



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**FAYA YAKIN YER HAREKETİ KAYITLARI  
ETKİSİNDEKİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN  
DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MERVE GÜLER**

**İSTANBUL, 2024**



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**FAYA YAKIN YER HAREKETİ KAYITLARI  
ETKİSİNDEKİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN  
DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MERVE GÜLER  
(210241002)**

**Danışman  
(Dr. Öğr. Üyesi Nihan Doğramacı Aksoylar)**

**İSTANBUL, 2024**

10/7/2024

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı İnşaat Mühendisliği tezli yüksek lisans programı öğrencisi 210241002 numaralı Merve GÜLER'in hazırladığı "Faya Yakın Yer Hareketi Kayıtları Etkisindeki Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Deprem Performanslarının Değerlendirilmesi" konulu Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, 10/7/2024 saat 11:00'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **Kabulüne Oy Birliği** ile karar verilmiştir.

**Tez adı değişikliği yapılması halinde:** Tez adının .....  
.....  
şeklinde değiştirilmesi uygundur.

Jüri Üyesi	Karar
1. (Danışman) Dr. Öğr. Üyesi Nihan DOĞRAMACI AKSOYLAR	KABUL
2. Prof. Dr. İbrahim EKİZ	KABUL
3. Prof. Dr. Müberra E. AYDEMİR	KABUL
4. ....	.....
5. ....	.....
6. (İkinci Danışman)*.....	.....

\*2. Danışman varsa doldurulması gerekmektedir.

## **ETİK BİLDİRİM**

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağlı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

Merve Güler

*Aileme,*

# **FAYA YAKIN YER HAREKETİ KAYITLARI ETKİSİNDEKİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Merve Güler**

## **ÖZET**

Son yüzyılda dünyada meydana gelen depremlerden kaydedilen yer hareketi verileri faya yakın yer hareketi özelliklerinin faya uzak kayıtlardan farklı olduğunu göstermiştir. Özellikle 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge, 1995 Kobe ve 1999 Kocaeli depremlerinde faya yakın bölgelerde bulunan yapılarda çok ciddi ve ağır hasarlar meydana gelmiştir. Faya uzak yer hareketleri ile karşılaştırıldığında faya yakın yer hareketleri yapılar üzerinde daha büyük yerdeğiştirme talebine neden olmaktadır.

Ülkemizde 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş Pazarcık/Elbistan depremlerinde yapılaşmanın faya yakın olması nedeniyle bazı illerde yapılardaki hasar düzeylerinin veya yıkılan bina sayısının faya uzak bölgelerden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle tez çalışmasında faya yakın yer hareketi kayıtlarının çelik okul yapıları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla dört katlı, deprem yüklerini her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin (MÇÇ) karşıladığı, bunların haricindeki tüm iç çerçevelerin sadece düşey yük taşıdığı kabul edilerek okul binasının tasarımı gerçekleştirilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek MÇÇ çerçevelerin tasarımı ÇYTHYE 2016 ve TBDY 2018 yönetmelikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Kapasite tasarımı gerçekleştirilen MÇÇ çerçevenin deprem performansı doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden statik itme ve zaman tanım alanında analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Dinamik analizlerde çalışmanın amacı doğrultusunda dikkate alınan yakın fay davranışını yansıtacak şekilde 30 adet deprem yer hareketi kullanılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde, M çerçevenin sistem davranışında çapraz elemanların basınç etkisindeki burkulmasının belirleyici olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca dinamik analizlerde kullanılan deprem yer hareketi kayıtları ölçeklendirme yöntemlerinden spektral uyuşum yaklaşımında, basit ölçekleme yöntemine göre daha küçük yerdeğiştirme talepleri oluşmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Merkezi aprazlı elik ereve, Yakın Fay Etkisi, Deprem Performansı, Statik İtme Analizi, Zaman Tanım Alanında Analiz

# **SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF STEEL BRACED FRAMES UNDER NEAR FAULT EFFECT**

**Merve Güler**

## **ABSTRACT**

In the last century, recorded ground motion data from earthquakes around the world has shown that the characteristics of near-fault ground motion differ from those of far-fault records. In particular, the 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge, 1995 Kobe, and 1999 Kocaeli earthquakes caused severe and extensive damage to structures located in near-fault regions. Compared to far-fault ground motions, near-fault ground motions impose greater displacement demands on structures.

In the earthquakes that occurred in Pazarcık/Elbistan, Kahramanmaraş, on February 6, 2023, it was determined that the level of damage to structures or the number of collapsed buildings in some cities was greater in regions near the fault compared to regions farther from the fault. Therefore, this thesis investigates the effects of near-fault ground motion records on steel school structures. For this purpose, a four-story school building was designed, assuming that earthquake loads in both directions are resisted by highly ductile centrally braced steel frames (CBFs), while all other internal frames carry only vertical loads. The design of the highly ductile CBFs was carried out in accordance with ÇYTHYE 2016 and the Turkish Building Earthquake Code (TBDY 2018). The seismic performance of the capacity-designed CBFs was evaluated using nonlinear analysis methods, specifically static pushover and time-history analysis. In dynamic analyses, 30 earthquake ground motions reflecting near-fault behavior were considered to align with the study's objectives.

Upon examining the results, it was observed that the buckling of the bracing elements under compressive forces was a decisive factor in the system behavior of the CBF frame. Additionally, in the dynamic analyses, the spectral matching approach for

scaling earthquake ground motion records resulted in smaller displacement demands compared to the simple scaling method.

**Keywords:** Centrally Braced Steel Frames, Near-Fault Effect, Seismic Performance, Pushover Analysis, Time History Analysis

## ÖN SÖZ

Tez çalışması kapsamında, yakın fay etkisi altındaki çelik bir okul binasının deprem davranışı incelenmiştir. Dört katlı dikdörtgen plana sahip bu yapı, sadece dış çerçeveleri yatay yük taşıyıcı olarak tasarlanmıştır. Yatay yükler, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerle karşılanmış ve bu çerçevelerin deprem performansı doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

Bu çalışma sürecinde, bilgi ve deneyimleriyle her konuda yardımcı olan ve desteğini her zaman hissettiğim, birlikte çalışmaktan onur duyduğum değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Nihan DOĞRAMACI AKSOYLAR'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez aşamasında destek almaktan çekinmediğim ve tecrübeleriyle bana yol gösteren hocam Dr. Öğr. Üyesi Cenk AKSOYLAR'a çok teşekkür ederim.

