2)



**Şekil 1.2: Kat Kesme Kuvveti**

#### 1.4. Kırılgnlık Eğrileri

Kırılgnlık eğrileri, artan şiddetlerdeki deprem etkilerinin yapı için önceden tanımlanmış hasar seviyelerinin aşılma olasılığını gösteren ve yapıların hasar alma riskinin belirlenmesini sağlayan önemli performans değerlendirme kriterleri arasında yer almaktadır. Kırılgnlık eğrileri mühendislik yapılarının olası depremler karşısında taşıdığı genel riskin tahmin edilmesi ve gelecekteki depremlerin ekonomik etkilerinin öngörülmesi açısından son derece önemlidir. Söz konusu eğriler, deprem sonrasında genel zararın azaltılması veya öngörülmesi noktasında sigorta şirketleri açısından da faydalı bilgiler üretmektedir. Yapısal güçlendirme konularında etkin olarak kullanılabilen kırılgnlık eğrileri önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir [12].

##### 1.4.1. Kırılgnlık Eğrilerinin Oluşturulma Yöntemleri

Çalışma kapsamında mevcut yapı stokunu temsil eden 6 katlı betonarme çerçeve tipi yapının önerilen güçlendirme yöntemi uygulandıktan sonra ve uygulamadan önceki hasar riskinin belirlenmesi için, oluşturulan kırılgnlık eğrileri kullanılmıştır.

Deprem risk değerlendirmesinde, ele alınan bir yapının performans seviyeleri için TDY07'de görelî kat ötelemesini esas alan hasar seviyeleri tanımlanması yapılmıştır. Bu çalışmada esas alınan hasar seviyeleri yapının 1.katının görelî kat öteleme seviyesine göre belirlenmiştir. Birinci katın görelî kat ötelemeleri %1, %3 ve %4 olması durumlarında sırasıyla *hemen kullanım*, *can güvenliği* ve *göçmenin önlenmesi* olarak belirlenen hasar seviyeleri Tablo 1.2'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.2:** TDY 2007 Performans Hasar Seviyeleri

<i>Performans Seviyesi</i>	<i>Görelî Kat Ötelenmesi Oranı</i>
Hemen Kullanım	%1
Can Güvenliği	%3
Göçmenin Önlenmesi	%4

Yerdeğiştirme istemleri limit durumlarda tanımlanan hasar seviyeleriyle ilişkilendirilebilir. Hasar durumlarının sayısı kullanılan hasar ölçeğine bağlıdır. En sıklıkla kullanılan hasar ölçeklerinden bazıları: HAZUS99 (FEMA, 1999), ATC-13 (ATC, 1985), Vision 2000 (SEAOC 1995) ve EMS98 (Grunthal, 1998). Bunlardan sonuncusu Avrupa’da yaygın olarak kullanılmaktadır. Rota ve ark. (2008) ve Gaspari (2009) tarafından yürütölen çalışmalarda da kullanılmıştır. Kırılđanlık eğrilerini belirlemek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Örneğin Dumova-Jovanoska (2000) hasarı beş kademedede sınıflandırmak için Park&Ang Hasar İndeksi’ni kullanmıştır: hasarsız, küçük, orta, şiddetli ve yıkıcı hasar. Rossetto&Elnashai (2005) hasarı yedi kademedede sınıflandırmak için maksimum görelî kat öteleme değerlerini kullanmıştır: hasarsız, küçük, hafif, orta, kapsamlı hasar, kısmî yıkılma ve yıkılma. Ayrıca akma ve yıkılma hasar durumları da analitik değerlendirme yöntemlerinde kullanılmıştır [13].

Kırılđanlık eğrilerinin üretilmesinde çeşitli hasar indeksleri kullanılabilir. Betonarme yapılar için; elaman uçlarındaki maksimum kiriş dönme talebi, maksimum kesme kuvveti talebi, bölgesel Park ve Ang Hasar İndeksi (1985), yığma yapılar için yığma yapının kesme dayanımı gibi parametreler hasar ölçüsü olarak kullanılabilir. Karma sistemler için hasar ölçüleri bileşenlerin doğası, önemi ve ayrıca istatistiksel bağıntıları veya bağımsızlığı hesaba katılarak bileşenlerinin hasar ölçülerinden oluşturulabilir. Örneğin, Erduran ve Yakut [2007] bölme duvarlı betonarme çerçeve binalar için binanın yapısal elemanlarının maruz kaldığı hasarı esas alan bir yöntem sunmuştur. Bu tez çalışmasında hasarın ölçeklendirilmesi için TDY 07 çalışmasında geçen ve hasar ölçüsü olarak maksimum görelî kat ötelemesi değerleri limit durum olarak kullanılmıştır. Bu limit durumları analiz sonuçlarının değerlendirildiği 3. bölümde ayrıntılı olarak anlatılacaktır.



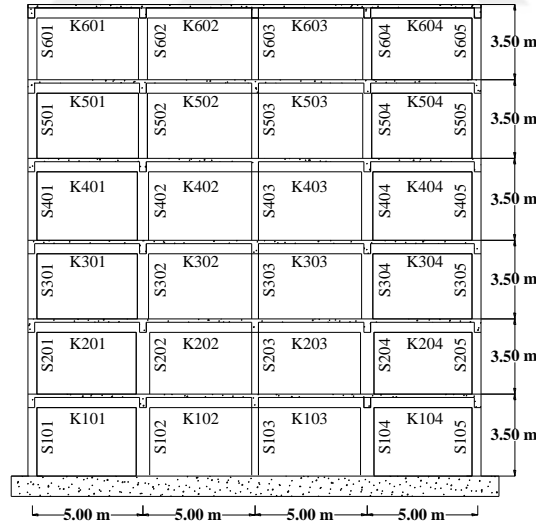
## 2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YAPININ İNCELENMESİ

### 2.1. Giriş

Bu çalışmada 6 katlı 4 açıklıklı betonarme çerçeve sistemi için “Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi” kullanılarak dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Seçilen 13 adet deprem kaydı ilk olarak yalın çerçeve modeline daha sonra yapılan güçlendirme sonrasında elde edilen çerçeveye etki ettirilmiştir. Çıkan analiz sonuçları TDY07’deki performans koşullarına göre değerlendirilmiştir.

### 2.2. Yapı Genel Bilgileri

Modelde kullanılan aks mesafeleri ve kat yüksekliği açısından Türkiye’de bulunan yapıların genelinde karşılaşılan geometrik özelliklere sahiptir. Sistem 6 katlı, 4 açıklıklı kullanım amacı bina türü olan bir yapıdır. Modele ait geometrik büyüklükler Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Malzeme olarak beton sınıfı C20, donatı çeliği S420 olarak seçilmiştir.



Şekil 2.1: Yapı Modeline Ait Sistemin Boyutları

Sistemin modellenmesi ve analiz işlemleri için Seismo Struct 7.0.0 programı kullanılmıştır. Bu program, doğrusal olmayan analizlerin çözümlenmesine olanak sağladığından ve ayrıca kesit analizi yapılmadığından tercih edilmiştir [14].

Seismo Struct, yapıların statik ve dinamik yükler altında geometri ve malzeme açısından lineer olmama durumunu hesaba katarak deplasman davranışını modelleyebilen sonlu eleman esasına dayalı olarak çalışan yapısal analiz programıdır.

Yazılımın üç ana modülü vardır; *ön işlemci*: yapısal modelin girildiği ve tanımlamalarının yapıldığı alan, *işlemci*: analizin çalıştırıldığı alan, *art işlemci*: çıktıların elde edildiği ve görüntülendiği alan; bu üç modülün kontrolü tamamen görsel arayüz aracılığıyla gerçekleştirilir. Herhangi bir şekilde girdi veya dosya ayarlama, programlama komut dizisi hazırlama, vb diğer zaman alıcı ve karmaşık metin düzenleme işlemleri yapmayı gerektirmemektedir. Diğer taraftan, işlemci deplasman eğrilerinin ve yapının deforme şeklinin çizimlerini eş zamanlı olarak gösterilmesi, analizin durdurulup/devam ettirilmesi özelliklerine; *art işlemciye*; elde edilen tüm çizimlerin özelleştirilmesi gibi kullanıcıların verimliliğini artıran ileri art işlemci özelliklerine sahiptir [14].

Yapı Özellikleri:

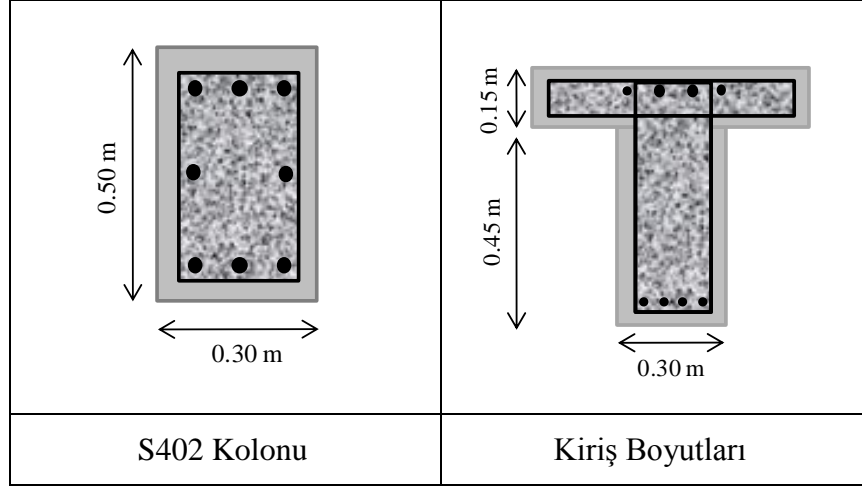
- Kat Sayısı: 6
- Kat Yükseklikleri: 3.5 m
- Kullanım Amacı: Bina
- Taşıyıcı Sistem: Betonarme Çerçeve Sistem

Malzeme Özellikleri:

- Beton Sınıfı: C20
- Donatı Sınıfı: S420

### **2.2.1. Betonarme Çerçeve Sistemi Oluşturan Elemanlar**

Çalışmada kullanılan betonarme çerçeve sistem kolon – kiriş elemanlardan oluşmaktadır. Kiriş ebatları katlar boyunca sabitken kolon kesitleri üst katlara doğru küçültülmüştür. Çerçeve sistemi oluşturan taşıyıcı elemanlardan S402 kolonu ve kirişlere ait ölçüler Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2:** S402 Kolonu ve Kiriş Boyutları

Betonarme çerçeve sisteminde mevcut olan kolonların enkesit boyutları ve donatı bilgileri Tablo 2.1'de verilmektedir. Kirişler tüm katlarda aynı enkesit boyutlarına sahiptir ve donatı bilgileri Tablo 2.2'de verilmiştir [15].

**Tablo 2.1:** Kolon Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları (Yıldız, 2008)

Kat	Kolon	b/h (cm)	Donatı	Kat	Kolon	b/h (cm)	Donatı
6	S601	30/40	4Ø18 + 4Ø16	3	S301	30/40	4Ø18 + 4Ø16
	S602	30/40	8Ø16		S302	30/50	8Ø20
	S603	40/30	4Ø16 + 4Ø14		S303	50/30	8Ø20
	S604	30/40	8Ø16		S304	30/50	8Ø20
	S605	30/40	4Ø18 + 4Ø16		S305	30/40	4Ø18 + 4Ø16
5	S501	30/40	4Ø18 + 4Ø16	2	S201	30/40	4Ø18 + 4Ø16
	S502	30/40	8Ø16		S202	30/60	4Ø22 + 4Ø20
	S503	40/30	4Ø16 + 4Ø14		S203	60/30	8Ø20
	S504	30/40	8Ø16		S204	30/60	4Ø22 + 4Ø20
	S505	30/40	4Ø18 + 4Ø16		S205	30/40	4Ø18 + 4Ø16
4	S401	30/40	4Ø18 + 4Ø16	1	S101	30/40	4Ø18 + 4Ø16
	S402	30/50	8Ø20		S102	30/60	4Ø22 + 4Ø20
	S403	50/30	8Ø20		S103	60/30	8Ø20
	S404	30/50	8Ø20		S104	30/60	4Ø22 + 4Ø20
	S405	30/40	4Ø18 + 4Ø16		S105	30/40	4Ø18 + 4Ø16

**Tablo 2.2:** Kiriş Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları (Yıldız, 2008)

<b>Kat</b>	<b>Kiriş</b>	<b>b/h (cm)</b>	<b>Alt Donatı</b>	<b>Üst Donatı</b>	<b>Sol Mesnet Üst Ek Donatısı</b>	<b>Sağ Mesnet Üst Ek Donatısı</b>
6	K601	30/60	3Ø16	2Ø12	2Ø18	2Ø18
	K602	30/60	3Ø16	2Ø12	2Ø18	2Ø14
	K603	30/60	3Ø16	2Ø12	2Ø14	2Ø18
	K604	30/60	3Ø16	2Ø12	2Ø18	2Ø18
5	K501	30/60	3Ø16	2Ø12	2Ø18	2Ø18
	K502	30/60	3Ø16	2Ø12	2Ø18	2Ø14
	K503	30/60	3Ø16	2Ø12	2Ø14	2Ø18
	K504	30/60	3Ø16	2Ø12	2Ø18	2Ø18
4	K401	30/60	4Ø16	2Ø14	3Ø20	3Ø20
	K402	30/60	4Ø16	2Ø14	3Ø20	2Ø20
	K403	30/60	4Ø16	2Ø14	2Ø20	3Ø20
	K404	30/60	4Ø16	2Ø14	3Ø20	3Ø20
3	K301	30/60	4Ø16	2Ø14	3Ø20	3Ø20
	K302	30/60	4Ø16	2Ø14	3Ø20	2Ø20
	K303	30/60	4Ø16	2Ø14	2Ø20	3Ø20
	K304	30/60	4Ø16	2Ø14	3Ø20	3Ø20
2	K201	30/60	4Ø16	3Ø14	2Ø22	3Ø22
	K202	30/60	4Ø16	3Ø14	3Ø22	1Ø22
	K203	30/60	4Ø16	3Ø14	1Ø22	3Ø22
	K204	30/60	4Ø16	3Ø14	3Ø22	2Ø22
1	K101	30/60	4Ø16	3Ø14	2Ø22	3Ø22
	K102	30/60	4Ø16	3Ø14	3Ø22	1Ø22
	K103	30/60	4Ø16	3Ø14	1Ø22	3Ø22
	K104	30/60	4Ø16	3Ø14	3Ø22	2Ø22

### 2.2.2. Yapı Sisteme Etkiyen Yükler

Yapı sistemine etkiyen yayılı yükler ( $G+0.3Q$ ) 1., 2., 3., 4., ve 5. katlarda  $19.98 \text{ kN/m}^2$ , 6. Katta  $10.58 \text{ kN/m}^2$ 'dir. Düşey tekil yayılı yükler ise Tablo 2.3'te verilmiştir.

**Tablo 2.3:** Sisteme Etkiyen Düşey Tekil Yükler (kN)

Kat	Kolon	Kolonlara Etkiyen Düşey Tekil Yükler (kN)	Kat	Kolon	Kolonlara Etkiyen Düşey Tekil Yükler (kN)
6	S601	41.81	3	S301	68.59
	S602	61.10		S302	81.32
	S603	63.48		S303	88.39
	S604	61.10		S304	81.32
	S605	41.81		S305	68.59
5	S501	67.58	2	S201	68.68
	S502	77.95		S202	84.13
	S503	81.66		S203	91.47
	S504	77.95		S204	84.13
	S505	67.58		S205	68.68
4	S401	68.08	1	S101	67.78
	S402	79.90		S102	83.59
	S403	86.52		S103	91.11
	S404	79.90		S104	83.59
	S405	68.08		S105	67.78

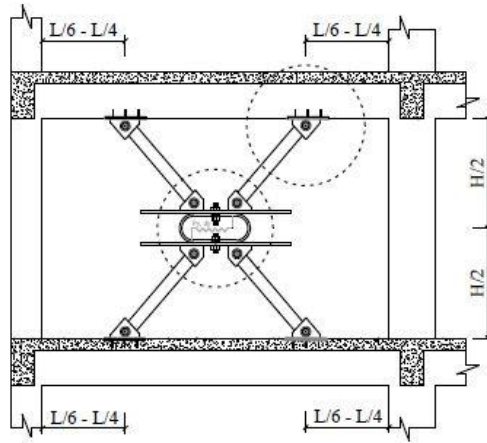
### 2.3. Güçlendirme Yöntemi için Önerilen Analitik Model

Betonarme yapıların güçlendirilmesinde yapıya perde duvar eklenmesi, mevcut kolonların mantolanması, dolgu duvarlarının lifli polimer kumaşlar kullanılarak sargılanması gibi dayanım esaslı yöntemler bulunmaktadır. Bu tip yöntemler esas olarak yapının yük taşıma kapasitesini arttırmakta ve yatay yerdeğiştirme istemini sınırlandırmaktadır. Bu kapsamda yapının yanal rijitliğin artması söz konusu olduğu için deprem istemi de benzer şekilde artacak ve yapı daha büyük deprem yükü ile karşı karşıya kalacaktır.