Son olarak, hayatta olmayan ama manevi olarak hep yanımda hissettiğim ve hissedeceğim annem ve babama, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Haziran, 2024

Merve Güler

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ABSTRACT .....	vii
ÖN SÖZ.....	ix
SEMBOLLER .....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
KISALTMALAR .....	xix
GİRİŞ .....	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	2
1. TEZİN AMACI, AKIŞI VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	2
1.1. TEZİN AMACI .....	2
1.2. TEZİN AKIŞI.....	2
1.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
İKİNCİ BÖLÜM.....	6
2. TAŞIYICI SİSTEMİNİN BOYUTLANDIRILMASI.....	6
2.1. TAŞIYICI SİSTEM ÖZELLİKLERİ .....	6
2.2. YÜK ANALİZİ .....	8
2.2.1. Düşey Yükler (Sabit ve Hareketli Yükler).....	8
2.2.2. Kar Yükü .....	9
2.2.3. Rüzgâr Yükü .....	10
2.2.3.1. Düşey Duvar Basınç Katsayıları .....	12
2.2.4. Deprem Yükü .....	15
2.2.4.1. Bina Hakim Doğal Titreşim Periyodu .....	19
2.2.4.2. Düşey Deprem Etkisi.....	20
2.2.5. Yükler ve Yük Birleşimleri .....	20
2.2.6. Yapısal Düzensizlik Kontrolleri.....	22
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM .....	25
3. SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVE TASARIMI .....	25
3.1. GİRİŞ.....	25
3.2. ENKESİT KOŞULLARI.....	26
3.3. KAPASİTE TASARIMI .....	27
3.3.1. Çapraz Tasarımı .....	27
3.3.1.1. Çapraz Eleman Boyutlandırması.....	28
3.3.2. Çerçeve (Sistem) Analizi.....	32

3.3.3.	Kolon Tasarımı.....	35
3.3.3.1.	Kolon Eleman Boyutlandırması.....	37
3.3.4.	Kiriş Tasarımı .....	41
3.3.4.1.	Kiriş Eleman Boyutlandırması.....	43
3.3.5.	Düşey Yük Taşıyan Çerçeve Elemanlarının Tasarımı .....	48
<b>DÖRDÜNCÜ BÖLÜM .....</b>		<b>49</b>
<b>4. İTME YÖNTEMİ .....</b>		<b>49</b>
4.1.	MODAL KAPASİTE EĞRİSİ .....	50
4.2.	DEPREMİN MODAL YERDEĞİŞİRME TALEBİNİN ELDE EDİLMESİ. ....	51
4.3.	BİNA PERFORMANS DÜZEYLERİ .....	53
4.4.	TAŞIYICI ELEMANLARIN PERFORMANS HEDEFLERİ.....	53
4.5.	ÇELİK ELEMANLARIN ŞEKİLDEĞİŞTİRME SINIRLARI .....	54
4.5.1.	Merkezi Çaprazlı Çerçevelerde Şekildeğiştirme Sınırları .....	54
4.5.2.	Çelik Kiriş ve Kolonların Şekildeğiştirme Sınırları.....	55
4.6.	STATİK İTME ANALİZİ.....	57
<b>BEŞİNCİ BÖLÜM .....</b>		<b>63</b>
<b>5. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZ .....</b>		<b>63</b>
5.1.	DEPREM KAYITLARININ SEÇİMİ .....	63
5.2.	DEPREM KAYITLARININ ÖLÇEKLENDİRİLMESİ.....	65
5.2.1.	Basit Ölçeklendirme.....	65
5.2.2.	Spektral Uyuşum.....	68
5.3.	DİNAMİK ANALİZ SONUÇLARI .....	69
5.3.1.	Taban Kesme Kuvveti ve Tepe Deplasman Değerleri .....	69
5.3.2.	Görelî Kat Öteleme Oranlarının Karşılaştırılması.....	70
5.3.3.	Çapraz Elemanlarda Oluşan Süneklik Talebi.....	72
<b>SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....</b>		<b>74</b>
<b>GELECEK ÇALIŞMALARLA YÖNELİK ÖNERİLER .....</b>		<b>78</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>		<b>79</b>
<b>EKLER.....</b>		<b>82</b>

## SEMBOLLER

- $A_g$  : Kayıpsız enkesit alanı
- $C_w$  : Çarpılma sabiti
- $C_e$  : Maruz kalma katsayısı
- $C_t$  : Isı katsayısı
- $c_{dir}$  : doğrultu katsayısı
- $c_{season}$  : mevsim katsayısı
- $c_r(z)$  : engebelilik katsayısı
- $c_o(z)$  : orografi katsayısı
- $E$  : Çeliğin elastisite modülü
- $F_{cr}$  : Kritik burkulma gerilmesi
- $F_e$  : Elastik burkulma gerilmesi
- $F_n$  : Karakteristik gerilme
- $F_y$  : Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
- $F_u$  : Yapısal çelik karakteristik çekme gerilmesi
- $J$  : Burulma sabiti
- $L$  : İlgili kattaki bir kolonun sistem boyu
- $L_c$  : Basınç elemanının burkulma düzlemindeki burkulma boyu
- $L_b$  : Stabilite bağlantısı ile desteklenmeyen eleman uzunluğu
- $L_p$  : Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk
- $L_r$  : Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma durumu için sınır uzunluk
- $M_c$  : Mevcut eğilme momenti dayanımı ( $\phi M_n$ )
- $M_n$  : Karakteristik eğilme momenti
- $M_r$  : YDKT yük birleşimleri için gerekli eğilme momenti dayanımı

- $M_p$  : Plastik eğilme momenti
- $P_c$  : Mevcut aksenal basınç kuvveti dayanımı ( $\phi P_n$ )
- $P_n$  : Karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı
- $P_r$  : YDKT yük birleşimleri için gerekli aksenal kuvvet dayanımı
- $R_n$  : Karakteristik dayanım
- $R_y$  : Olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı
- $s_k$  : Karakteristik zemin kar yükü değeri
- $\phi$  : Dayanım katsayısı
- $\phi R_n$  : Tasarım dayanımı
- $V_u$  : Kesme kuvveti
- $v_{b,0}$  : Esas rüzgâr hızının temel değeri
- $v_b$  : Esas rüzgâr hızı
- $W_{el,x}$  : x-x eksenine göre elastik mukavemet momenti
- $W_{el,y}$  : y-y eksenine göre elastik mukavemet momenti
- $W_{pl,x}$  : x-x eksenini etrafında plastik mukavemet momenti
- $W_{pl,y}$  : y-y eksenini etrafında plastik mukavemet momenti
- $q_p(z)$  : Tepe kaynaklı hız basıncı
- $z_0$  : engebelilik uzunluğu
- $\mu_i$  : Kar yükü şekil katsayısı.
- $b$  : Profil başlık parçası uzunluğu
- $d$  : Profil gövde yüksekliği
- $h$  : Profil yüksekliği
- $i_x$  : x-x yönündeki atalet yarıçapı
- $i_y$  : y-y yönündeki atalet yarıçapı
- $i_{ts}$  : Tasarım atalet yarıçapı
- $t_w$  : Profil gövde kalınlığı

- $t_f$  : Profil başlık parçası kalınlığı  
 $\lambda$  : Yerel burkulma narinlik değeri  
 $\theta_y$  : Akma dönmesi  
 $\Delta_c$  : Eksenel basınç kuvveti altında akma şekildeğiştirmesi  
 $\Delta_T$  : Eksenel çekme kuvveti altında akma şekildeğiştirmesi

## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Şekil 2.1:</b> Okul binasının üç boyutlu genel görünüşü.	7
<b>Şekil 2.2:</b> Okul binasının kat planı.	7
<b>Şekil 2.3:</b> Okul binasının yatay yük taşıyan çerçeve görünüşü.	8
<b>Şekil 2.4:</b> Türkiye kar haritası (Ek MA Çizelge MA.1-TS498).	9
<b>Şekil 2.5:</b> Düşey duvar bölgeleri (TS EN 1991-1-4).	13
<b>Şekil 2.6:</b> $z_e$ referans yüksekliği ve hız kaynaklı rüzgâr basıncı dağılımı.	14
<b>Şekil 2.7:</b> Deprem yükü parametreleri.	15
<b>Şekil 2.8:</b> Yatay elastik ivme tasarım spektrumu.	17
<b>Şekil 3.1:</b> Analiz 1 ile tanımlanan <b>mekanizma</b> durumu (TBDY 2018).	33
<b>Şekil 3.2:</b> Analiz 2 ile tanımlanan <b>mekanizma</b> durumu (TBDY 2018).	33
<b>Şekil 3.3:</b> Çaprazlı çerçevelerin analiz modelleri.	35
<b>Şekil 3.4:</b> Mekanizma durumları (TBDY 2018).	36
<b>Şekil 3.5:</b> Kat kirişlerine gelen kuvvetler.	41
<b>Şekil 3.6:</b> Çaprazların kestiği kirişlere gelen kuvvetler (AISC 341 16).	42
<b>Şekil 3.7:</b> Çaprazlı çerçeve kirişlerinde deprem taleplerinin belirlenişi.	42
<b>Şekil 4.1:</b> Modal kapasite diyagramı (TBDY 2018).	51
<b>Şekil 4.2:</b> Modal kapasite ve doğrusal deprem spektrumu ( $T_1 \leq T_B$ ).	52
<b>Şekil 4.3:</b> Kesit hasar sınırları ve bölgeleri (TBDY 2018).	53
<b>Şekil 4.4:</b> Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevenin Kapasite Eğrisi.	58
<b>Şekil 4.5:</b> MÇÇ Çerçeve Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirme.	59
<b>Şekil 4.6:</b> MÇÇ Çerçeve Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirme Noktaları.	59
<b>Şekil 4.7:</b> Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevenin Modal Kapasite Eğrisi.	60
<b>Şekil 4.8:</b> Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevenin Modal Yerdeğiştirme Talebi.	61
<b>Şekil 4.9:</b> Merkezi çaprazlı çelik çerçevede plastik mafsal oluşum yerleri.	61
<b>Şekil 5.1:</b> Yer hareketi kayıtları ve ortalaması elastik spektral ivme-periyot ilişkisi.	65
<b>Şekil 5.2:</b> Seçilen 30 deprem kaydının ortalama spektrumu.	66

<b>Şekil 5.3:</b> Kobe depremi TAZ000 bileşeni ivme spektrumu.	67
<b>Şekil 5.4:</b> Kobe depremi TAZ000 bileşeni a)yer hareketi kaydı b)ivme spektrumu.	68
<b>Şekil 5.5:</b> MÇÇ çerçevenin maks. taban kesme kuvveti-tepe deplasman ilişkileri.	69
<b>Şekil 5.6:</b> MÇÇ çerçevenin GKÖ oranlarının karşılaştırılması.	71
<b>Şekil 5.7:</b> MÇÇ'nin çekme çaprazlarında oluşan süneklik talepleri.	72
<b>Şekil 5.8:</b> MÇÇ'nin basınç çaprazlarında oluşan süneklik talepleri.	73

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1:</b> Tasarımda kullanılan sabit ve hareketli yükler.	8
<b>Çizelge 2.2:</b> Karakteristik zemin kar yükü değeri ( $s_k$ ) (kN/m <sup>2</sup> ).	9
<b>Çizelge 2.3:</b> Rüzgâr yükü hesap değerleri.	12
<b>Çizelge 2.4:</b> Rüzgâr yükü hesaplarında dikkate alınan sayısal büyüklükler.	14
<b>Çizelge 2.5:</b> Basınç katsayıları ve rüzgar basıncı değeri.	14
<b>Çizelge 2.6:</b> Kısa periyot bölgesi Yerel Zemin Etki Katsayısı (TBDY 2018).	16
<b>Çizelge 2.7:</b> 1.0 sn. periyot bölgesi Yerel Zemin Etki Katsayısı (TBDY 2018).	16
<b>Çizelge 2.8:</b> Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) (TBDY-2018).	17
<b>Çizelge 2.9:</b> Bina Yükseklik Sınıfı (TBDY 2018).	18
<b>Çizelge 2.10:</b> Bina Performans Hedefi ve Tasarım Yaklaşımı (TBDY 2018).	18
<b>Çizelge 2.11:</b> Bina Katlarına Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri.	20
<b>Çizelge 2.12:</b> Yapısal Düzensizlik Durumları (TBDY 2018).	22
<b>Çizelge 2.13:</b> Burulma Düzensizliği Kontrolü.	23
<b>Çizelge 2.14:</b> Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzenliği.	24
<b>Çizelge 3.1:</b> Çaprazlarda oluşan en büyük kesit tesiri değerleri.	28
<b>Çizelge 3.2:</b> Seçilen çapraz kesitler ve basınç tasarım parametreleri.	31
<b>Çizelge 3.3:</b> Seçilen çapraz kesitler ve çekme tasarım parametreleri.	31
<b>Çizelge 3.4:</b> Seçilen çapraz kesitlerinde beklenen dayanım değerleri.	34
<b>Çizelge 3.5:</b> Mekanizma yaklaşımıyla belirlenen kolon iç kuvvetleri.	36
<b>Çizelge 3.6:</b> Artırılmış deprem yükü altında belirlenen kolon iç kuvvetleri.	37
<b>Çizelge 3.7:</b> Kolon tasarımında kullanılan iç kuvvet değerleri.	37
<b>Çizelge 3.8:</b> Seçilen kolon kesitleri ve beklenen dayanım değerleri.	40
<b>Çizelge 3.9:</b> Mekanizma yaklaşımıyla belirlenen kiriş iç kuvvetleri.	43
<b>Çizelge 3.10:</b> Kiriş tasarımında kullanılan iç kuvvet değerleri.	43
<b>Çizelge 3.11:</b> Seçilen kiriş kesitleri ve beklenen dayanım değerleri.	47
<b>Çizelge 3.12:</b> Düşey yük taşıyan çerçeve kolon kesitleri.	48