Günümüzde yapıların güçlendirilmesi için daha çok yapının deprem istemine fazla müdahale etmeden bir takım teknolojik cihazların kullanılması tercih edilmektedir. Bu cihazlar yapıların temel seviyesinde kullanılan *sismik izolatör* veya üst yapının çerçeve gözlerine yerleştirilen *sismik sönümleyiciler* olarak sınıflandırılabilir. Söz konusu cihazlar maliyet açısından oldukça yüksek olup ülkemizin az veya orta katlı yapı stoğuna uygun düşmemektedir. Benzer kapsamda

sismik sönümleyiciler yer değiştirme istemlerinin fazla olduğu yüksek katlı çelik yapılarda daha etkin çalışması söz konusudur.

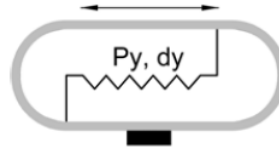
Yukarıda belirtilen hususlar dikkate alındığında ülkemizin yapı stoğuna uygun nitelikte ucuz ve betonarme tipi yapılara uygulanabilen yerel koşullarda imal edilebilen sönümleyici elemanlar ön plana çıkmaktadır [16 ve 16\*\*]. Özkaynak (2016) betonarme çerçevelerde kullanılmak üzere SAFECLADING isimli bir Avrupa Birliği projesi kapsamında *İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında* (STEELAB) geliştirilen çelik yastık tipindeki elemanların betonarme çerçevelerde kullanılmak üzere önermiştir [17]. Betonarme çerçeveler de çelik yastık kullanılmak suretiyle deprem enerjisi önemli ölçüde sönmölenebilmektedir. Kalınlığı 18 mm olan çelik yastık minimum hasar sınırında toplam enerjinin %75'ini sönmöleyebilmektedir. Metal eleman için önerilen uygulama detayı Şekil 2.3'te görölmektedir.



**Şekil 2.3:** Çelik Eleman Uygulama Detayı (Özkaynak, 2016)

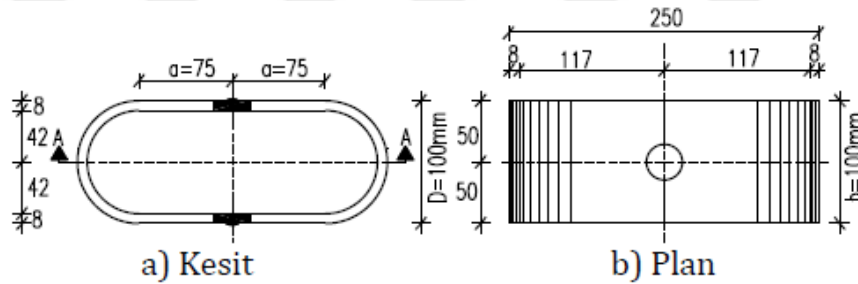
Bu çalışmada mevcut az katlı yapıları temsil edebilecek nitelikte seçilen 6 katlı betonarme yapının deprem performansına çelik eleman uygulamasının etkisi analitik ortamda incelenmiştir. Çelik yastıklar, akma parametreleri ( $P_y$ ,  $d_y$ ) olan bağlantı elemanı olarak modellenmiştir, Şekil 2.4. Çelik yastıklar, betonarme çerçeveye rijit boru elemanlar ile uçları mafsallı olarak bağlanmıştır. Boru elemanların rijit olmasının en önemli sebebi, tüm plastik şekil değiştirmelerin çelik yastık elemanda toplanmasının sağlanmasıdır. Boru elemanlar betonarme çerçevenin

düşey yükler etkisindeki yaklaşık moment sıfır noktalarına mafsallı olarak bağlanmıştır.



**Şekil 2.4:** Analitik Yay Modeli (Özkaynak, 2017)

Özkaynak (2017), çelik eleman için önerilen bir analitik model için bir bağlantı elemanı önermiş olup söz konusu analitik model elemanın çevrimsel davranışını yeterli yaklaşımla tahmin edebilmektedir. Analitik modelin oluşturulabilmesi için çelik elemanın akma dayanımı ( $P_y$ ) ve akma yer değiştirmesi ( $d_y$ ) gibi bir takım parametrelerin hesaplanması gerekmektedir. Burada gerçekleştirilen çalışma kapsamında betonarme yapının güçlendirilmesi için 8, 18 ve 25 mm kalınlıklarında çelik eleman kullanımı tercih edilmiştir. Çelik eleman için geometrik büyüklükler Şekil 2.5'te görülmektedir.



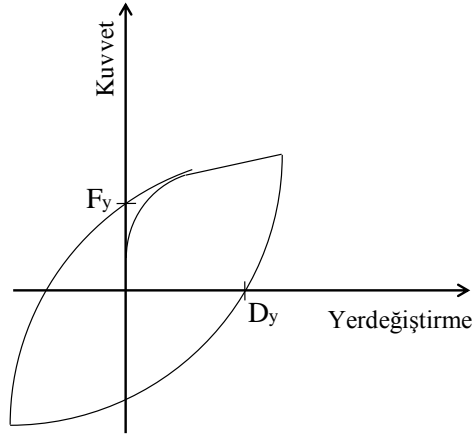
**Şekil 2.5:** Metal Sönümleyici (JRC Technical Reports, 2016)

Önerilen analitik model için geçerli olan karakteristik mekanik özellikler ( $P_y$ ,  $d_y$ ) Tablo 2.4'te görülmektedir.

**Tablo 2.4:** Çelik Eleman için Önerilen Mekanik Özellikler

<b>t (mm)</b>	<b><math>F_{yd}</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>b (mm)</b>	<b>E (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>P_y</math> (N)</b>	<b><math>d_y</math> (mm)</b>
8	350	100	200000	24348	2.91
18	350	100	200000	138293	1.45
25	350	100	200000	291667	1.14

Bağlantı elemanı çok katlı betonarme yapılarda kullanılmak çelik elemanları temsil etmek amacıyla bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. Kullanılan bağlantı elemanı diğer güçlendirme sistemleri ile karşılaştırıldığında daha basit uygulamaya imkan verdiği, ekonomik oluşu, uygulama esnasında yapıdaki faaliyetlerin sürdürülebilirliğinin devamı, uygulama süresinin kısalığı gibi özellikleri tercih sebebi olmuştur. Güçlendirme sisteminde deforme olabilen bir çelik elemanın kullanılmasının amacı yapıya yatay olarak etkiyen kuvvetlerin sonucunda oluşan yerdeğiştirmeleri sınırlandırarak yapıda oluşan enerjiyi absorbe etmesidir. Bu sayede yapı üzerinde kuvvetlerin etkimesi sonrasında oluşabilecek hasarın minimize edilmesini sağlamaktadır. Sistemin güçlendirilmesi için uygulanan yastıkların kalınlıkları 8 mm, 18 mm ve 25 mm olarak seçilmiştir. Bu kalınlıklara ait yastıkların yük-yerdeğiştirme ( $P_y - d_y$ ) parametreleri tabloda verilmiştir. Bağlantı elemanının bir çeşit sönümleyici olarak tanımlanmasına imkan veren Seimo Struct; bu elemana ait çeşitli parametrelerin girilmesi ile birlikte daha kolay analiz yapmaya olanak sağlamıştır. Çelik elemanlara ait deneyler, 3, 5 ve 8 mm kalınlığındaki levhalar kullanılarak yapılmış olup, farklı kalınlıktaki çelik elemanların Tablo 2.4'te belirtilen akma parametreleri Gullü ve diğ [18] çalışmasından elde edilmiştir. Yay modeline ait çevrimsel davranış Şekil 2.6'da görülmektedir.

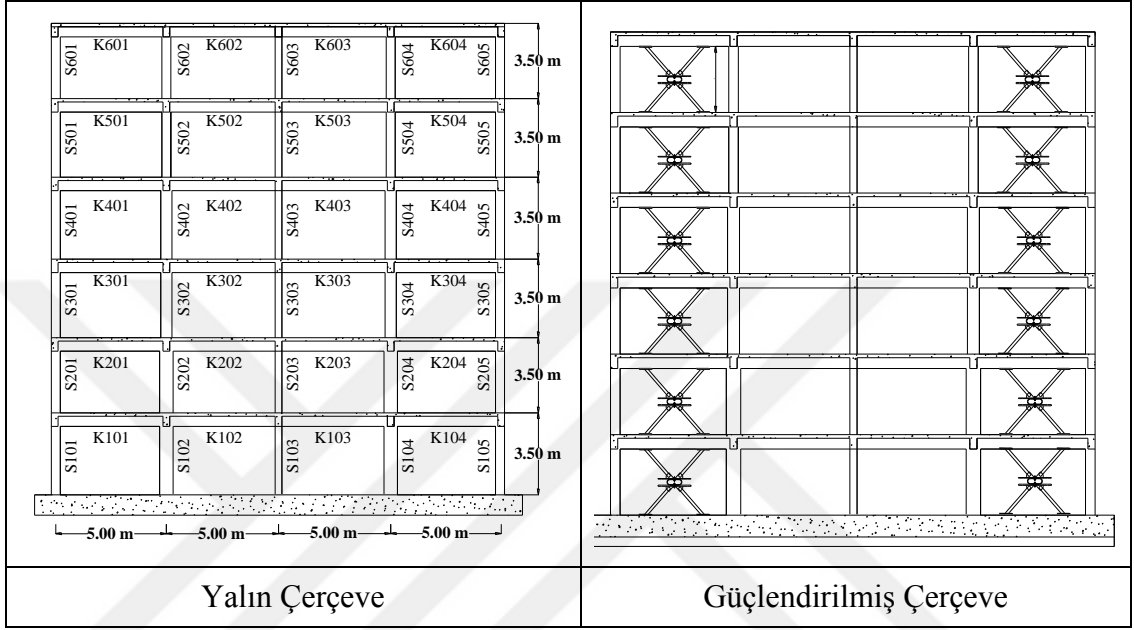


**Şekil 2.6:** Yay için Tanımlanan Çevrimsel Davranış



## 2.4. Çerçeve Sistemin Analitik Modeli

Çalışma kapsamında deprem performansı irdelenmesi amaçlanan yapı modelleri Şekil 2.7’de görülmektedir. Güçlendirilen yapıda kullanılan özel çelik elemanlar yapının iki ucundaki dış açıklıklarına konumlandırılmıştır.



Şekil 2.7: Analizlerde Kullanılan Çerçeve Modelleri

Çalışmada kullanılan çerçeve sistemlerin lineer olmayan dinamik analizleri için geliştirilen matematik modelin oluşturulmasında Seismo-Struct programı kullanılmıştır. Seismo-Struct; yapı elemanlarının davranışını lif esasına dayalı olarak ve sonlu eleman metotunu kullanarak yapmaktadır. Kolon ve kiriş gibi yapı elemanlarının kesit analizleri programın kendi bünyesinde otomatik olarak oluşturulmakta olup bu işlem için ayrıca farklı bir yazılım kullanılmamıştır. Lineer olmayan davranış için yapı elemanlarının deplasmana dayalı plastik mafsal elemanı (*infrmDBPH*) olarak seçilmesiyle modellenmiştir.

Deplasmana dayalı plastik mafsal elemanı; uç bölgelerinde yığılı plastisiteye sahip, yer değiştirme esaslı 3 boyutlu kolon-kiriş elemanıdır. Programda elemanlar, tek bileşenli Giberson modeline göre tasarlanmıştır [19]. Giberson modeli, bir elastik kiriş ve eleman uçlarında 2 ve 3 yerel eksene bağlı birer tane toplamda 4 tane dönele yay içerir. Dönele yaylarda doğrusal olmayan bütün şekil deformasyonlar yığılı

durumda davranış gösterirken, elemanın geri kalanı elastik davranır. İki eksen doğrultusunda oluşan moment-dönme ilişkileri eleman uçlarında birbirinden bağımsızdır. Kuvvete dayalı plastik mafsallı elemanına iki eksen doğrultusunda etkiyen moment-dönme ilişkileri bağıntılıdır. Elastik olmayan deformasyonlarda ise bu ilişki belirli bir uzunluğa yayılı durumdadır. Deplasmana dayalı plastik mafsallarda modellemenin doğru bir şekilde oluşturulmamasında karşın, analizlerin kısa zamanda artan kararlılığıyla çözümlenir. Ayrıca programa yapısal eleman kesitlerinin tanımlanmasından sonra histeretik eğri elemanları otomatik olarak hesaplanmaktadır.

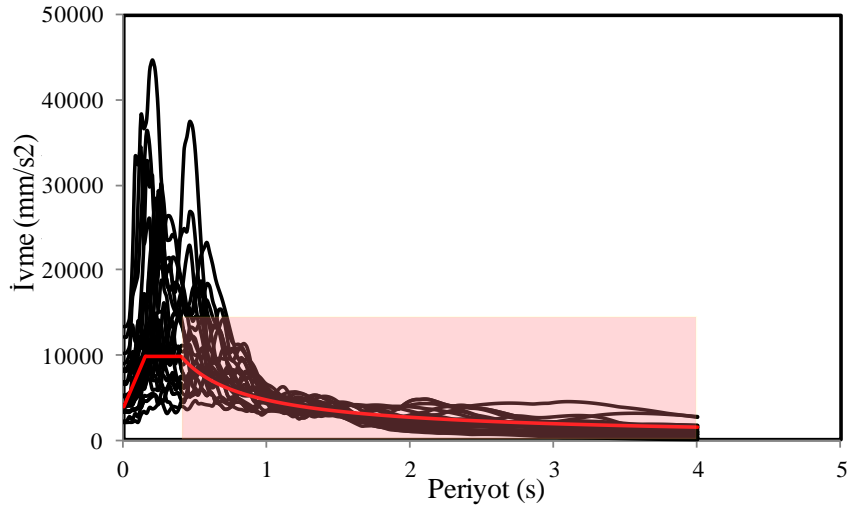
Çerçeve sistemlerin lineer olmayan dinamik analizleri farklı deprem kayıtları etkisinde gerçekleştirilmiştir. Yalın ve güçlendirilmiş çerçevelerin deprem performanslarının irdelenmesinde yerdeğiştirme, taban ve kat kesme kuvvetleri ve kırılma eğrileri kullanılmıştır.

## **2.5. Kullanılan Deprem İvme Kayıtları**

Analizlerde kullanılan deprem kayıtları FEMA'nın P695 metoduna göre içerisinde Türkiye'de gerçekleşmiş olan depremlerinde bulunduğu 22 depremden oluşan bir paket seçilmiştir. FEMA P695 paketinde bulunan depremler Tablo 2.5'te verilmiştir. Bu kayıtlarla TDY07 tasarım deprem spektrumunun azalan koluna yakın olacak şekilde geometrik ortalamaları alınarak ölçeklendirilmiştir. Bu kapsamda en yakın olan 13 deprem kaydı ile çalışmaya devam edilmiştir. Seçilmiş deprem kayıtlarına ait spektrum eğrileri Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