<b>Çizelge 3.13:</b> Düşey yük taşıyan çerçeve kiriş kesitleri.	48
<b>Çizelge 4.1:</b> Çaprazların aksenal plastik şekil değiştirme sınırları.	54
<b>Çizelge 4.2:</b> Basınç altında çapraz elemanlarda plastik şekil değiştirme sınırları.	55
<b>Çizelge 4.3:</b> Çekme altında çapraz elemanlarda plastik şekil değiştirme sınırları.	55
<b>Çizelge 4.4:</b> Kirişlerde plastik dönme sınırları.	56
<b>Çizelge 4.5:</b> Kolonlarda plastik dönme sınırları.	56
<b>Çizelge 4.6:</b> Süneklik düzeyi yüksek MÇÇ kirişlerinde plastik dönme sınırları.	56
<b>Çizelge 4.7:</b> Süneklik düzeyi yüksek MÇÇ kolonlarında plastik dönme sınırları.	57
<b>Çizelge 4.8:</b> Modal kapasite hesabı için kullanılan parametreler.	60
<b>Çizelge 4.9:</b> Merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının hasar seviyeleri.	62
<b>Çizelge 5.1:</b> Deprem yer hareketi kayıtlarının bilgileri.	64
<b>Çizelge 5.2:</b> Yer hareketi kayıtlarının normalizasyon ve ölçeklendirme katsayıları.	67

## KISALTMALAR

AISC	American Institute of Steel Construction
ASCE	American Society of Civil Engineers
BKS	Bina Kullanım Sınıfı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
ÇYTHYE	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları
DD	Deprem Düzeyi
DGT	Dayanıma Göre Tasarım
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
GKÖ	Görelî Kat Ötelemesi
GÖ	Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
KH	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
KK	Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
PEER	Pasific Earthquake Engineering Research Center
SH	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
ŞGDT	Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY	Türk Bina Deprem Yönetmeliği
TS EN	Türk Standartları Enstitüsü
YDKT	Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım Yöntemi

## GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremler ağır hasarlara, ciddi maddi ve manevi kayıplara sebep olmuştur. Bu depremlerden özellikle 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge 1995 Kobe, 1999 Kocaeli, 1999 Taiwan, Chi-Chi, 2003 Bingöl, 2009 L'Aquila ve 2023 Kahramanmaraş depremlerinde kaydedilen faya yakın yer hareketleri ağır ve yıkıcı hasarlara neden olmuştur. Bu yer hareketi verileri incelendiğinde fay alanlarına yakın yerlerde meydana gelen yer hareketlerinin uzak mesafelerde gözlemlenen yer hareketlerine göre önemli farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir (Alavi ve Krawinkler, 2001). Geleneksel faya uzak yer hareketleri ile karşılaştırıldığında faya yakın yer hareketleri yapılara yüksek talep doğurmaktadır.

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş/Pazarcık ve Kahramanmaraş/Elbistan merkezli depremler gerek etkiledikleri alanın büyüklüğü gerekse maddi kayıplar açısından son yüzyılda ülkemizde yaşanan en yıkıcı depremlerden olmuştur. Depremlerin sonrasında yapılan çalışmalar (METU 2023, ITU 2023) etkilenen 11 ilden Hatay, Kahramanmaraş, Gaziantep, Adıyaman ve Malatya illerinde faya yakınlıkları nedeniyle büyük ve yıkıcı hasarların olduğu tespit edilmişken Kilis, Adana, Diyarbakır, Osmaniye, Şanlıurfa ve Elazığ illerindeki hasarın nispeten daha az olduğunu vurgulamıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tespitlerine göre yaklaşık 39.000 bina yıkılmış ve 200.000 bina ise ağır hasar almıştır. Depremler sonucunda kritik öneme sahip kamu hizmet binaları (okul, hastane, belediye vb.) ciddi hasarlar gözlemlenmiştir. Örneğin depremden etkilenen 10 ilde MEB bakanlığına ait 20.868 binadan 24'ü yıkılmış, 83'ü ise ağır hasar almıştır (METU 2023, ITU 2023).

Kamu hizmet binaları diğer bina türlerinden önemli ölçüde farklıdır. Bunun temel nedeni içinde barındırdığı insanların binaların içinde olmak zorunluluğudur (Gülkan ve Utkuğ, 2003). Deprem yönetmelikleri bu tip binaları "Deprem sonrası hemen kullanılması gereken binalar" olarak sınıflandırmaktadır. Dolayısıyla başta okul, hastane, yurt, bakım evi gibi binalar olmak üzere tüm kamu hizmet binaları depreme karşı sağlam ve dayanıklı olmalıdır.

# BİRİNCİ BÖLÜM

## 1. TEZİN AMACI, AKIŞI VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 1.1. TEZİN AMACI

Bu çalışma kapsamında, ülkemizde meydana gelen depremler dikkate alınarak yakın fay etkisi altında çelik bir okul binasının deprem davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla dört katlı dikdörtgen plana sahip okul binası ve sadece dış çerçeveleri yatay yük taşıyıcı sistem olarak düzenlenmiştir. Binaya etkiyen deprem yükleri her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerle karşılanırken, bunların haricindeki tüm iç çerçevelerin sadece düşey yük taşıdığı kabul edilmiştir.

Süneklik düzeyi yüksek MÇÇ çerçevelerin tasarımı ÇYTHYE 2016 ve TBDY 2018 yönetmelikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Kapasite tasarımı gerçekleştirilen MÇÇ çerçevenin deprem performansı doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden statik itme ve zaman tanım alanında analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Dinamik analizlerde çalışmanın amacı doğrultusunda dikkate alınan yakın fay davranışını yansıtacak deprem yer hareketleri etkileri incelenmiştir.

### 1.2. TEZİN AKIŞI

Bu tezde yapılan çalışmalar üç aşama altında gruplandırılabilir. İlk aşamada merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin kapasite tasarımı dikkate alınarak boyutlandırılması yapılmıştır. İkinci aşamada faya yakın yer hareketi kayıtları seçilerek TBDY 2018'e göre basit ölçeklendirme yöntemi ve spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi yöntemi kullanılarak ölçeklendirme işlemi yapılmıştır. Üçüncü aşamada ise tasarımı yapılan merkezi çaprazlı çelik çerçevenin doğrusal olmayan dinamik analizlere göre deprem performansı incelenmiştir. Bu aşamalar dahilinde incelenen tez çalışması altı bölüm halinde sunulmuştur.

Birinci bölümde yapılan çalışmanın tanımının açıklandığı giriş, tezin amacı ve tezin akışı verilmiştir. Daha sonrasında merkezi çaprazlı çelik çerçeve yapılarının

tasarımının incelendiği önceki yıllarda yapılmış çalışmalar hakkında literatür bilgisi verilmiştir.

İkinci bölümde taşıyıcı sistem özellikleri verilmiş ve taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasında esas alınacak yüklerin TS 498, TS EN-1991-1-3, TS EN 1991-1-4 ve TBDY 2018 yönetmeliklerinde verilen koşullar dikkate alınarak hesabı yapılmıştır. Yük analizi sonrasında bina performans hedefleri, bina hâkim doğal titreşim periyodu ve yük birleşimleri verilmiştir. Son olarak çerçeve sistemin yapısal düzensizlik durumları kontrol edilerek özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde merkezi çaprazlı çelik çerçevenin tasarım süreci ele alınmıştır. Bu bölümde ilk aşamada “Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik”-2016 ve “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”-2018 yönetmelikleri kullanılarak süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin enkesit koşulları belirlenmiştir. İkinci aşamada çerçeve sisteminin kapasite tasarım yöntemi ilkesine göre tasarım esasları açıklanmıştır. Son olarak sistem elemanlarının ÇYTHYE 2016 yönetmeliğine göre boyutlandırma hesapları yapılarak belirlenen kesit boyutları tablolar halinde verilmiştir. Taşıyıcı sistemin tasarım ve boyutlandırma aşamalarında SAP2000 V25 ve Microsoft Excel programları kullanılmıştır.

Dördüncü bölümde okul binası olarak tasarımı yapılan merkezi çaprazlı çelik çerçevenin doğrusal olmayan statik itme analizi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda statik itme analizi ve dikkate alınan kabuller açıklanmıştır. Sonrasında merkezi çaprazlı çelik çerçevenin statik itme analizi sonucunda deprem davranışı değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde tasarlanan çerçevenin depremin talep ve kapasite değerlendirilmesi amacıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi açıklanmıştır. Dinamik analizlerde dikkate alınacak faya yakın deprem yer hareketi kayıtlarının TBDY 2018 yönetmeliğine göre seçilmesi ve ölçeklendirme işlemlerinin yapılması aşamaları anlatılmıştır. Son olarak dinamik analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasman değerleri, görelî kat öteleme oranlarının karşılaştırılması ve çapraz elemanlarda oluşan süneklik talepleri incelenmiştir.

Altıncı bölümde ise okul amacıyla tasarımı yapılan merkezi çaprazlı çelik çerçevenin tasarım aşamaları, statik itme ve dinamik analizler sonucunda elde edilen tüm veriler özet halinde sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

### 1.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Merkezi çaprazlı çelik (MÇÇ) çerçeveler rüzgâr ve deprem yükleri etkisindeki binaların yatay ötelemelerini kontrol etmede en etkili ve ekonomik yatay yük taşıyıcı olarak en çok tercih edilen sistemlerdir. Ulusal ve uluslararası literatürde konuyla ilgili önemli sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında esas olarak deprenselliği yüksek bölgelerde yapılacak MÇÇ çerçeveli yapıların yakın fay etkisi altında sistem performansı araştırıldığından bu bölümde özellikle son yıllarda yapılan çalışmaların kısa bir özeti sunulmuştur.

Şeker v.d. (2021) çalışmasında sünekliği yüksek geleneksel MÇÇ çerçevelere alternatif boyutlandırma yaklaşımı irdelenmiştir. Bu amaçla deprem yönetmeliklerinde (AISC 341 16, TBDY 2018) verilen güncel kapasite tasarımı yaklaşımının davranışa etkisi 6 katlı bir ofis binası için araştırılmıştır. MÇÇ çerçevelerde ters V ve iki katta X çapraz olarak iki farklı çapraz düzeni kullanılmıştır. Sayısal modellerin güvenilirliği ilk olarak literatürdeki deney sonuçları ile doğrulanmış ardından çaprazlı çerçevelerin davranışı, doğrusal olmayan statik itme analizi ve zaman tanım alanında analiz yöntemleriyle incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda yazarlar önerilen dengeli boyutlandırma yaklaşımının geleneksel tasarım yaklaşıma göre %8 daha ağır olmasına rağmen deprem taleplerinde ciddi düşüşler sağladığını ifade etmişlerdir.

Doğan (2021) çalışmasında her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveli 8 katlı çelik bir binanın ortak kolonlarının yatay yük altındaki davranışını incelemiştir. Ofis olarak kullanılacak binanın tasarımı ÇYTHYE 2016 ve TBDY 2018'e göre yapılmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yardımıyla deprem performansı değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ortak kolonların boyutlandırılmasında esas alınacak iç kuvvetlerin hesabı için dayanım fazlalığı katsayısı D'nin kullanılması, bu tür kolonlarda sınırlı hasar düzeyinde plastik şekildeğişirmelerin oluşmasına neden olabileceği vurgulanmıştır.

Hammad ve Moustafa (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada deprem süresinin süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerin yapısal davranışını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu tip yapıların deprem tasarım ilkelerini geliştirmek için deprem süresinin MÇÇ'lerin göçme kapasitesi üzerindeki etkisini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Deneyler tam ölçekli tek açıklıklı tek katlı çaprazlı bir

çerçevede gerçekleştirilmiş ve sonuçları analitik çalışmalar ile araştırılmıştır. Analitik çalışmada 3 ve 9 katlı SAC binası ele alınmış ve deprem süresinin etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda üç katlı binada yer hareketi süresinin herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı, dokuz katlı yapıda ise uzun süreli yer hareketlerinin birinci katta yoğunlaşan yüksek öteleme değerlerine ve kısa süreli yer hareketleriyle karşılaştırıldığında öteleme talebinde yaklaşık %25'lik bir artışa neden olduğu belirtilmiştir.