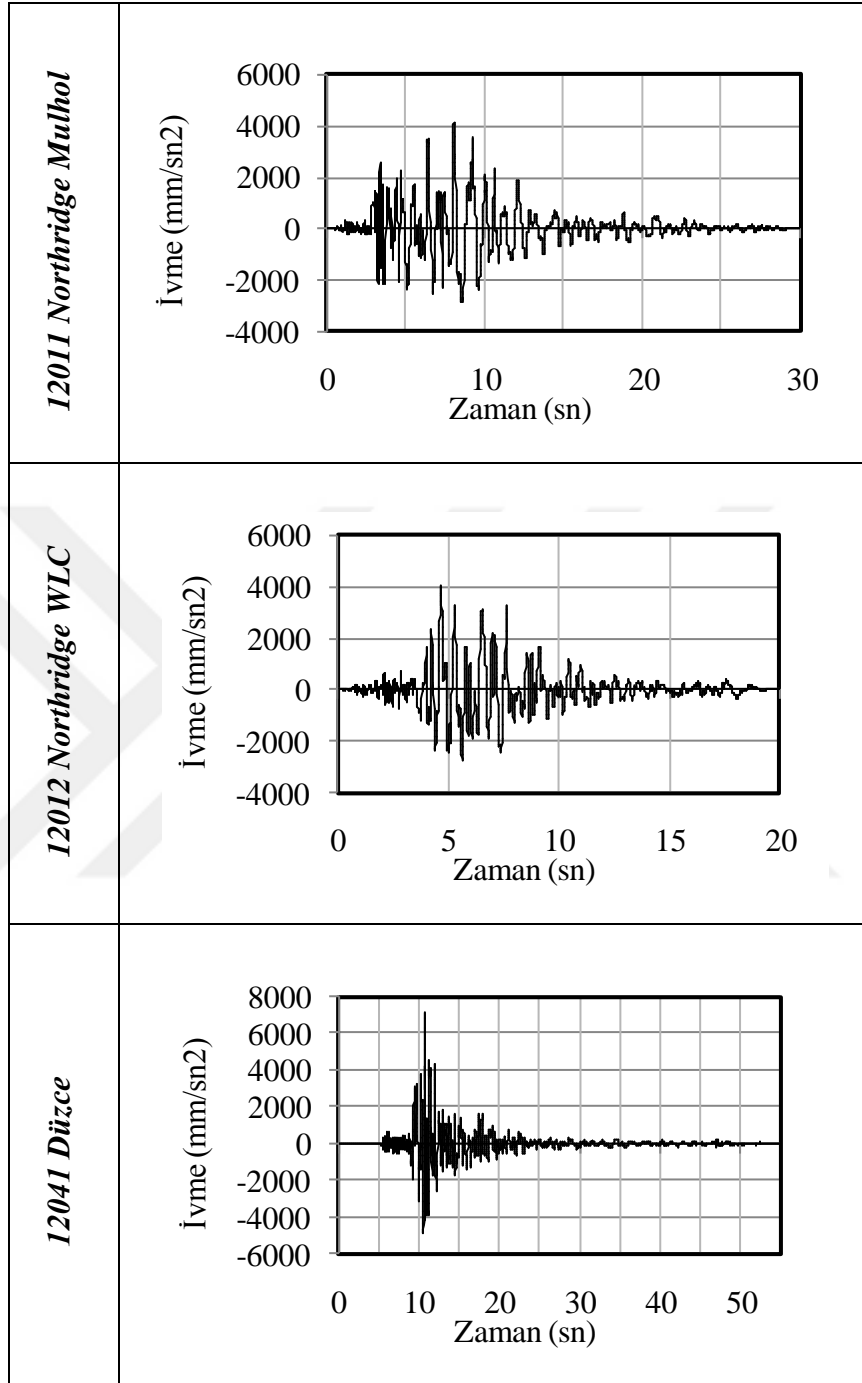
**Tablo 2.5:** Uzak Alan Kayıt Seti İçin Deprem Olaylarının Özeti [FEMA P695]

Deprem #	Deprem Kayıt		İstasyon		
	M	Yıl	İsmi	İsmi	
12011	6.7	1994	Northridge	Beverly Hills -	USC
12012	6.7	1994	Northridge	Canyon Country-	USC
12041	7.1	1999	Duzce, Turkey	Bolu	ERD
12052	7.1	1999	Hector Mine	Hector	SCSN
12061	6.5	1979	Imperial Valley	Delta	UNAMUCSD
12062	6.5	1979	Imperial Valley	El Centro Array #11	USGS
12071	6.9	1995	Kobe, Japan	Nishi-Akashi	CUE
12072	6.9	1995	Kobe, Japan	Shin-Osaka	CUE
12081	7.5	1999	Kocaeli, Turkey	Duzce	ERD
12082	7.5	1999	Kocaeli, Turkey	Arcelik	KOERI
12091	7.3	1992	Landers	Yermo Fire Station	CDMG
12092	7.3	1992	Landers	Coolwater	SCE
12101	6.9	1989	Loma Prieta	Capitola	CDMG
12102	6.9	1989	Loma Prieta	Gilroy Array #3	CDMG
12111	7.4	1990	Manjil, Iran	Abbar	BHRC
12121	6.5	1987	Superstition Hills	El Centro Imp. Co.	CDMG
12122	6.5	1987	Superstition Hills	Poe Road (temp)	USGS
12132	7.0	1992	Cape Mendocino	Rio Dell Overpass	CDMG
12141	7.6	1999	Chi-Chi, Taiwan	CHY101	CWB
12142	7.6	1999	Chi-Chi, Taiwan	TCU045	CWB
12151	6.6	1971	San Fernando	LA - Hollywood Stor	CDMG
12171	6.5	1976	Friuli, Italy	Tolmezzo	--



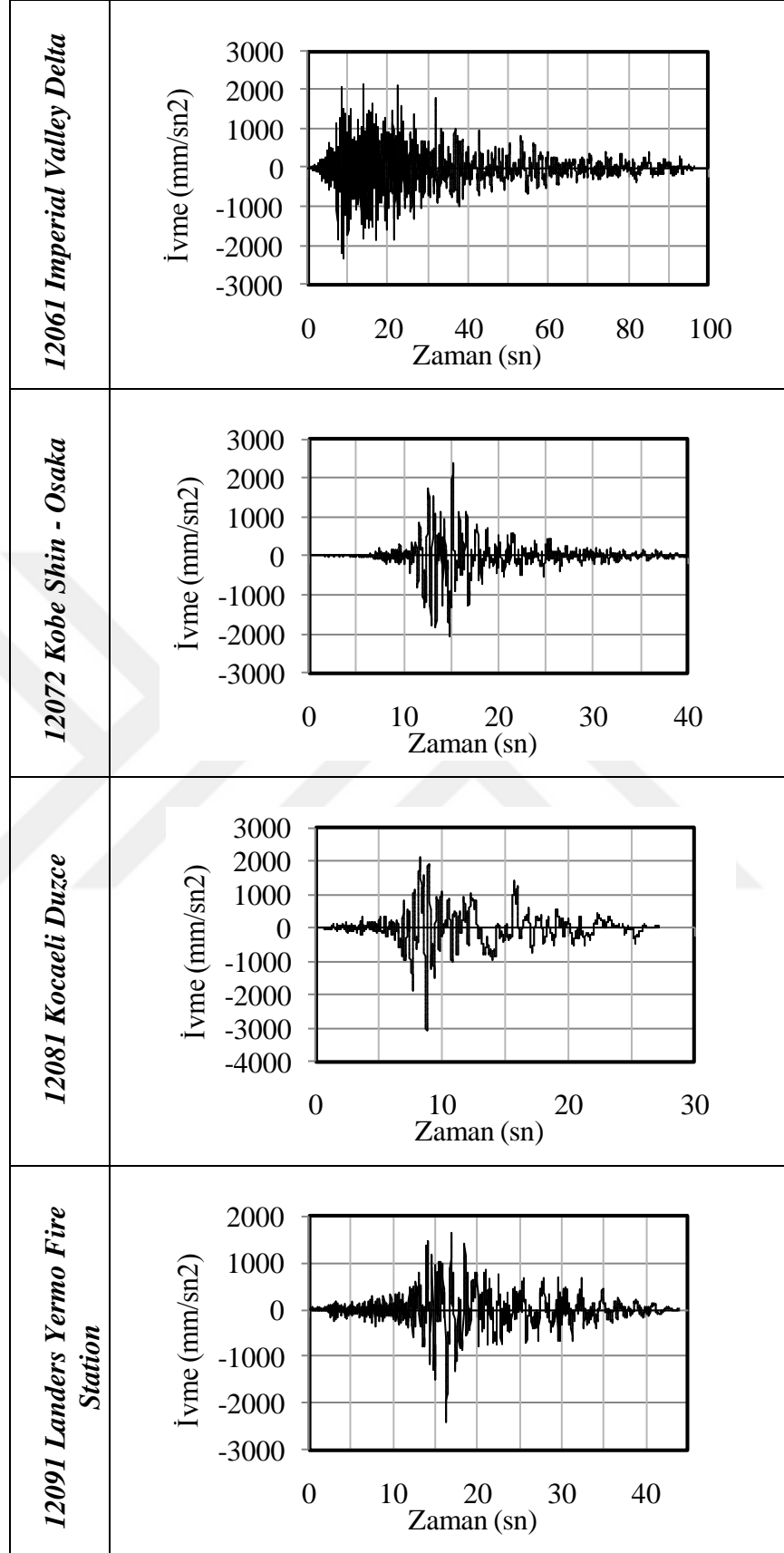
**Şekil 2.8:** Seçilmiş Deprem Kayıtlarının Spektrum Eğrileri

Seçilmiş 13 deprem kaydına ait ivmeler Şekil 2.9’de verilmiştir.



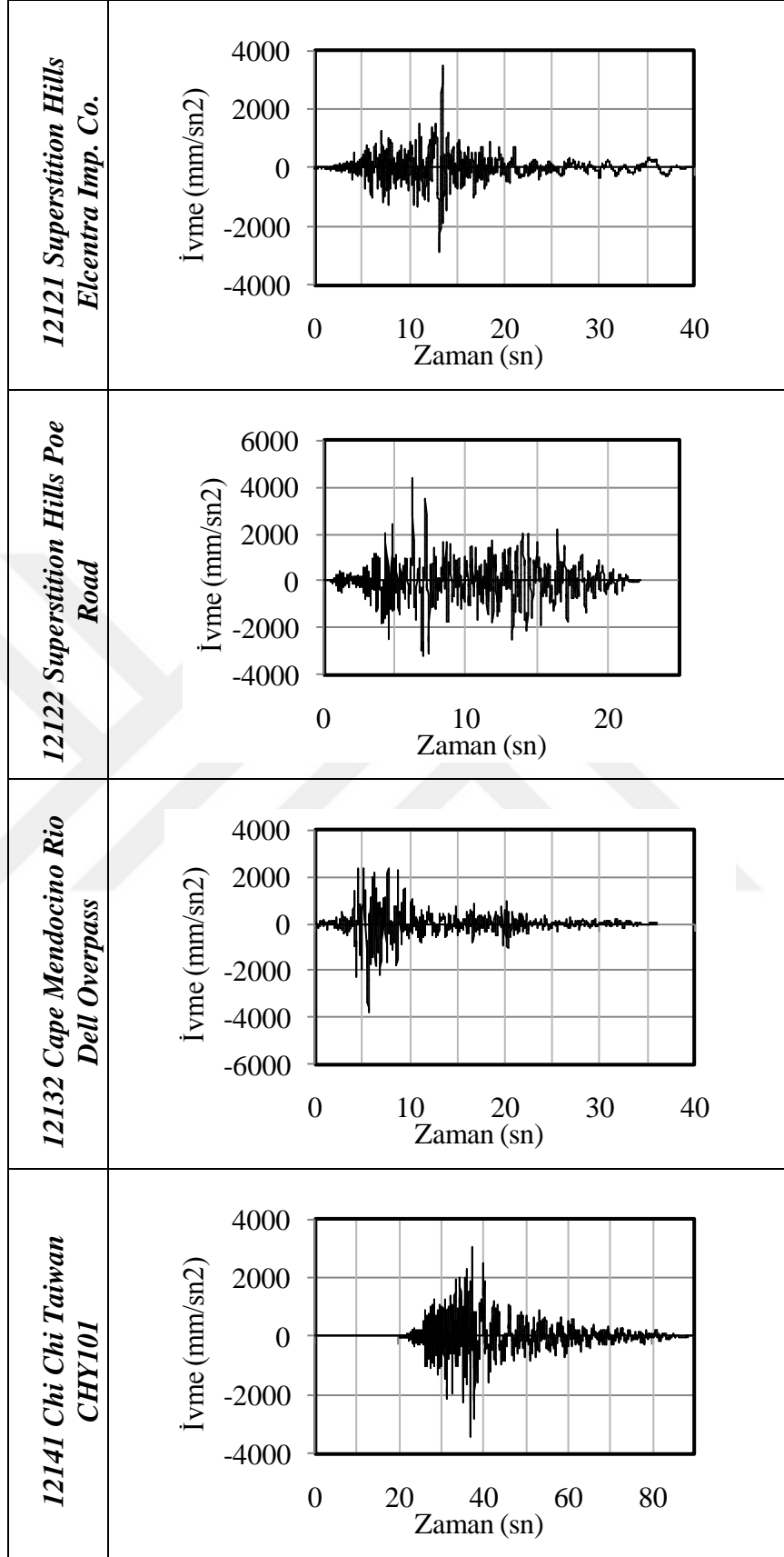
**Şekil 2.9:** Seçilmiş Deprem Kayıtlarının İvmeleri

Şekil 2.9 bir sonraki sayfada devam etmektedir.



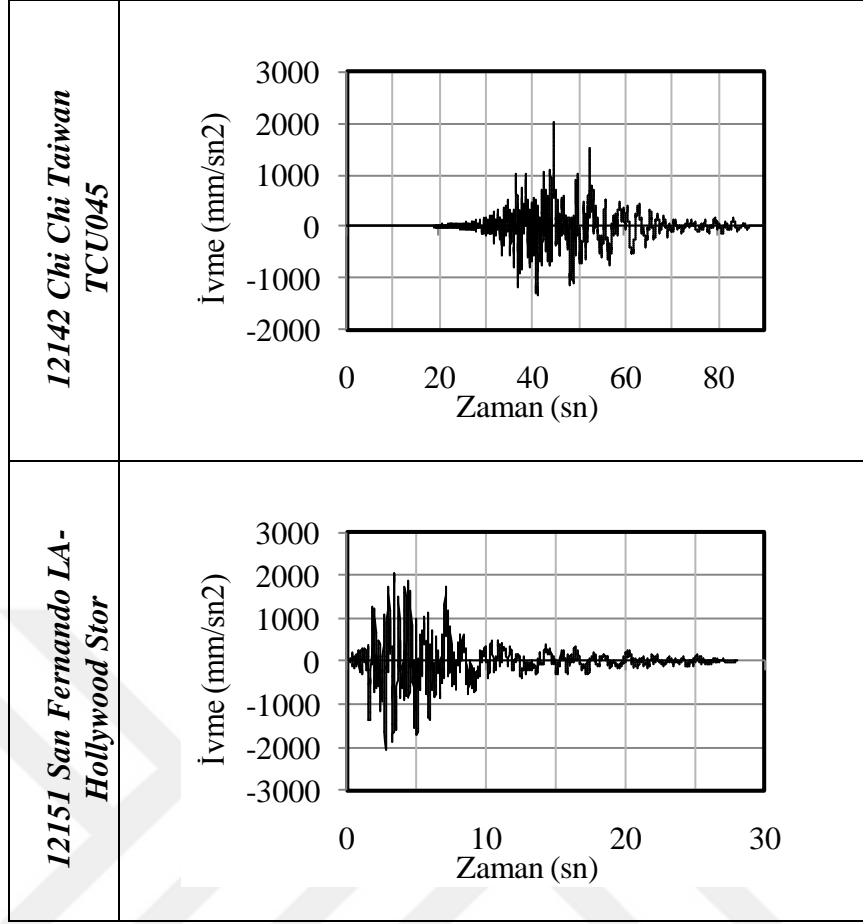
**Şekil 2.9:** Seçilmiş Deprem Kayıtlarının İvmeleri

Şekil 2.9 bir sonraki sayfada devam etmektedir.



**Şekil 2.9:** Seçilmiş Deprem Kayıtlarının İvmeleri

Şekil 2.9 bir sonraki sayfada devam etmektedir.



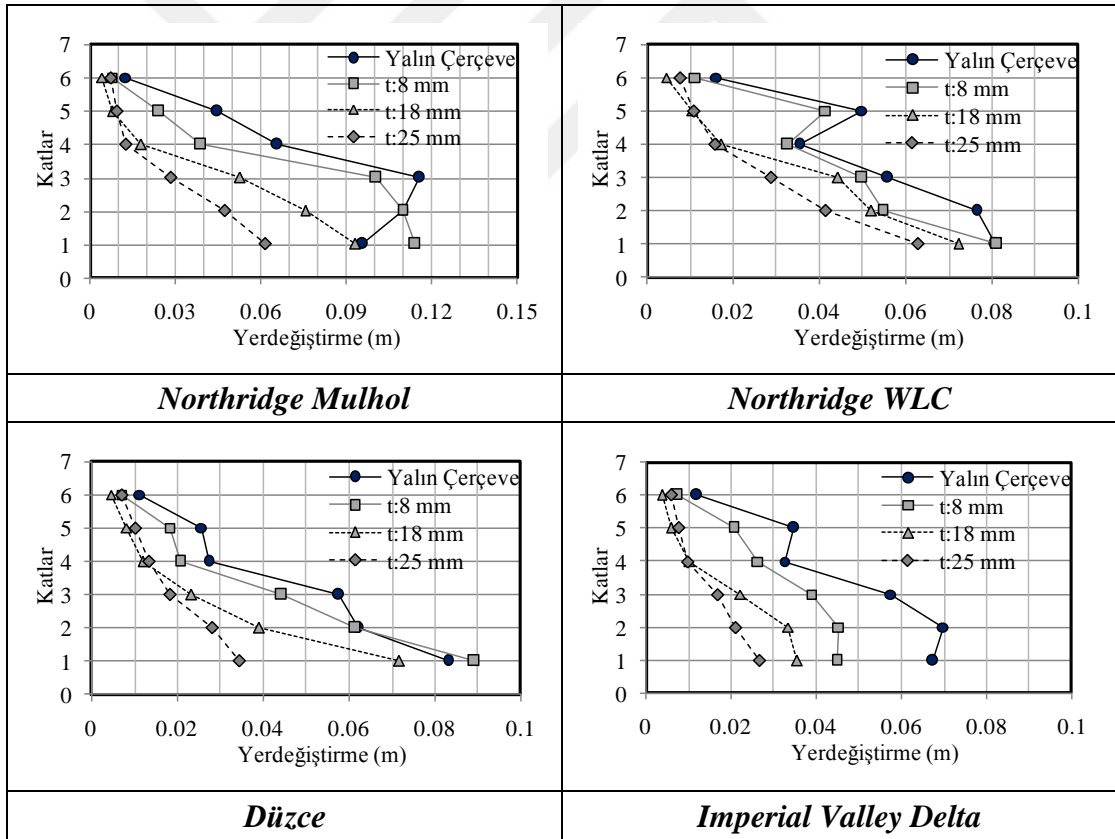
Şekil 2.9: Seçilmiş Deprem Kayıtlarının İvmeleri

### 3. ANALİZ SONUÇLARI

Yalın ve güçlendirilmiş çerçeve sistemleri için lineer olmayan dinamik analizler toplam 13 deprem kaydı etkisinde gerçekleştirilmiştir. Buradaki bölümde bu sonuçlara değinilecektir.