Hsiao (2012) yaptığı doktora çalışmasında süneklik düzeyi yüksek MÇÇ'lerin deprem performansını kırılma tahminli geliştirilmiş modeller kullanılarak analitik olarak araştırmıştır. Çalışmanın esas amacı bu sistemlere ait doğru ve güvenilir R katsayılarının belirlenmesidir. Bunun için 3, 9 ve 20 katlı SAC binaları farklı R katsayıları dikkate alınarak yüksek deprem bölgesi için tasarlanmıştır. Daha sonra bu sistemlerin deprem davranışları dinamik analizler ile incelenmiştir. Analizlerde ilk olarak P695 yöntemi kullanılmış sonrasında yazar tarafından performansa dayalı yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda hem dayanım fazlalığı hem de öteleme artırma katsayısının R ile değiştiği belirtilmiştir.

## İKİNCİ BÖLÜM

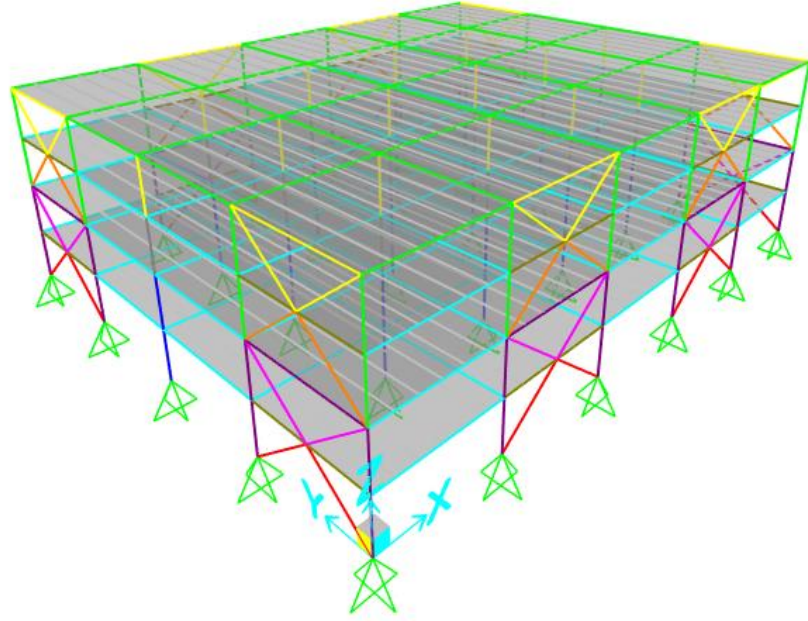
### 2. TAŞIYICI SİSTEMİNİN BOYUTLANDIRILMASI

#### 2.1. TAŞIYICI SİSTEM ÖZELLİKLERİ

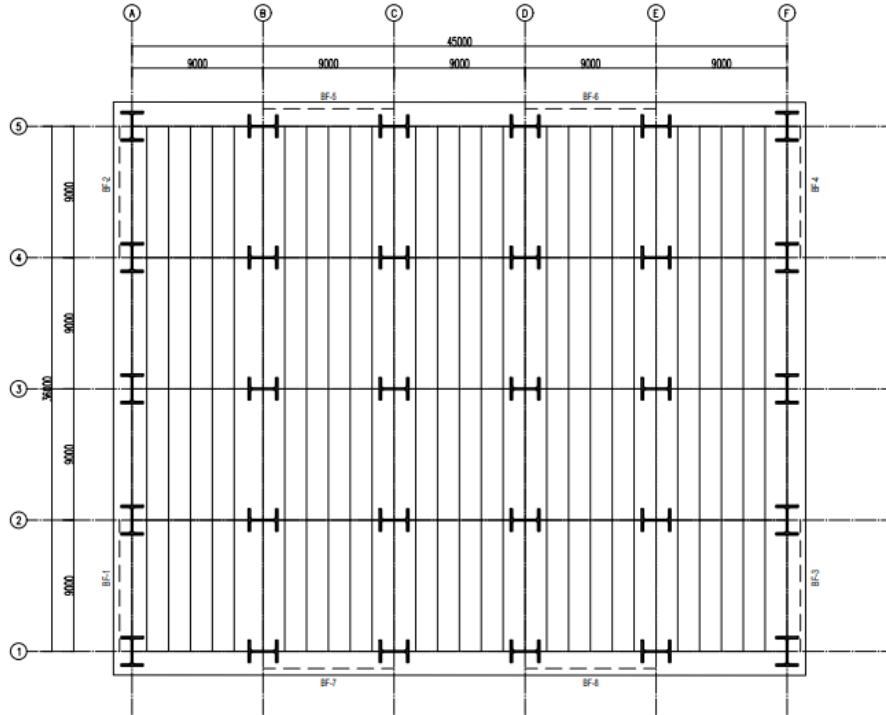
Deprem etkisindeki çelik yapılar yatay yük taşıyıcı sistem yerleşimlerine bağlı olarak farklı şekillerde düzenlenebilirler. Bu sistemler yapıdaki tüm çerçevelerin ya da sadece dış çerçevelerin deprem yüklerini karşılayacak şekilde oluşturulmasıdır. Tüm çerçeveleri yatay yük aktaran yapılarda kolon kiriş birleşimlerinin hepsi moment aktaran rijit birleşim olarak tasarlanır. Ancak dış çerçeveleri yatay yük taşıyıcı sistem olarak düzenlenen sistemlerde yapıya etkileyen deprem yükleri sadece dış çerçevelerin eğilme rijitliği ve dayanımları ile taşınırlar. Buna karşın iç çerçeveleri oluşturan kolon ve kiriş elemanları sadece düşey yüklere göre boyutlandırılır ve birleşimleri mafsallı olarak kabul edilir.

Bu çalışmada incelenen çelik binanın taşıyıcı sistemi planda düzenli ve sadece dış çerçeveleri yatay yük taşıyıcı sistem olarak düzenlenmiştir. Okul amacıyla kullanılacak binaya etkileyen deprem yükleri her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerle karşılanırken, bunların haricindeki tüm iç çerçevelerin sadece düşey yük taşıdığı kabul edilmiştir.