#### 3.1. Kat Yerdeğİştİrmeleri

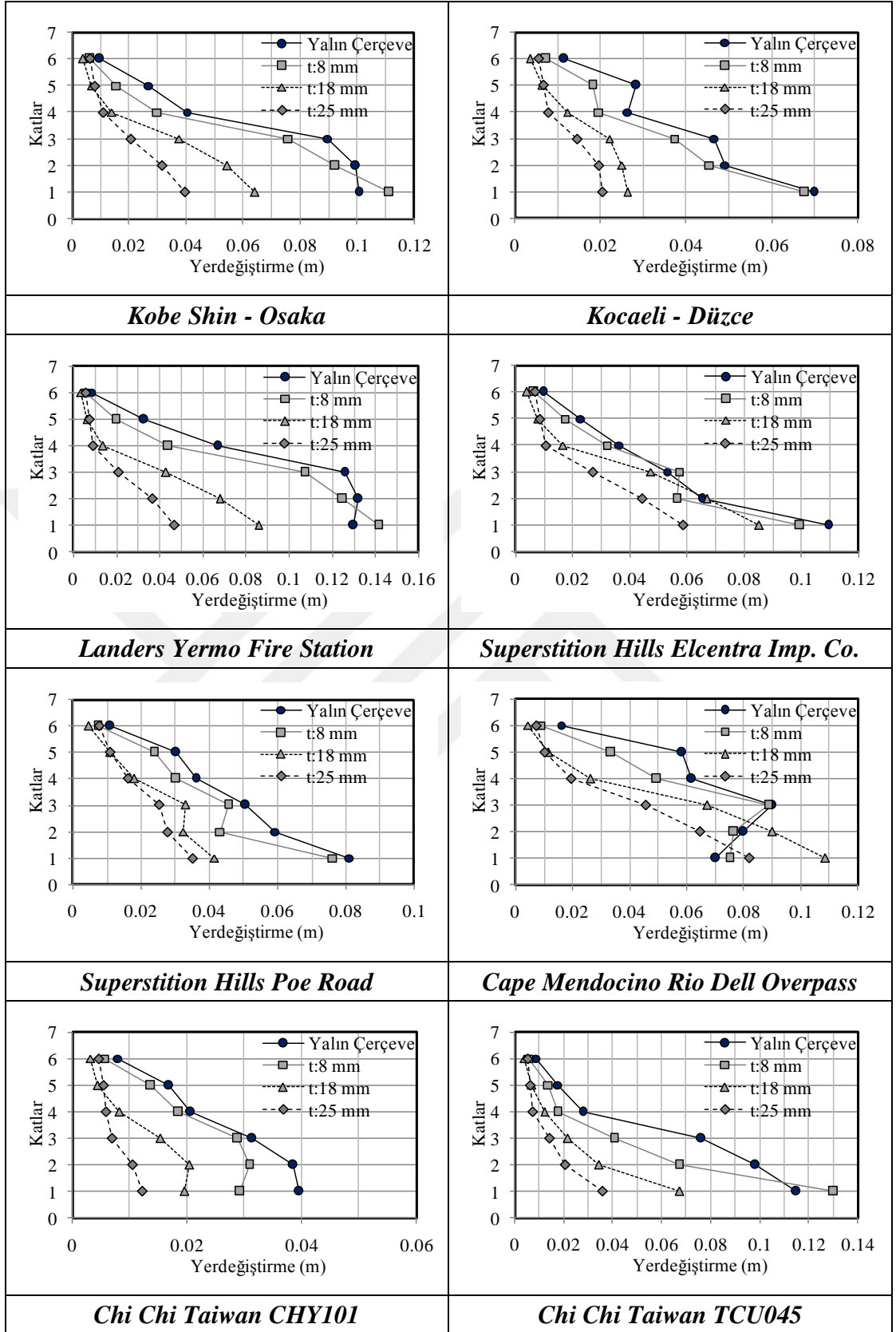
Kat yerdeğİştİrmeleri rölatif olarak hesaplanmıştır. Yalın durum için yapılan analiz sonrasında elde edilen kat yerdeğİştİrmelerine ait sonuçlar ile 8, 18, 25 mm kalınlığa sahip metal sönümleyiciler kullanılarak yapılan güçlendirme sonrası analiz sonuçlarından elde edilen kat yerdeğİştİrmelerinin karşılaştırılması Şekil 3.1’de görölmektedir.



Şekil 3.1: Yalın Durum ve Güçlendirilmiş Durum için Kat Yerdeğİştirme Sonuçlarının Karşılaştırması

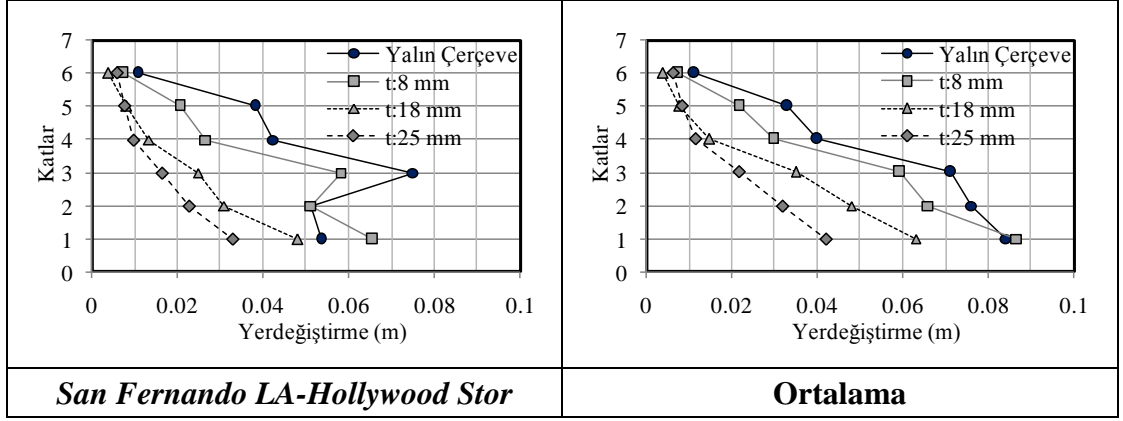
Şekil 3.1 bir sonraki sayfada devam etmektedir.





**Şekil 3.1:** Yalın Durum ve Güçlendirilmiş Durum için Kat Yerdeğiştirme Sonuçlarının Karşılaştırması

Şekil 3.1 bir sonraki sayfada devam etmektedir.



**Şekil 3.1:** Yalın Durum ve Güçlendirilmiş Durum için Kat Yerdeğiştirme Sonuçlarının Karşılaştırması

Güçlendirilmiş durumda birçok deprem kaydı için kat yerdeğiştirme değerlerinde önemli ölçüde azalmalar görülmüştür. Deprem kayıtlarından *Northridge Mulhol* deprem kaydı göz önüne alındığında, kalınlığı 25 mm olan çelik yastık ile yapının ilk katında 0.06 m yerdeğiştirme gözlenirken aynı kat hizasında kalınlığı 8 mm olan çelik elemanın kullanıldığı durumda 0.12 m yerdeğiştirme sağlanmıştır. Bu durumda çelik eleman, yerdeğiştirme istemini %50 azaltmıştır. Benzer şekilde *Chi Chi Taiwan TCU045* deprem kaydı ele alındığında, kalınlığı 25 mm olan çelik yastık ile yapının ilk katında 0.04 m yerdeğiştirme gözlenirken aynı kat hizasında kalınlığı 8 mm olan çelik elemanın kullanıldığı durumda 0.13 m yerdeğiştirme sağlanmıştır. Yalın ve güçlendirilmiş duruma ait kat yerdeğiştirme sonuçları, kat bazında ortalamaları alınarak Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

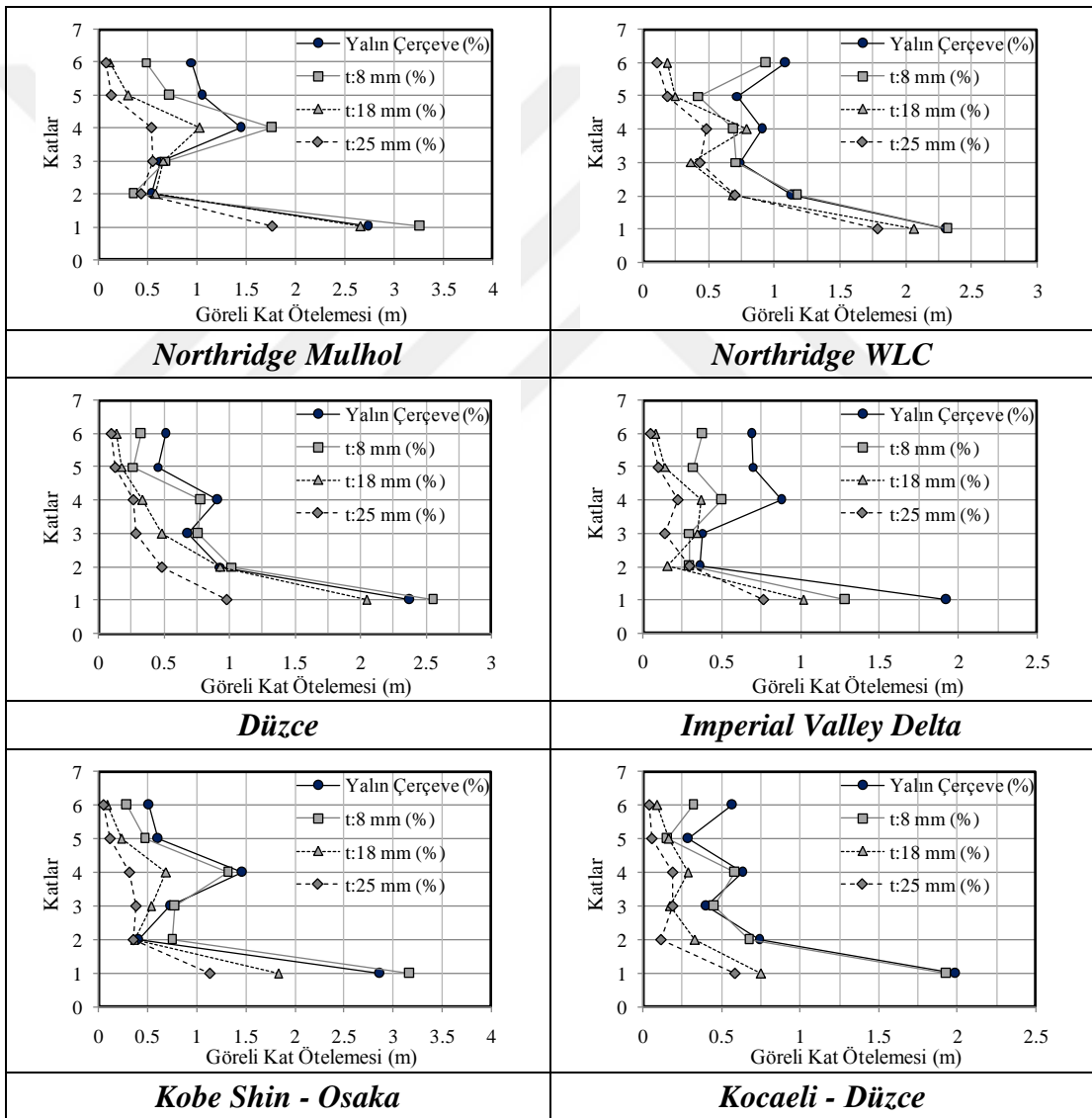
**Tablo 3.1:** Yalın ve Güçlendirilmiş Durum için Ortalama Kat Yerdeğiştirmeleri

ORTALAMA (m)				
Katlar	Yalın Çerçeve	t=8 mm	t=18 mm	t=25 mm
1	0.084	0.087	0.063	0.042
2	0.076	0.066	0.048	0.032
3	0.071	0.059	0.035	0.022
4	0.040	0.030	0.015	0.011
5	0.033	0.022	0.008	0.008
6	0.011	0.007	0.004	0.006

Kat yerdeğiştirme ortalamaları incelendiğinde yalın çerçevede 1. kat için ortalama 0.08 m yerdeğiştirme görülürken 25 mm metal sönümleyicinin kullanıldığı güçlendirilmiş durumda aynı kat hizasında yerdeğiştirmenin 0.04 m mertebelerine düştüğü görülmüştür.

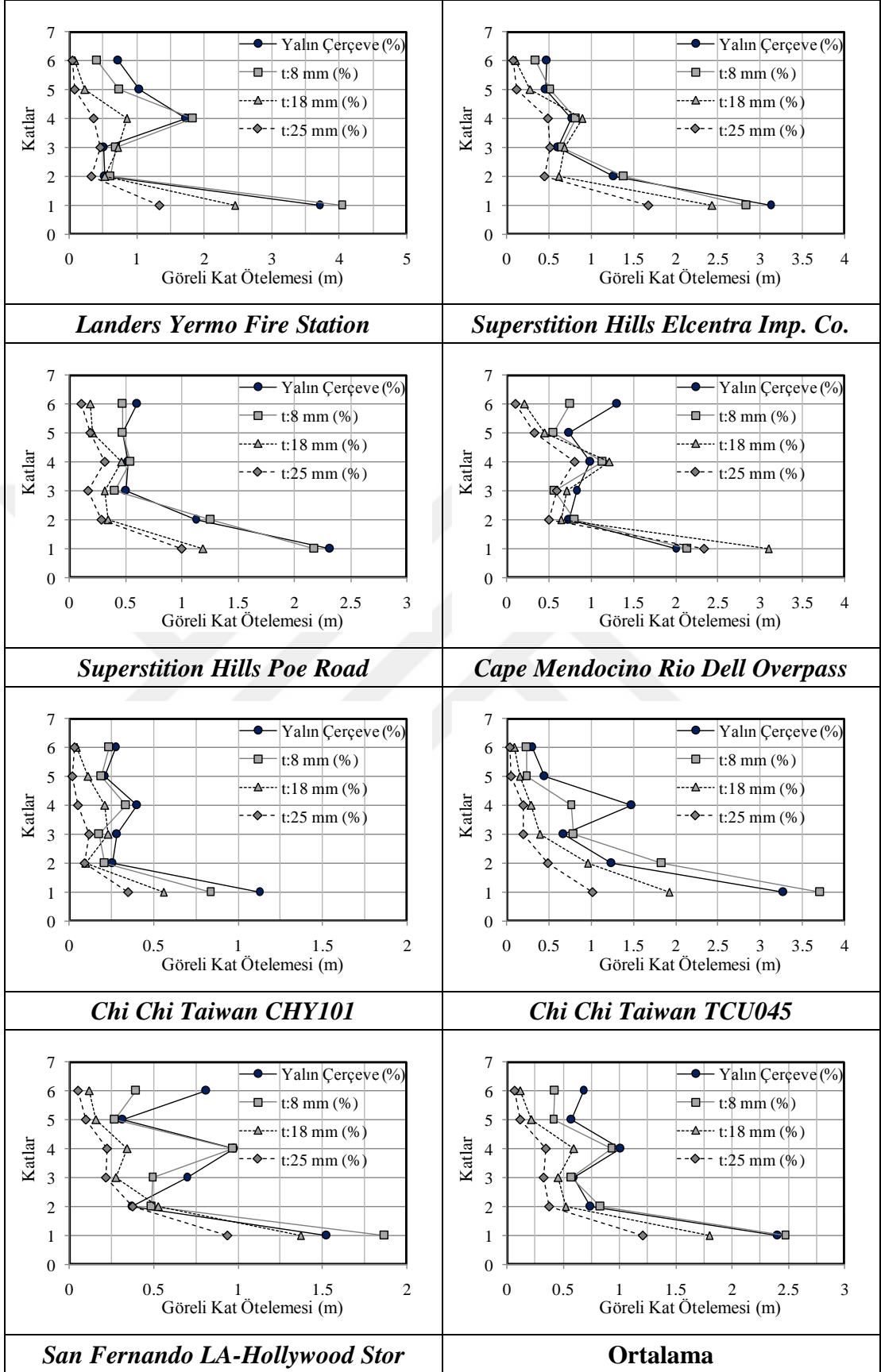
### 3.2. Görelî Kat Ötelemeleri

Yalın durum ve güçlendirilmiş durum için yapılan analiz sonrasında elde edilen görelî kat ötelemesi ait sonuçlar Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2: Yalın Durum ve Güçlendirilmiş Durum için Görelî Kat Öteleme Sonuçlarının Karşılaştırması

Şekil 3.2 bir sonraki sayfada devam etmektedir.