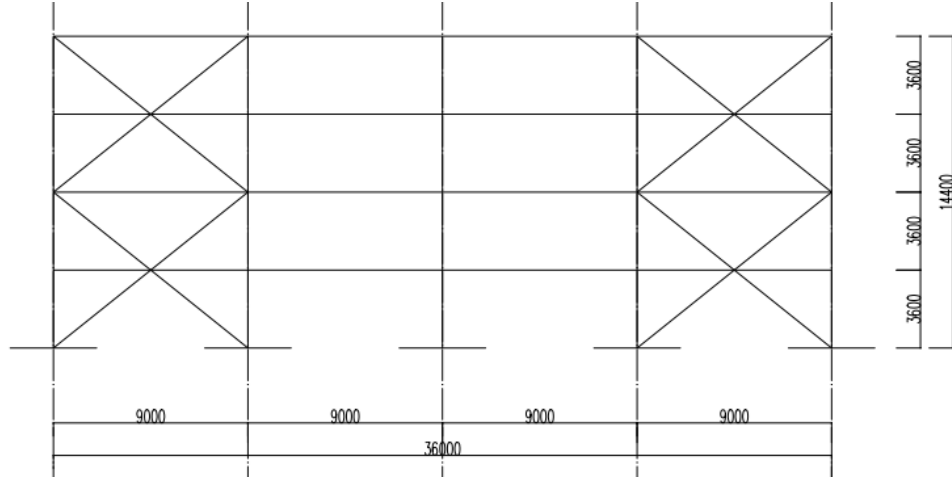
36m x 45m dikdörtgen kat planına sahip okul binası, KG doğrultusunda 4 açıklıklı ve DB doğrultusunda 5 açıklıklıdır. 4 katlı düzenlenen çelik okul binasında tüm kat yükseklikleri 3.6m'dir. Binanın üç boyutlu genel görünüşü, normal kat planı ve yatay yük taşıyan çaprazlı çerçeve görünüşü sırasıyla **Şekil 2.1**, **Şekil 2.2** ve **Şekil 2.3**'te verilmiştir.



Şekil 2.1: Okul binasının üç boyutlu genel görünüşü.



Şekil 2.2: Okul binasının kat planı.



**Şekil 2.3:** Okul binasının yatay yük taşıyan çerçeve görünüşü.

## 2.2. YÜK ANALİZİ

Yapı elemanlarının tasarımında esas alınan yüklerin hesaplanmasında TS 498, TS EN 1991-1-3 ve TS-EN 1991-1-4 yönetmeliklerinde verilen koşullar dikkate alınmıştır. Deprem yükü parametreleri ve deprem yükü TBDY 2018 “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu çalışmada incelenen okul binasının tasarımında dikkate alınan tüm yükler aşağıda açıklanmıştır.

### 2.2.1. Düşey Yükler (Sabit ve Hareketli Yükler)

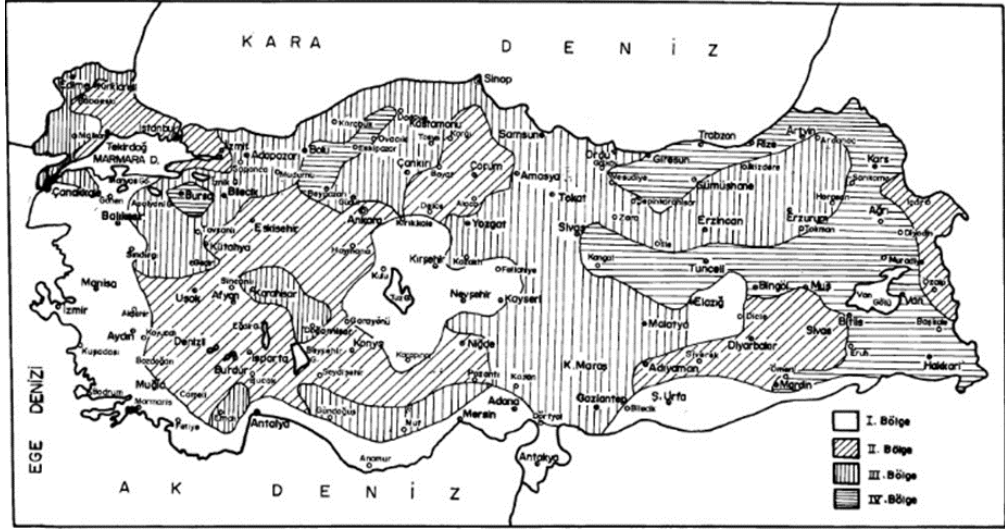
Tasarımda dikkate alınan sabit ve hareketli yükler, TS 498 yönetmeliğinde okul binaları için verilen değerler dikkate alınarak belirlenmiştir. Sabit yükler belirlenirken binada bulunan sabit yüklerin (döşeme betonu, kaplama, sıva vb.) yanı sıra taşıyıcı sistem elemanlarının zati ağırlığı ile tesisat ağırlıkları da hesaba katılmıştır. Hareketli yük değerleri TS 498 yönetmeliğinin yanı sıra ASCE 7-16 yönetmeliği ve önceki çalışmalar (Hsiao (2012), Hammad ve Moustafa (2019)) dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca çatı katı ve normal kat döşemelerinde bölme duvar yükleri ( $0.5 \text{ kN/m}^2$ ) kat hareketli yük değerlerine dahil edilmiştir. Bu çalışmada kabul edilen sabit ve hareketli yükler **Çizelge 2.1**'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1:** Tasarımda kullanılan sabit ve hareketli yükler.

Yük	Çatı Katı	Normal Kat
Sabit Yük	$3.0 \text{ kN/m}^2$	$3.5 \text{ kN/m}^2$
Hareketli Yük	$2.0 \text{ kN/m}^2$	$3.5 \text{ kN/m}^2$

### 2.2.2. Kar Yüğü

Çatı kar yükü hesabı, kullanım süresi boyunca bina üzerinde sürekli ve geçici tasarım durumları için TS EN 1991-1-3 yönetmeliğı göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada tasarlanan okul binasının Tekirdağ ili Şarköy ilçesinde bulunduğu kabul edilmiş ve bölge rakım değeri 37m alınmıştır. Karakteristik zemin kar yükü değeri ( $s_k$ ) TS EN 1991-1-3 Bölüm 4.1 uyarınca Ek MA Çizelge MA.1'e göre belirlenmiştir. Şekil 2.4'te verilen kar haritasında karakteristik zemin kar yükü 4 bölgeye ayrılmış ve kar yükü değeri yapının rakımına bağılı olarak Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Böylece kar yükü hesaplarında Tekirdağ ili için II. Bölgede ve karakteristik zemin kar yükü değeri  $s_k = 0.75 \text{ kN/m}^2$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.4: Türkiye kar haritası (Ek MA Çizelge MA.1-TS498).