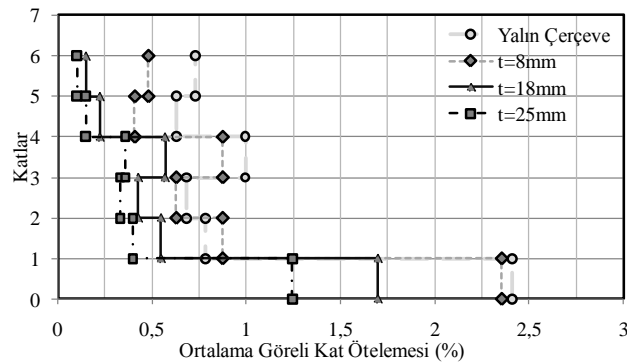
Şekil 3.2: Yalın Durum ve Güçlendirilmiş Durum için Görel Kat Öteleme Sonuçlarının Karşılaştırması

Güçlendirilmiş durumda birçok deprem kaydı için görel kat ötelemesi değerlerinde önemli ölçüde azalmalar görülmüştür. Deprem kayıtlarından *Düzce* deprem kaydı göz önüne alındığında, kalınlığı 25 mm olan çelik yastık ile yapının ilk katında görel kat öteleme miktarı %1.0 iken aynı kat hizasında kalınlığı 8 mm olan çelik elemanın kullanıldığı durumda % 2.5 öteleme gerçekleşmiştir. Bu durumda çelik eleman, öteleme miktarını %60 azaltmıştır. Benzer şekilde *Kocaeli-Düzce* deprem kaydı ele alındığında, kalınlığı 25 mm olan çelik yastık ile yapının ilk katında görel kat öteleme miktarı %0.5 iken aynı kat hizasında kalınlığı 8 mm olan çelik elemanın kullanıldığı durumda %2.0 öteleme gerçekleşmiştir. Yalın ve güçlendirilmiş duruma ait görel kat öteleme sonuçları, kat bazında ortalamaları alınarak Tablo 3.2’de ve grafiksel olarak Şekil 3.3’te gösterilmiştir.

**Tablo 3.2:** Yalın ve Güçlendirilmiş Durum için Ortalama Görel Kat Ötelemeleri

ORTALAMA (%)				
Katlar	Yalın Çerçeve	t:8 mm	t:18 mm	t:25 mm
1	2.41	2.47	1.80	1.20
2	0.74	0.84	0.52	0.38
3	0.59	0.57	0.45	0.33
4	1.01	0.93	0.60	0.34
5	0.58	0.41	0.22	0.12
6	0.68	0.43	0.12	0.07

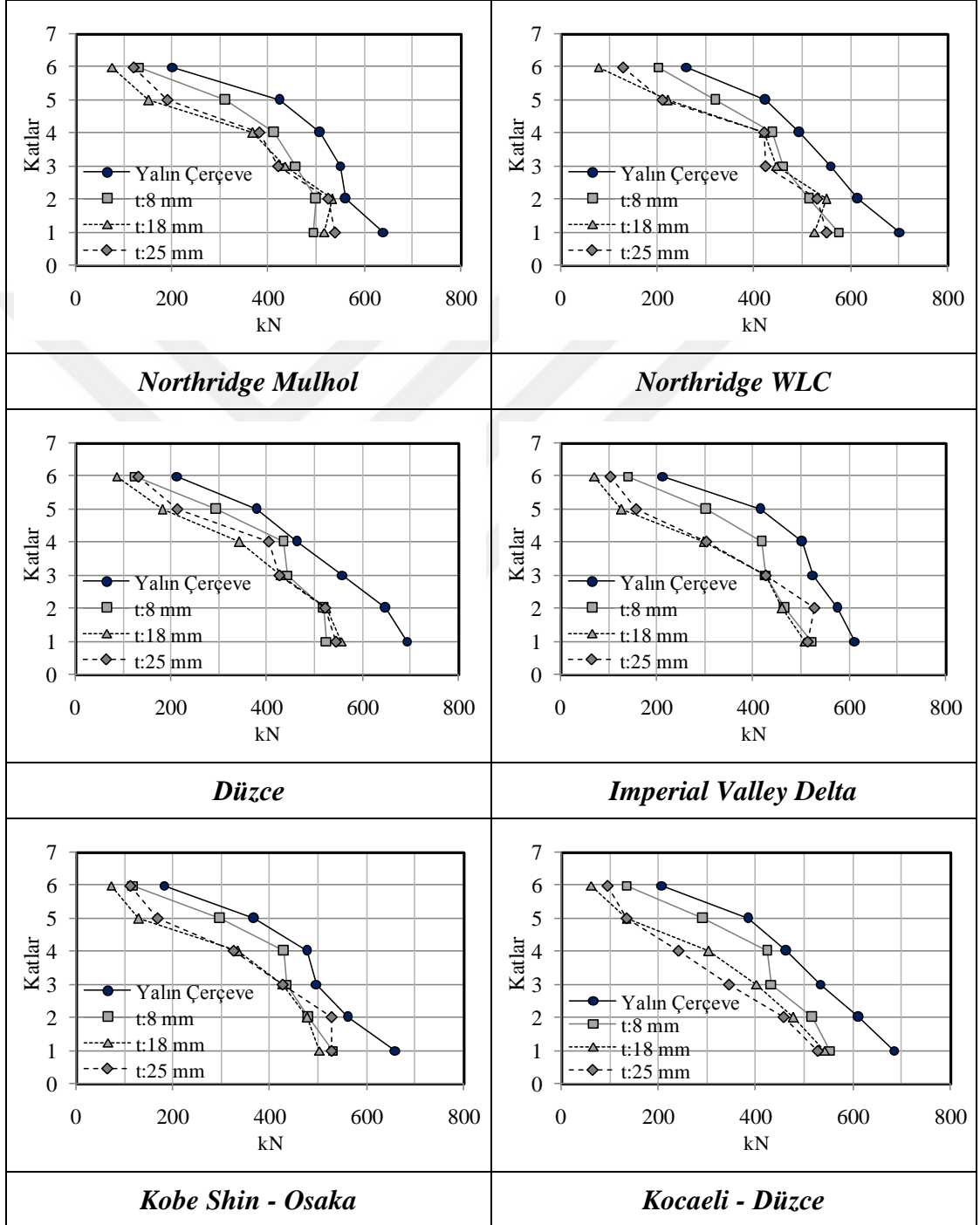
Görel kat ötelemeleri ortalamaları incelendiğinde yalın çerçevede 3. kat için ortalama %0.60 öteleme görülürken 25 mm metal sönümleyicinin kullanıldığı güçlendirilmiş durumda aynı kat hizasında ötelemenin %0.33 mertebelerine düştüğü görülmüştür.



**Şekil 3.3:** Ortalama Görel Kat Ötelemeleri

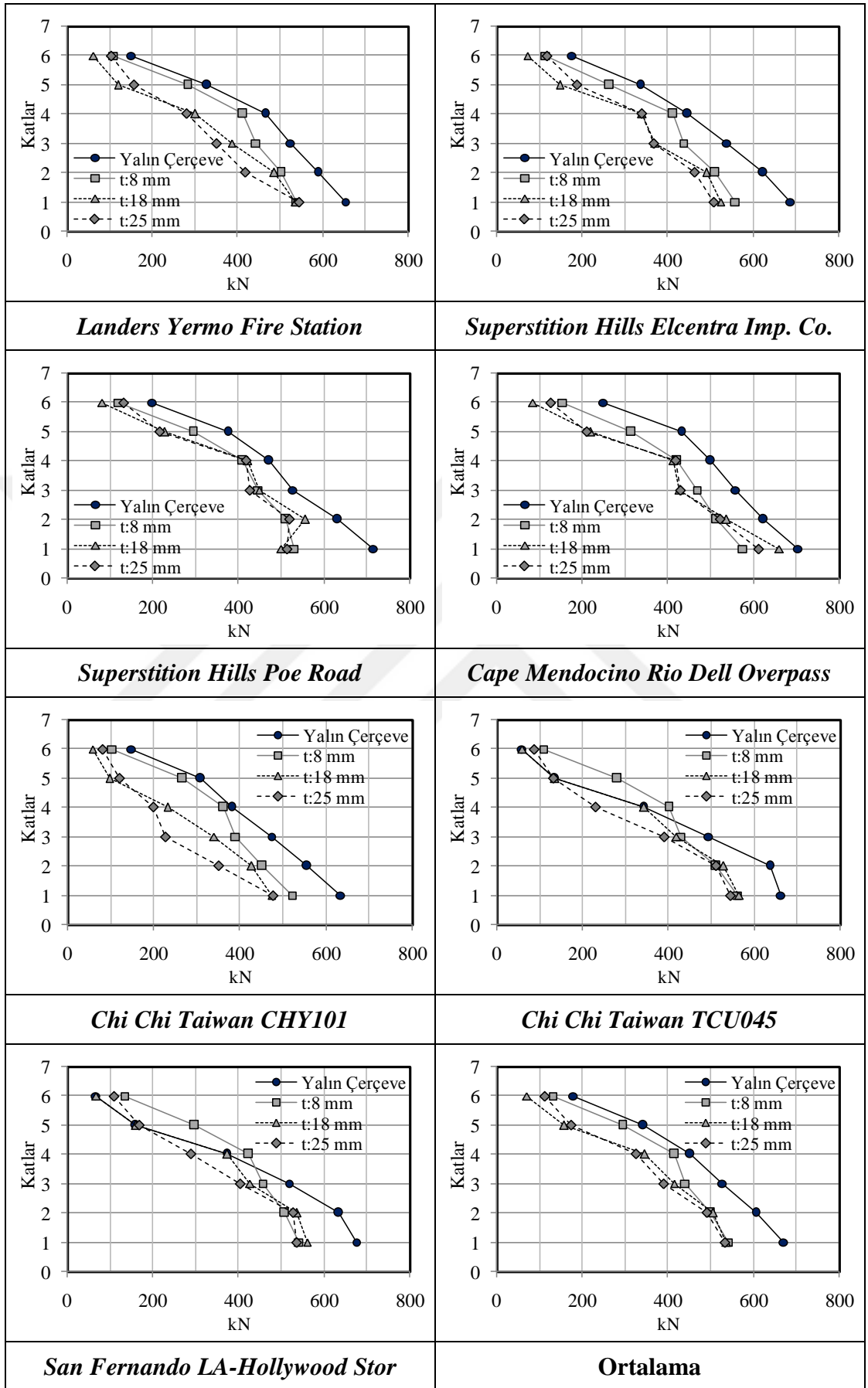
### 3.3. Kat Kesme Kuvvetleri

Yalın durum ve güçlendirilmiş durum için yapılan analiz sonrasında elde edilen kat kesme kuvvetlerine ait sonuçlar Şekil 3.4’te görülmektedir.



Şekil 3.4: Kat Kesme Kuvveti Değerleri

Şekil 3.4 bir sonraki sayfada devam etmektedir.



Şekil 3.4: Kat Kesme Kuvveti Değerleri

Güçlendirilmiş durumda birçok deprem kaydı için kat kesme kuvvetleri değerlerinde önemli ölçüde azalmalar görülmüştür. Deprem kayıtlarından *Imperial Valley Delta* deprem kaydı göz önüne alındığında, kalınlığı 25 mm olan çelik yastık ile yapının 5. katında 150 kN kesme kuvveti gözlenirken aynı kat hizasında yalın durumda 400 kN kat kesme kuvveti gerçekleşmiştir. Bu durumda çelik eleman, kat kesme kuvveti istemini %63 azaltmıştır. Benzer şekilde *Superstition Hills Poe Road* deprem kaydı ele alındığında, kalınlığı 25 mm olan çelik yastık ile yapının ilk katında 500 kN kat kesme kuvveti gözlenirken aynı kat hizasında yalın durumda 700 kN kat kesme kuvveti gerçekleşmiştir. Yalın ve güçlendirilmiş duruma ait kat kesme kuvvetleri sonuçları, kat bazında ortalamaları alınarak Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.3:** Yalın ve Güçlendirilmiş Durum için Ortalama Kat Kesme Kuvvetleri

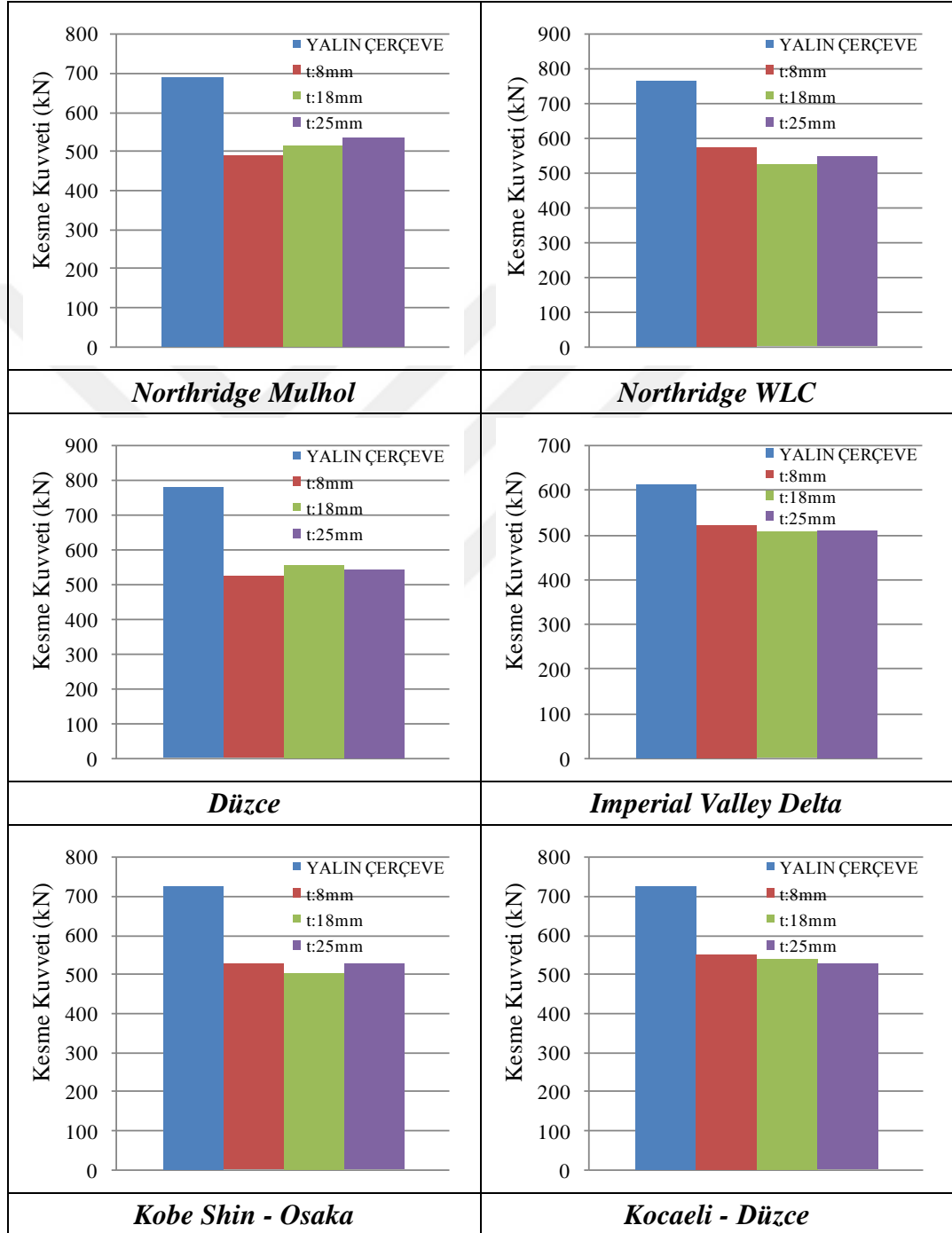
ORTALAMA (kN)				
Katlar	Yalın Çerçeve	t:8 mm	t:18 mm	t:25 mm
1	671.14	540.22	536.06	533.27
2	605.00	500.43	506.00	492.27
3	527.43	440.62	414.05	389.52
4	452.61	415.09	345.10	326.59
5	343.10	293.46	157.34	174.00
6	179.40	130.22	70.88	110.80

Kat kesme kuvvetlerinin ortalamaları incelendiğinde yalın çerçevede 1. kat için ortalama 671.14 kN kesme kuvveti görülürken 25 mm metal sönümleyicinin kullanıldığı güçlendirilmiş durumda aynı kat hizasında kesme kuvvetinin 533.27 kN mertebelerine düştüğü görülmüştür.



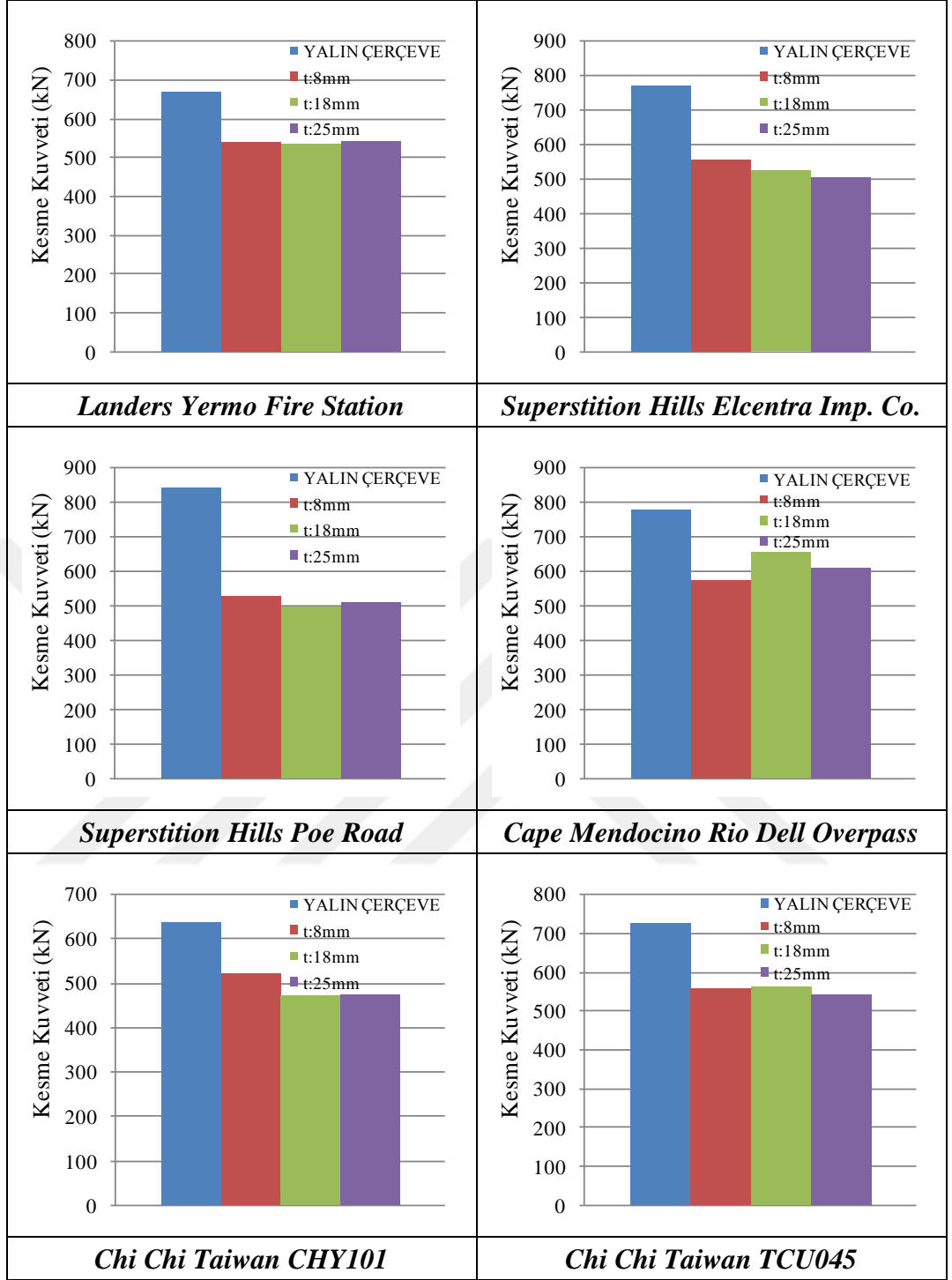
### 3.4. 1.Kat Kolonların Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Yalın durum ve güçlendirilmiş durum için yapılan analiz sonrasında elde edilen 1.kat kolonların kesme kuvvetlerine ait sonuçlar Şekil 3.5'te görülmektedir.



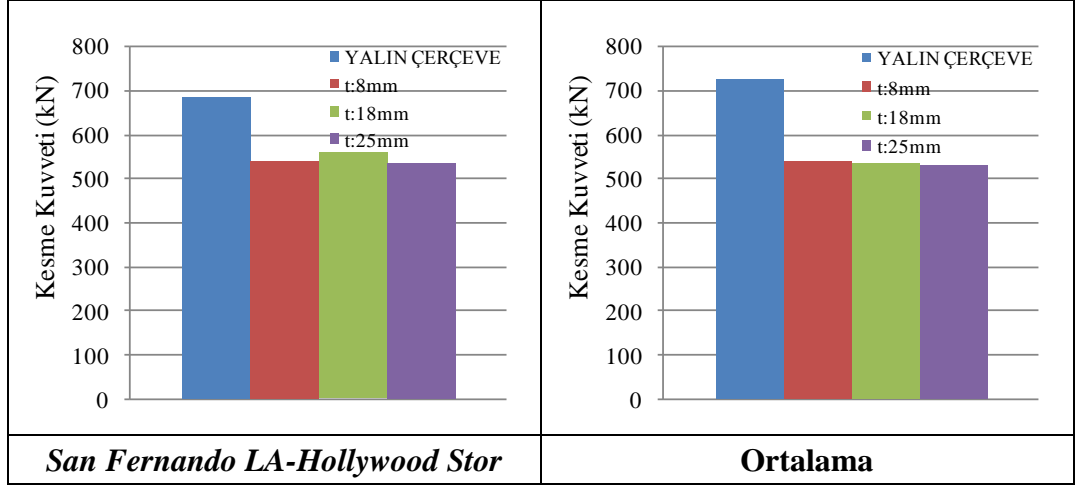
Şekil 3.5: 1.Kat Kolonların Kesme Kuvvetleri

Şekil 3.5 bir sonraki sayfada devam etmektedir.



**Şekil 3.5:** 1.Kat Kolonların Kesme Kuvvetleri

Şekil 3.5 bir sonraki sayfada devam etmektedir.



**Şekil 3.5:** 1.Kat Kolonların Kesme Kuvvetleri

Güçlendirilmiş durumda birçok deprem kaydı için 1.kat kolonlarına ait kesme kuvvetlerinde önemli ölçüde azalmalar görülmüştür. Deprem kayıtlarından *Northridge Mulhol* deprem kaydı göz önüne alındığında, kalınlığı 8 mm olan çelik yastık ile yapının 1.katına ait kolon kesme kuvveti 492 kN olarak gözlenirken yalın durumda aynı katta 690 kN kesme kuvveti gerçekleşmiştir. Bu durumda çelik eleman, 1.kat kolon kesme kuvveti istemini %30 azaltmıştır. Benzer şekilde *Kobe Shin - Osaka* deprem kaydı ele alındığında, kalınlığı 18 mm olan çelik yastık ile yapının 1.kat kolon kesme kuvveti 503 kN olarak gözlenirken yalın durumda aynı katta 728 kN kesme kuvveti gerçekleşmiştir. Yalın ve güçlendirilmiş durumda 1.kat kolon kesme kuvvetleri sonuçları ve güçlendirilmiş durum sonrasında meydana gelen azalma oranları Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.4:** Güçlendirme Sonrasında 1.Kat Kolonların Kesme Kuvvetlerinde Meydana Gelen Azalma Oranları (%)

1.KAT KOLONLARIN KESME KUVVETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI							
DEPREM	YALIN ÇERÇEVE (kN)	GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUM			AZALMA ORANI (%)		
		t:8mm (kN)	t:18mm (kN)	t:25mm (kN)	GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUM		
					t:8mm (%)	t:18mm (%)	t:25mm (%)
12011	689.94	492.92	516.32	537.76	28.56	25.16	22.06
12012	768.67	574.02	525.31	549.11	25.32	31.66	28.56
12041	782.43	524.69	556.94	543.77	32.94	28.82	30.50
12061	616.10	521.29	507.66	512.99	15.39	17.60	16.74
12072	728.08	529.61	502.87	526.77	27.26	30.93	27.65
12081	725.62	553.61	541.11	528.76	23.70	25.43	27.13
12091	668.22	538.35	536.99	544.40	19.44	19.64	18.53
12121	772.92	557.89	524.05	507.88	27.82	32.20	34.29
12122	845.01	529.95	500.23	512.97	37.28	40.80	39.29
12132	782.15	576.34	660.04	610.81	26.31	15.61	21.91
12141	639.86	520.99	472.88	475.67	18.58	26.10	25.66
12142	728.60	561.58	564.12	544.76	22.92	22.57	25.23
12151	687.23	541.56	560.29	536.85	21.20	18.47	21.88
ORTALAMA	725.76	540.22	536.06	533.27	25.57	26.14	26.52

1.kat kolon kesme kuvveti, 13 deprem kaydı ortalamaları incelendiğinde yalın çerçeve için ortalama 725.76 kN olarak görülürken 25 mm metal sönümleyicinin kullanıldığı güçlendirilmiş durumda 1.kat kolon kesme kuvvetinin 533.27 kN mertebelerine düştüğü görülmüştür. Bu durumda çelik eleman, 1.kat kolonlarındaki kesme kuvvetini %26.52 oranında azaltmıştır.

### 3.5 Kırılma Eğrileri

Kırılma fonksiyonlarının tahmini için gerekli tahmin yöntemlerinin kullanımı aşağıdaki bölümde irdelenmiştir. Uygun tahmin yöntemleri tanımlanmış ve ardından yapısal analiz gerçekleştirilmesine yönelik yaklaşımların incelenmesi ve gerekli olan en az sayıda yapısal analiz ile doğru kırılma fonksiyonu tahminleri üretecek yaklaşımların belirlenmesi için kullanılmıştır. Bulgular daha sonra kırılma fonksiyonlarına dair etkili tahminler üretecek yapısal analiz ve parametre tahmini konusunda önerilerde bulunulması amacıyla özetlenmektedir.

### 3.5.1 Kırılgnlık Fonksiyonlarının Oluşturulması

Kırılgnlık eğrileri hasarı esas alan saha gözlemleri ve yapısal analizler kullanılarak türetilmektedir (ör. Kennedy ve Ravindra 1984; Kim ve Shinozuka 2004; Calvi ve ark. 2006; Villaverde 2007; Porter ve ark. 2007; Shafei ve ark. 2011); ancak bu çalışmada, dinamik yapısal analizlerden yola çıkılarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada kırılgnlık eğrileri, sayısal yöntemler esas alınarak elde edilmiştir ve hasar dağılımının belirlenmesi için gerekli parametreler, zaman tanım alanında hesap yöntemi ile doğrusal olmayan dinamik analiz yapılarak bulunmuştur. Hasar oluşumunun istatistiksel yöntemleri esas alarak belirlenmesi ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde bu çalışma kapsamında Jack W. Baker tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır [20]. Jack W. Bakera'nın bu çalışması kırılgnlık fonksiyonlarının parametrelerinin doğrusal olmayan dinamik yapısal analiz sonuçları kullanılarak tahmin edilmesine yönelik istatistiksel yöntemleri tanımlanmakta ve bu yöntemler kırılgnlık fonksiyonlarını tahmin etmek için dinamik yapısal analiz yapmaya yönelik çeşitli yaklaşımların değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Yapısal analiz sonuçlarından elde edilen yıkılma kırılgnlığı fonksiyonları yapısal değerlendirme yöntemleri arasında sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada kırılgnlık eğrisinin belirlenmesine yönelik verilerin toplanması amacıyla doğrusal olmayan dinamik yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Yaygın olarak tercih edilen yaklaşımlardan bir tanesi artımsal dinamik analizdir (IDA). Yer hareketinin yıkılmaya sebep olduğu şiddet ölçüt düzeyinin (IM) hesaplanabilmesi için yer hareketi ivme kayıtları tekrarlanarak ölçeklenir (Vamvatsikos ve Cornell 2002; Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) 2009). Kırılgnlık eğrileri şiddet ölçüt düzeylerini (IM) ve her bir düzeyde gerçekleştirilecek analiz sayısını ve sonrasında toplanan veriyi kontrol edebilmektedir. Bir kırılgnlık eğrisinin tanımlanması normal kümülatif dağılım fonksiyonu kullanılır (Denklemler 3.1). Burada:  $P(C/IM=x)$ ,  $IM = x$  olan bir yer hareketi ile yapının yıkılmasına yol açma olasılığı olup,  $\Phi(\cdot)$ , standart normal kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF);  $\theta$ , kırılgnlık fonksiyonunun medyanı (%50 yıkılma olasılığına sahip IM düzeyi); ve  $\beta$ ,  $\ln(IM)$  için standart sapmadır. Kırılgnlık eğrilerinin oluşturulmasında söz konusu yapı için geçerli olan duruma ulaşılabilmesi için "θ" ve "β" değerlerinde iteratif yaklaşımlar ile tahmin edilmiştir.

$$P(C/IM = x) = \Phi\left(\frac{\ln(x/\theta)}{\beta}\right)$$

### Denklem 3.1: Kümülatif Dağılım Fonksiyonu

Bu çalışmada kırılma eğrileri analitik yöntemle elde edilmiştir. Eğrilerin belirlenmesinde '*Zaman Tanım Alanında Lineer Olmayan Hesap Yöntemi*' kullanılmıştır. Söz konusu analizler için FEMA P695'te tavsiye edilen deprem kayıtları esas alınmıştır. Kırılma eğrileri oluşturulurken deprem şiddet ölçüsü olarak maksimum zemin ivmesi (PGA) kullanılmıştır. Analiz serisinde deprem kayıtlarının maksimum ivme değerlerinin 0.1g ile 0.9g aralığındaki değerlere eşitlenecek şekilde lineer olarak ölçeklendirilmiştir. Toplamda 13 adet deprem kaydı yalın ve güçlendirilmiş durum için toplamda 117 adet farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Hasar durumlarının sınıflandırılmasında görece kat öteleme oranları kullanılmıştır. Bu hasar durumlarının sınıflandırılması TDY-07'ye göre yapılmıştır.

Kırılma eğrilerinin oluşturulabilmesi için Jack W. Baker'ın 3.Bölümde anlatılmış olan çoklu analiz tipi yöntemine göre hazırlanmış olduğu Şekil 3.6'da görülen temsili excel programı kullanılmıştır.

**Maximum likelihood parameter estimates using multiple stripes analysis data**  
**Jack Baker**  
**July 15, 2011**

This spreadsheet implements equation 11 of the following paper:  
 Baker, J. W. (2013). "Efficient analytical fragility function fitting using dynamic structural analysis." *Earthquake Spectra*, (in review).

These columns are used to produce the fragility function for the figure.

Populate the gray-shaded cells with results from analysis

Fragility function

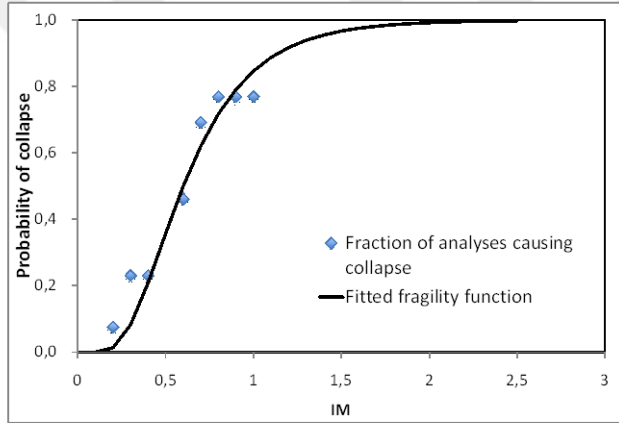
IM	Number of analyses	Number of collapses	Fraction causing collapse	Theoretical fragility function	Likelihood	Log likelihood
0,2	13	1	0,08	0,01	0,154	-1,873
0,3	13	3	0,23	0,08	0,068	-2,682
0,4	13	3	0,23	0,21	0,250	-1,385
0,6	13	6	0,46	0,50	0,209	-1,563
0,7	13	9	0,69	0,62	0,203	-1,596
0,8	13	10	0,77	0,72	0,233	-1,456
0,9	13	10	0,77	0,79	0,250	-1,385
1	13	10	0,77	0,85	0,195	-1,633

Jack Baker:  
Let Solver change these two values

Jack Baker:  
Run Solver to maximize this cell

$\theta$  0,60  
 $\beta$  0,50  
 sum = -13,573

IM	COF
0,1	0,00
0,2	0,01
0,3	0,08
0,4	0,21
0,5	0,36
0,6	0,50
0,7	0,62
0,8	0,72
0,9	0,79
1	0,85
1,1	0,89
1,2	0,92
1,3	0,94
1,4	0,95
1,5	0,97
1,6	0,98
1,7	0,98
1,8	0,99
1,9	0,99
2	0,99
2,1	0,99
2,2	1,00
2,3	1,00
2,4	1,00
2,5	1,00



**Şekil 3.6:** Kırılgnlık Eğrilerinin Oluşturulmasında İçin Temsili Hesap Yöntemi [20]

### 3.5.2. Mevcut Yapı Analiz Sonuçları ve Kırılgnlık Eğrileri

Bu çalışmada güçlendirme için önerilen yöntemlerden özellikle çelik bağlantı eleman kalınlığının 25 mm olması durumu göz önüne alınmıştır. Kırılgnlık eğrilerinin oluşturulması öncesinde gerçekleştirilen yerdeğiştirme ve taban kesme kuvveti gibi önemli parametreler kapsamında değerlendirildiğinde 25 mm kalınlığındaki bağlantı elemanın güçlendirme yöntemi için görece olarak daha uygun olduğu düşünülmüştür. Bu bağlamda kırılgnlık eğrileri çelik bağlantı eleman kalınlığının 25 mm olması durumu ele alınmıştır.

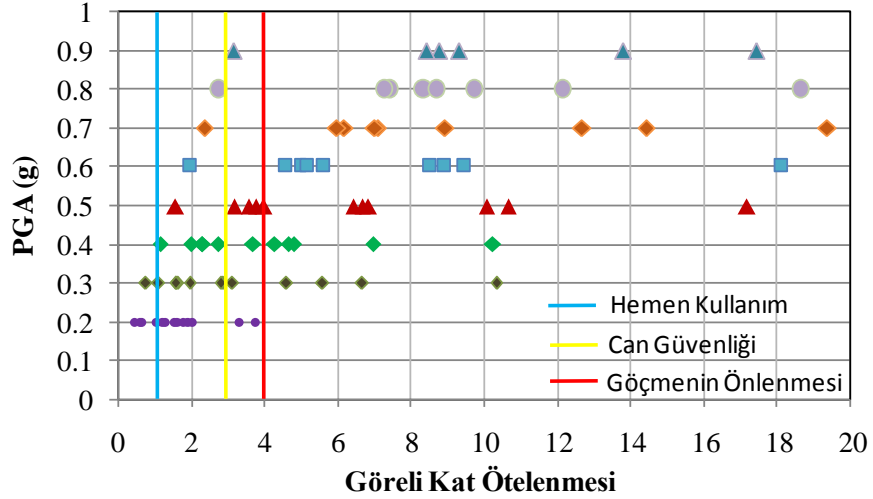
### 3.5.3. Analizler Sonucunda Oluşan Maksimum Görelî Kat Ötelemesi Değerleri

Yalın çerçeve için yapılan analiz sonuçlarından elde edilen maksimum görelî kat öteleme oranları (%) Tablo 3.5'te verilmiştir. Tablodaki değerler kullanılarak Şekil 3.7'de yer alan grafik oluşturulmuştur. Grafik üzerine TDY 2007'deki limit sınırları konulmuş olup hangi deprem kayıtlarının bu sınırları aştığı görülmüştür.

**Tablo 3.5:** Yalın Durum için Elde Edilen Maksimum Görelî Kat Ötelemeleri (%)

PGA	0.2g	0.3g	0.4g	0.5g	0.6g	0.7g	0.8g	0.9g
12011	1.25	1.98	2.73	3.78	4.97	6.18	7.43	8.76
12012	0.62	1.64	2.31	3.99	5.64	7.11	8.34	9.32
12041	0.42	0.77	1.17	1.59	1.99	2.38	2.77	3.15
12061	1.93	4.59	6.98	10.66	55.84	77.10	79.65	79.53
12072	1.78	2.87	4.30	6.69	9.47	12.67	18.64	33.61
12081	1.99	5.58	10.24	17.16	22.89	19.35	23.29	34.30
12091	3.71	6.65	21.76	45.01	52.04	55.30	57.23	58.31
12121	1.63	3.13	4.81	6.43	8.94	14.42	22.18	29.11
12122	1.01	1.59	2.32	3.58	5.20	7.01	9.74	13.77
12132	1.25	1.58	2.00	3.19	4.62	5.99	7.28	8.43
12141	0.56	1.13	3.70	6.84	8.54	8.94	8.71	56.46
12142	3.28	10.33	58.70	65.61	56.51	72.89	75.23	76.25
12151	1.53	2.80	4.66	10.06	18.13	24.48	12.16	17.43





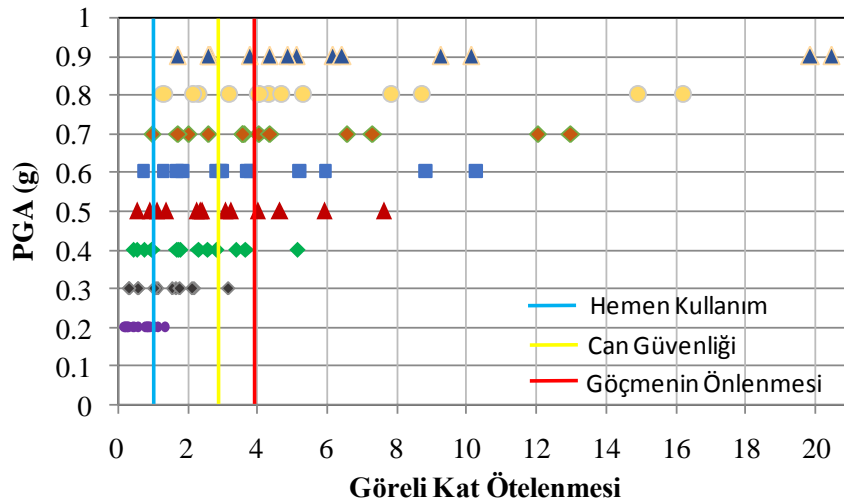
**Şekil 3.7:** Deprem Büyüklüklerine Göre Yalın Durumda Oluşan Maksimum Görelî Kat Öteleme Değerleri

Yapının göçmenin önlenmesi performans seviyesini geçen analiz sonuçları Şekil 3.7’de görülmektedir. Yalın çerçeve durumunda  $PGA=0.2g$  deprem seviyesinde göçmenin önlenmesi performans seviyesinin ilerisine geçilmemiş olup; daha ileri seviye PGA larda %4 görelî kat öteleme seviyesini çok fazla aştığı gözlemlenmiştir.

Güçlendirilmiş durum için yapılan analiz sonuçlarından elde edilen maksimum görelî kat öteleme oranları (%) Tablo 3.6’te verilmiştir. Güçlendirilmiş durumda, yapının  $PGA=0.4g$  tasarım depreminde göçmenin önlenmesi seviyesine ulaşmak üzere olduğu Şekil 3.8’de görülmektedir. Güçlendirme etkisi ile  $PGA=0.2G$  seviyesinde yalın durumda ulaşılan görelî kat öteleme seviyesine  $PGA=0.4g$  seviyesinde ulaşılmıştır.

**Tablo 3.6:** Güçlendirilmiş Durum için Elde Edilen Maksimum Görelî Kat Ötelemeleri (%)

PGA	0.2g	0.3g	0.4g	0.5g	0.6g	0.7g	0.8g	0.9g
12011	0.55	1.13	1.76	2.34	2.94	3.63	4.36	5.13
12012	0.48	1.14	1.79	2.40	2.99	3.57	4.02	4.33
12041	0.23	0.34	0.45	0.56	0.74	0.98	1.33	1.70
12061	0.76	1.08	1.72	2.26	2.79	3.56	4.70	6.14
12072	1.13	2.21	3.41	4.65	5.94	7.31	8.71	10.11
12081	0.32	0.58	0.78	1.11	1.91	2.60	3.21	3.78
12091	1.33	3.18	5.16	7.62	10.30	12.97	16.19	20.44
12121	0.80	1.68	2.60	3.24	3.76	4.07	4.06	4.85
12122	0.26	0.59	1.00	1.39	1.72	2.04	2.34	2.64
12132	0.89	1.55	2.34	3.09	3.77	4.37	5.34	6.44
12141	0.20	0.35	0.57	0.93	1.30	1.74	2.19	2.60
12142	1.01	2.16	3.67	5.92	8.83	12.04	14.90	19.84
12151	0.94	1.77	2.82	4.01	5.24	6.55	7.85	9.24



**Şekil 3.8:** Deprem Büyüklüklerine Göre Güçlendirilmiş Durumda Oluşan Maksimum Görelî Kat Öteleme Değerleri

### 3.5.4. Hasar Sınıflarına Göre Oluşturulmuş Kırılgenlik Eğrileri

#### 3.5.4.1 Hemen Kullanım (HK) Performans Seviyesi için Kırılgenlik Eğrisi

Yapılan analizlerde kırılgenlik eğrilerinin oluşturulması için şiddet ölçüleri ve hemen kullanım performans seviyesini aşan analiz sayısı yalın ve güçlendirilmiş durum için Tablo 3.7 ve 3.8’de sınıflandırılmıştır.

**Tablo 3.7:** HK Performans Seviyesinde Kırılgenlik Eğrisini Oluşturabilmek için Olasılık Tablosu - Yalın Durum

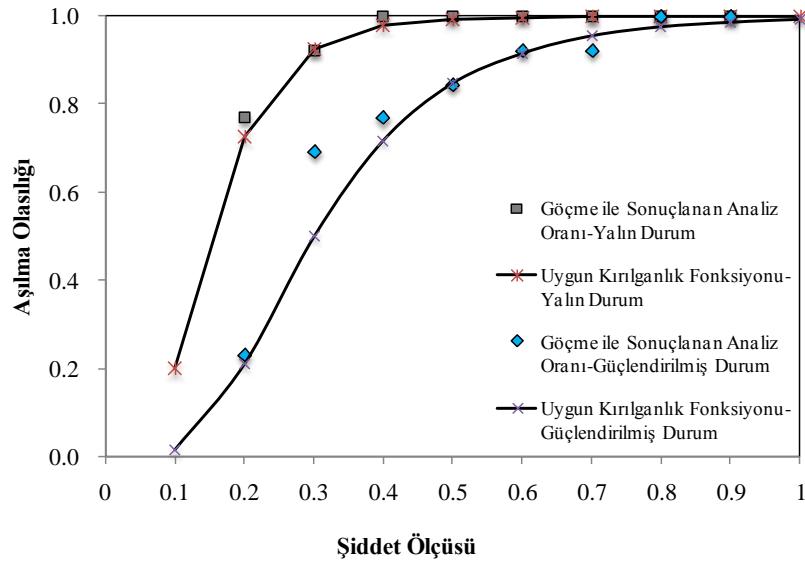
Şiddet Ölçüsü	Analiz Sayısı	Limiti Geçen Analiz Sayısı	Göçme ile Sonuçlanma Oranı	Teorik Kırılgenlik Fonksiyonu	Olasılık	Logaritmik Olasılık
0.2	13	10	0.77	0.73	0.239	-1.431
0.3	13	12	0.92	0.93	0.382	-0.961
0.4	13	13	1.00	0.98	0.764	-0.269
0.5	13	13	1.00	0.99	0.924	-0.079
0.6	13	13	1.00	1.00	0.975	-0.025
0.7	13	13	1.00	1.00	0.991	-0.009
0.8	13	13	1.00	1.00	0.997	-0.003
0.9	13	13	1.00	1.00	0.999	-0.001

Yalın durumda  $PGA=0.2g$  ve  $PGA=0.4g$  kayıtlarında hemen kullanım performans seviyesini aşan analiz sonucu sayısı sırasıyla 10 ve 13’tür.

**Tablo 3.8:** HK Performans Seviyesinde Kırılgenlik Eğrisini Oluşturabilmek için Olasılık Tablosu - Güçlendirilmiş Durum

Şiddet Ölçüsü	Analiz Sayısı	Limiti Geçen Analiz Sayısı	Göçme ile Sonuçlanma Oranı	Teorik Kırılgenlik Fonksiyonu	Olasılık	Logaritmik Olasılık
0.2	13	3	0.23	0.21	0.250	-1.385
0.3	13	9	0.69	0.50	0.087	-2.439
0.4	13	10	0.77	0.72	0.233	-1.456
0.5	13	11	0.85	0.85	0.294	-1.224
0.6	13	12	0.92	0.92	0.382	-0.964
0.7	13	12	0.92	0.95	0.337	-1.088
0.8	13	13	1.00	0.98	0.720	-0.328
0.9	13	13	1.00	0.99	0.833	-0.183

Güçlendirilmiş durumda  $PGA=0.2g$  ve  $PGA=0.4g$  kayıtlarında hemen kullanım performans seviyesini aşan analiz sonucu sayısı sırasıyla 3 ve 10'dur. Güçlendirme etkisiyle tanımlanan performans seviyelerini aşan analiz sayısının azaldığı görülmektedir. Bu azalım yapının öngörülen performans seviyesinde kaldığını istatistiki olarak göstermektedir. Ulaşılan değerler aşılma olasılığını deprem şiddetleri ile ilişkilendiren kırılmalık eğrilerinin oluşmasını sağlamıştır. Yalın ve güçlendirilmiş durum için belirlenen kırılmalık eğrileri hemen kullanım performans seviyesi için Şekil 3.9'da verilmiştir.



**Şekil 3.9:** HK Performans Seviyesinde Yalın ve Güçlendirilmiş Durum için Kırılmalık Eğrileri

Şekil 3.9'da yalın ve güçlendirilmiş durum için verilen kırılmalık eğrileri  $PGA=0.4g$  tasarım depremi etkisi altında yalın durumda %95 aşılma olasılığına ulaşılırken, bu değer güçlendirilmiş durum için aynı deprem seviyesi için %70 civarına indiği görülmektedir. Benzer şekilde  $PGA=0.2g$  için yalın durumda aşılma olasılığı %75 iken, güçlendirilmiş durumda aynı deprem seviyesi için %20 civarına indiği görülmektedir.

### 3.5.4.2 Can Güvenliği (CG) Performans Seviyesi için Kırılđanlık Eğrisi

Yapılan analizlerde kırılđanlık eğrilerinin oluşturulması için şiddet ölçüleri ve can güvenliği performans seviyesini aşan analiz sayısı yalın ve güçlendirilmiş durum için Tablo 3.9 ve 3.10’da sınıflandırılmıştır.

**Tablo 3.9:** CG Performans Seviyesinde Kırılđanlık Eğrisini Oluşturabilmek için Olasılık Tablosu - Yalın Durum

Şiddet Ölçüsü	Analiz Sayısı	Limiti Geçen Analiz Sayısı	Göçme ile Sonuçlanma Oranı	Teorik Kırılđanlık Fonksiyonu	Olasılık	Logaritmik Olasılık
0.2	13	2	0.15	0.13	0.286	-1.252
0.3	13	5	0.38	0.38	0.223	-1.502
0.4	13	8	0.62	0.61	0.222	-1.504
0.5	13	12	0.92	0.76	0.119	-2.130
0.6	13	12	0.92	0.86	0.297	-1.215
0.7	13	12	0.92	0.92	0.382	-0.964
0.8	13	12	0.92	0.95	0.349	-1.053
0.9	13	13	1.00	0.97	0.678	-0.389

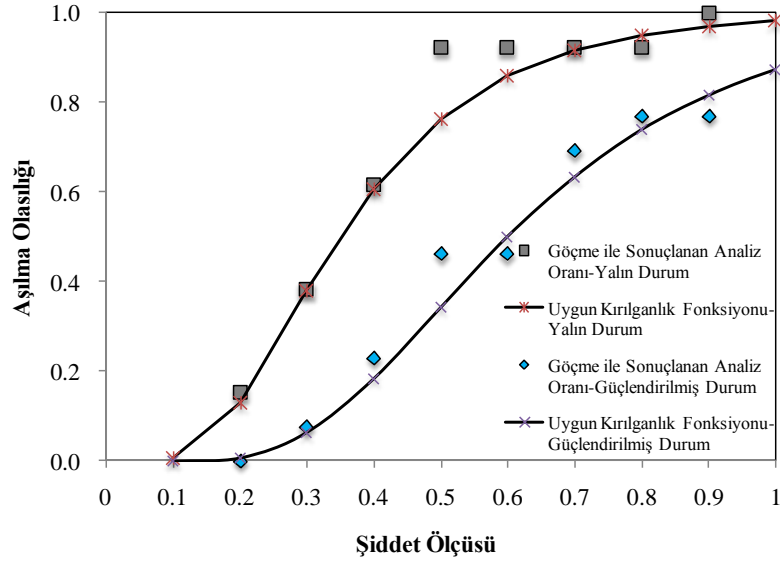
Yalın durumda  $PGA=0.2g$  ve  $PGA=0.4g$  kayıtlarında can güvenliği performans seviyesini aşan analiz sonucu sayısı sırasıyla 2 ve 8’dir.

**Tablo 3.10:** CG Performans Seviyesinde Kırılđanlık Eğrisini Oluşturabilmek için Olasılık Tablosu - Güçlendirilmiş Durum

Şiddet Ölçüsü	Analiz Sayısı	Limiti Geçen Analiz Sayısı	Göçme ile Sonuçlanma Oranı	Teorik Kırılđanlık Fonksiyonu	Olasılık	Logaritmik Olasılık
0.2	13	0	0.00	0.01	0.909	-0.095
0.3	13	1	0.08	0.06	0.374	-0.985
0.4	13	3	0.23	0.18	0.233	-1.457
0.5	13	6	0.46	0.34	0.147	-1.915
0.6	13	6	0.46	0.50	0.209	-1.563
0.7	13	9	0.69	0.63	0.212	-1.549
0.8	13	10	0.77	0.74	0.247	-1.399
0.9	13	10	0.77	0.82	0.233	-1.457

Güçlendirilmiş durumda  $PGA=0.2g$  ve  $PGA=0.4g$  kayıtlarında can güvenliği performans seviyesini aşan analiz sonucu sayısı sırasıyla 0 ve 3’tür. Güçlendirme

etkisiyle tanımlanan performans seviyelerini aşan analiz sayısının azaldığı görülmektedir. Bu azalım yapının öngörülen performans seviyesinde kaldığını istatistiki olarak göstermektedir. Ulaşılan değerler aşılma olasılığını deprem şiddetleri ile ilişkilendiren kırılmalık eğrilerinin oluşmasını sağlamıştır. Yalın ve güçlendirilmiş durum için belirlenen kırılmalık eğrileri can güvenliği performans seviyesi için Şekil 3.10'da verilmiştir.



**Şekil 3.10:** CG Performans Seviyesinde Yalın ve Güçlendirilmiş Durum için Kırılmalık Eğrileri

Şekil 3.10'da yalın ve güçlendirilmiş durum için verilen kırılmalık eğrileri  $PGA=0.4g$  tasarım depremi etkisi altında yalın durumda %60 aşılma olasılığına ulaşılırken, bu değer güçlendirilmiş durum için aynı deprem seviyesi için %20 civarına indiği görülmektedir. Benzer şekilde  $PGA=0.2g$  için yalın durumda aşılma olasılığı %17 iken, güçlendirilmiş durumda aynı deprem seviyesi için %1 civarına indiği görülmektedir.

### 3.5.4.3 Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Seviyesi için Kırılgnlık Eğrisi

Yapılan analizlerde kırılgnlık eğrilerinin oluşturulması için şiddet ölçüleri ve göçmenin önlenmesi performans seviyesini aşan analiz sayısı yalın ve güçlendirilmiş durum için Tablo 3.11 ve 3.12’de sınıflandırılmıştır.

**Tablo 3.11:** GÖ Performans Seviyesinde Kırılgnlık Eğrisini Oluşturabilmek için Olasılık Tablosu - Yalın Durum

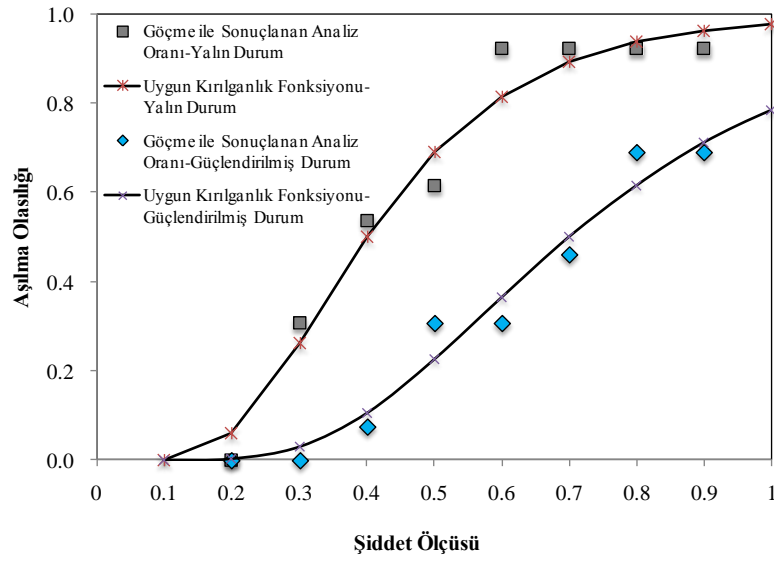
Şiddet Ölçüsü	Analiz Sayısı	Limiti Geçen Analiz Sayısı	Göçme ile Sonuçlanma Oranı	Teorik Kırılgnlık Fonksiyonu	Olasılık	Logaritmik Olasılık
0.2	13	0	0.00	0.06	0.437	-0.828
0.3	13	4	0.31	0.26	0.218	-1.522
0.4	13	7	0.54	0.50	0.209	-1.563
0.5	13	8	0.62	0.69	0.189	-1.664
0.6	13	12	0.92	0.82	0.209	-1.566
0.7	13	12	0.92	0.89	0.358	-1.027
0.8	13	12	0.92	0.94	0.374	-0.985
0.9	13	12	0.92	0.96	0.300	-1.203

Yalın durumda PGA=0.2g ve PGA=0.4g kayıtlarında can güvenliği performans seviyesini aşan analiz sonucu sayısı sırasıyla 0 ve 7’dir.

**Tablo 3.12:** GÖ Performans Seviyesinde Kırılgnlık Eğrisini Oluşturabilmek için Olasılık Tablosu - Güçlendirilmiş Durum

Şiddet Ölçüsü	Analiz Sayısı	Limiti Geçen Analiz Sayısı	Göçme ile Sonuçlanma Oranı	Teorik Kırılgnlık Fonksiyonu	Olasılık	Logaritmik Olasılık
0.2	13	0	0.00	0.00	0.966	-0.035
0.3	13	0	0.00	0.03	0.674	-0.394
0.4	13	1	0.08	0.11	0.358	-1.027
0.5	13	4	0.31	0.23	0.187	-1.674
0.6	13	4	0.31	0.37	0.212	-1.549
0.7	13	6	0.46	0.50	0.209	-1.563
0.8	13	9	0.69	0.62	0.199	-1.614
0.9	13	9	0.69	0.71	0.231	-1.464

Güçlendirilmiş durumda  $PGA=0.2g$  ve  $PGA=0.4g$  kayıtlarında göçmenin önlenmesi performans seviyesini aşan analiz sonucu sayısı sırasıyla 0 ve 1'dir. Güçlendirme etkisiyle tanımlanan performans seviyelerini aşan analiz sayısının azaldığı görülmektedir. Bu azalım yapının öngörülen performans seviyesinde kaldığını istatistiki olarak göstermektedir. Ulaşılan değerler aşılma olasılığını deprem şiddetleri ile ilişkilendiren kırılmalık eğrilerinin oluşmasını sağlamıştır. Yalın ve güçlendirilmiş durum için belirlenen kırılmalık eğrileri göçmenin önlenmesi performans seviyesi için Şekil 3.11'de verilmiştir.



**Şekil 3.11:** GÖ Performans Seviyesinde Yalın ve Güçlendirilmiş Durum için Kırılmalık Eğrileri

Şekil 3.11'de yalın ve güçlendirilmiş durum için verilen kırılmalık eğrileri  $PGA=0.4g$  tasarım depremi etkisi altında yalın durumda %50 aşılma olasılığına ulaşılırken, bu değer güçlendirilmiş durum için aynı deprem seviyesi için %15 civarına indiği görülmektedir. Benzer şekilde  $PGA=0.2g$  için yalın durumda aşılma olasılığı %5 iken, güçlendirilmiş durumda aynı deprem seviyesi için %0 civarına indiği görülmektedir.



#### 4. SONUÇLAR

Tez kapsamında özel çelik çaprazlarla güçlendirilmiş betonarme çerçevenin deprem davranışı incelenmiştir. Betonarme çerçeve sisteme yalın ve 3 farklı kalınlıktaki güçlendirme elemanı güçlendirilmiş durumda 13 farklı deprem kaydı etki ettirilmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Kat yerdeğiştirmeleri güçlendirme sonrasında önemli oranda azalmıştır. Deprem kayıtlarından *Superstition Hills Elcentra Imp. Co.* deprem kaydı göz önüne alındığında; yalın durumda 1. katta 0.11 m yerdeğiştirme meydana gelirken, 25 mm metal sönümleyicinin kullanıldığı güçlendirilmiş durumda aynı kat hizasında 0.05 m yerdeğiştirme meydana gelmiştir. Bu deprem kaydı için kat yerdeğiştirmesinin % 55 oranında azaldığı görülmüştür.
- Yapılan güçlendirme görelî kat ötelemelerinde de azalmalar sağlamıştır. *Imperial Valley Delta* deprem kaydı göz önüne alındığında yalın durum için 4. katta %0.9 öteleme görülürken, 8, 18 ve 25 mm metal sönümleyiciler kullanılarak yapılan güçlendirmelere ait öteleme miktarları sırasıyla %0.5, %0.4 ve %0.2 olarak gerçekleşmiştir. Görelî kat öteleme miktarlarında 8mm için %45 azalma görülürken bu oran 25 mm için %78 olarak tespit edilmiştir.
- Deprem kayıtlarından *Cape Mendocino Rio Dell Overpass* deprem kaydı göz önüne alındığında, kalınlığı 25 mm olan çelik yastık ile yapının 5. katında 200 kN kat kesme kuvveti gözlenirken aynı kat hizasında yalın durumda 400 kN kat kesme kuvveti gerçekleşmiştir. Bu durumda çelik eleman, kat kesme kuvveti istemini %50 azaltmıştır. Benzer şekilde *Kocaeli-Düzce* deprem kaydı ele alındığında, kalınlığı 25 mm olan çelik yastık ile yapının 4. katında 220 kN kat kesme kuvveti gözlenirken aynı kat hizasında yalın durumda 450 kN kat kesme kuvveti gerçekleşmiştir.
- 13 deprem kaydının ortalama taban kesme kuvvetlerine bakıldığında, yalın durumda 725.76 kN olan taban kesme kuvveti 25 mm sönümleyici kullanılarak yapılan güçlendirme sonrasında 533.27 kN olduğu görülmüştür. Güçlendirme sonrasında taban kesme kuvvetinin %26.52 oranında azalmıştır.

Deprem kayıtlarından da *Superstition Hills Poe Road* deprem kaydının etkitildiği durum ele alındığında yalın çerçevede 845.01 kN olan taban kesme kuvveti 18 mm metal sönümleyici kullanılarak yapılan güçlendirme sonrasında 500.23 kN'a düşmüştür.

- Güçlendirme etkisi kırılma eğrilerinin ileri performans seviyelerinde yapılan değerlendirmesi sonucunda daha etkili olduğu görülmektedir. Güçlendirilmiş durumda hemen kullanım performans seviyesi için  $PGA=0.4g$  deprem seviyesinde aşılma olasılığı %70 civarında iken bu değer göçmenin önlenmesi performans seviyesinde %20'lere indiği görülmektedir.

Çalışmada yapılan analizler sonrasında kullanılan 8, 18, ve 25 mm'lik sönümleyiciler, betonarme çerçeve sisteme etkileyen kuvvetleri önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 25 mm kalınlığa sahip metal sönümleyicinin daha etkin çalıştığı görülmüştür. Optimizasyon çalışması yapılması gereken bu güçlendirme önerisi, uygulaması kolay ve düşük maliyetli bir sistemdir.

## KAYNAKLAR

- [1] Türkiye’de Deprem Gerçeği ve TMMOB Makina Mühendisleri Odasının Önerileri Oda Raporu
- [2] **Zamani S.M., Vafaei A., Desai C., Rasouli M.,** (2011). *Experimental investigation of behavior of steel frames with y-shaped concentric bracing*, Journal of Constructional Steel Research.
- [3] **Calado L., Proença J.M., Espinha M., Castiglioni C.A.,** (2013). *Hysteretic behaviour of dissipative bolted fuses for earthquake resistant steel frames*, Journal of Constructional Steel Research.
- [4] **Hossain M.R., Ashraf M., Albermani F.,** (2011). *Numerical modelling of yielding shear panel device for passive energy dissipation*, Thin-Walled Structures.
- [5] **Kang J.D., Tagawa H.,** (2013). *Seismic performance of steel structures with seesaw energy dissipation system using fluid viscous dampers*, Engineering Structures.
- [6] **Karavasilis T.L., Kerawala S., Hale E.,** (2011). *Hysteretic model for steel energy dissipation devices and evaluation of a minimal-damage seismic design approach for steel buildings*, Journal of Constructional Steel Research.
- [7] **Kiris S.S., Boduroğlu M.H.,** (2013). *Earthquake parameters affecting the performance of an RC frame with friction damper*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering.
- [8] **Cruz S.T., Almansa F.L., Oller S.,** (2006). *Numerical simulation of the seismic behavior of building structures equipped with friction energy dissipators*, Science Direct.
- [9] **Iyama J., Seo C.Y., Ricles J.M., Sause R.,** (2008). *Self-centering MRFs with bottom flange friction devices under earthquake loading*, Journal of Constructional Steel Research.
- [10] **Climent A.B.,** (2010). *A brace-type seismic damper based on yielding the walls of hollow structural sections*, Engineering Structures.

- [11] **Oh S.H., Kim Y.J., Ryu H.S.**, (2009). *Seismic performance of steel structures with slit dampers*, Engineering Structures.
- [12] **Papailia A.-Fardis M.N.**, (2011). *Seismic fragility curves for reinforced concrete buildings*.
- [13] **KIRÇIL, M.S., & POLAT, Z. (2006)**. Fragility Analysis of R/C Frame Buildings. Engineering Structures, 28(9)
- [14] **Seismosoft [2014]** "SeismoStruct v7.0 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures", çevirimiçi erişim: <http://www.seismosoft.com>
- [15] **Yıldız D.H.**, (2008). Bina Deprem Performanslarını Değerlendiren Yöntemlerin Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [16] **Özkaynak H.**, (2016). Enerji Tüketebilen Çelik Yastıkların Tipik Bir Betonarme Çerçeve Davranışına Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 57701.
- [16\*\*] **Özkaynak H.**, (2017). “Model proposal for steel cushions for use in Reinforced Concrete frames” KSCE Journal of Civil Engineering **First Online:** 23 January 2017 DOI: 10.1007/s12205-017-0477-1
- [17] JRC Technical Reports (2016) “*Design Guidelines for Wall Panel Connections*” Antonella Colombo, Marco Lamperti, Paolo Negro, Giandomenico Toniolo Editors, DOI:10.2788/546845, ISSN: 1831-9424, ISBN 978-92-79-58533-3
- [18] **Güllü A., Ozkaynak H., Khajehdeh A., Gökçe T., Azizisales F., Bal İ.E., Smyrou E., Yüksel E., Karadoğan F.** “Derivation Of The Closed Form Equations For The Energy Dissipative Steel Cushions” *14<sup>th</sup> World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures*, San Diego, Ca USA, September 9-11 2015.
- [19] **Giberson M.F.**, (1967). The Response of Nonlinear Multi-Story Structures Subjected to Earthquake Excitation, *Doktora Tezi*, California Institute of Technology, Ca USA.

[20] **Lin, T., Haselton, C. B., and Baker, J. W., (2013).** “Conditional spectrum-based ground motion selection. Part I: Hazard consistency for risk-based assessments.” *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42(12), 1847–1865.

**FEMA-P695.** Quantification of Building Seismic Performance Factors, FEMA P695/June2009

**HAZUS,(1997).** Earthquake loss estimation methodology-Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

**Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, (2007).** Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Maya Basım, Ankara

**Kennedy, R. P., and Ravindra, M. K., (1984).** “Seismic Fragilities for Nuclear Power Plant Risk Studies.” *Nuclear engineering and design: an international journal devoted to the thermal, mechanical and structural problems of nuclear energy*, 79, 47–68.

**Kim, S.-H., and Shinozuka, M., (2004).** “Development of fragility curves of bridges retrofitted by column jacketing.” *Probabilistic Engineering Mechanics*, 19(1–2), 105–112.

**Calvi, G. M., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J. J., Restrepo-Vélez, L. F., and Crowley, H., (2006).** “Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years.” *ISET journal of Earthquake Technology*, 43(3), 75–104.

**Villaverde, R., (2007).** “Methods to Assess the Seismic Collapse Capacity of Building Structures: State of the Art.” *Journal of Structural Engineering*, 133(1), 57–66.

**Porter, K., Kennedy, R., and Bachman, R., (2007).** “Creating Fragility Functions for Performance-Based Earthquake Engineering.” *Earthquake Spectra*, 23(2), 471–489.

**Shafei, B., Zareian, F., and Lignos, D. G., (2011).** “A simplified method for collapse capacity assessment of moment-resisting frame and shear wall structural systems.” *Engineering Structures*, 33(4), 1107–1116

**Vamvatsikos, D., and Cornell, C. A., (2002).** “Incremental dynamic analysis.” *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 31(3), 491–514.



## ÖZGEÇMİŞ

Burak ADAK, 1989 yılında İstanbul'da doğmuştur. Lise öğrenimini Üsküdar Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2012 yılında Kırıkkale İnşaat Mühendisliğinden mezun olmuş 2014 yılında Beykent Üniversitesi'nde lisansüstü öğrenimine başlamıştır.