Çizelge 2.2: Karakteristik zemin kar yükü değeri ( $s_k$ ) ( $\text{kN/m}^2$ ).

Rakım (m)	Kar Yüğü Bölgeleri			
	I	II	III	IV
$\leq 200$	0.75	0.75	0.75	0.75
300	0.75	0.75	0.75	0.80
400	0.75	0.75	0.75	0.80
500	0.75	0.75	0.75	0.85
600	0.75	0.75	0.80	0.90
700	0.75	0.75	0.85	0.95
800	0.80	0.85	1.25	1.40
900	0.80	0.95	1.30	1.50
1000	0.80	1.05	1.35	1.60
$> 1000$	1500m'ye kadar %10, 1500mnin üzerinde %15 artırılır			

Çatı kar yükü hesabı, sürekli/geçici tasarım durumları için TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.2.3'te verilen aşağıdaki **Denk.(2.1)** dikkate alınarak yapılacaktır.

$$S = \mu_i C_e C_t S_k \quad (2.1)$$

Burada

$\mu_i$  : Kar yükü şekil katsayısı. (TS EN 1991-1-3 Madde 5.3)

$C_e$  : Maruz kalma katsayısı.

$C_t$  : Isı katsayısı.

$S_k$  : Karakteristik zemin kar yükü değeridir.

Maruz kalma katsayısı,  $C_e$ , TS EN 1991-1-3 Çizelge 5.1'e göre 1.0 alınmıştır. Isı katsayısı,  $C_t$ , TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.2.8'e göre 1.0 alınmıştır. Kar yükü şekil katsayısı,  $\mu_i$ , çatı yüzeyindeki kar kütlelerinin kaymasının önlenmediği varsayılarak TS EN 1991-1-3 Çizelge 5.2'ye göre 0.8 alınmıştır.

Böylece bu çalışmada kullanılacak çatı kar yükü;

$$S = 0.8 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.75 = 0.6 \text{ kN/m}^2$$

hesaplanmıştır.

### 2.2.3. Rüzgâr Yükü

Binaya etkiyen rüzgâr yükleri, TS EN 1991-1-4 yönetmeliğinde verilen koşullar dikkate alınarak belirlenmiştir. Buna göre yapının büyüklüğü, şekli ve dinamik özellikleri rüzgâr yükü etkisindeki davranışını etkilemektedir. Binanın rüzgâr yükü talebi tepe kaynaklı hız basıncı,  $q_p$  ile kuvvet ve /veya basınç katsayılarıyla hesaplanmalıdır.

Tepe kaynaklı hız basıncı aşağıda açıklanan adımlar kullanılarak hesaplanmıştır.

1. Esas rüzgâr hızının temel değeri,  $v_{b,0}$  TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.1 uyarınca Milli Ek'e göre belirlenebilir. ÇYTHYE 2016'ya göre rüzgâr hızının temel değeri,  $v_{b,0} = 28 \text{ m/sn}$  (100 km/sa) olarak alınmıştır.
2. Esas rüzgâr hızı,  $v_b$  TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.2'de verilen aşağıdaki **Denk.(2.2)** ile hesaplanmıştır.

$$v_b = C_{dir} C_{season} v_{b,0} \quad (2.2)$$

Burada

$c_{dir}$  : doğrultu katsayısı. (TS EN 1991-1-4'e göre tavsiye edilen 1.0 değeri alınmıştır.)

$c_{season}$  : mevsim katsayısı. (TS EN 1991-1-4'e göre tavsiye edilen 1.0 değeri alınmıştır.)

3. Tepe kaynaklı hız basıncı  $q_p(z)$ , TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.5'te verilen aşağıdaki **Denk.(2.3)** yardımıyla belirlenmiştir.

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) \quad (2.3)$$

Burada

$I_v(z)$  : z metre yükseklikteki türbülans şiddeti, türbülansın standart sapmasının ortalama rüzgâr hızına oranı olarak tanımlanmıştır. TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.4'te aşağıda verilen **Denk.(2.4)** ve **Denk.(2.5)** ile hesaplanmaktadır.

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \ln(z/z_0)} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (2.4)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad z \leq z_{min} \quad (2.5)$$

$\rho$  : Hava yoğunluğu. (Tavsiye edilen değer  $1.25 \text{ kg/m}^3$  alınmıştır.)

$v_m(z)$  : Bir arazide yer seviyesinden z metre yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı. Arazinin engebeliğine, orografik özelliklerine ve esas rüzgâr hızı  $v_b$  değerine bağlı olarak TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.3'te aşağıda verilen **Denk.(2.6)**'ya göre hesaplanmıştır.

$$v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b \quad (2.6)$$

$c_o(z)$  : orografî katsayısı. (TS EN 1991-1-4'e göre aksi belirtilmedikçe 1.0 alınmalıdır.)

$c_r(z)$  : engebелilik katsayısı. z metre yükseklikteki engebелilik katsayısının hesaplanması için tavsiye edilen işlem aşağıdaki **Denk.(2.7)** ve **Denk.(2.8)** ile verilmiştir ve bu eşitlikler logaritmik hız profiline dayanmaktadır.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (2.7)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad z \leq z_{\min} \quad (2.8)$$

Bu denklemlerde verilen  $z_0$  engebелilik uzunluğu,  $k_r$  de aşağıdaki **Denk.(2.9)** kullanılarak hesaplanan, engebелilik uzunluğu  $z_0$  'a bağlı arazi katsayısıdır.

$$k_r = \left[ \frac{z_0}{z_{0,II}} \right]^{0.07} \quad (2.9)$$

İncelenen okul binasının Tekirdağ ilinde inşa edileceği kabulüne dayanarak rüzgâr yükü hesabında arazi kategorisi II için arazi parametreleri TS EN 1991-1-4 Çizelge 4.1 kullanılarak  $z_0 = 0.05\text{m}$  ve  $z_{\min} = 2\text{m}$  alınmıştır. Yukarıda açıklanan adımlarda hesaplanan değerler ve sonucunda elde edilen tepe kaynaklı rüzgâr basıncı **Çizelge 2.3**'te verilmiştir.

**Çizelge 2.3:** Rüzgâr yükü hesap değerleri.

Arazi parametreleri			Engebelilik uzun. ve kats.	Ort. rüzgar hızı	Türbülans şiddeti	Tepe hız basıncı	
$z_0$	$z_{\min}$	$z$	$k_r$	$c_r(z)$	$v_m(z)$	$l_v(z)$	$q_p(z)$
m	m	m	-	-	m/sn	-	kN/m <sup>2</sup>
0.05	2.00	14.40	0.19	1.08	30.13	0.18	1.27

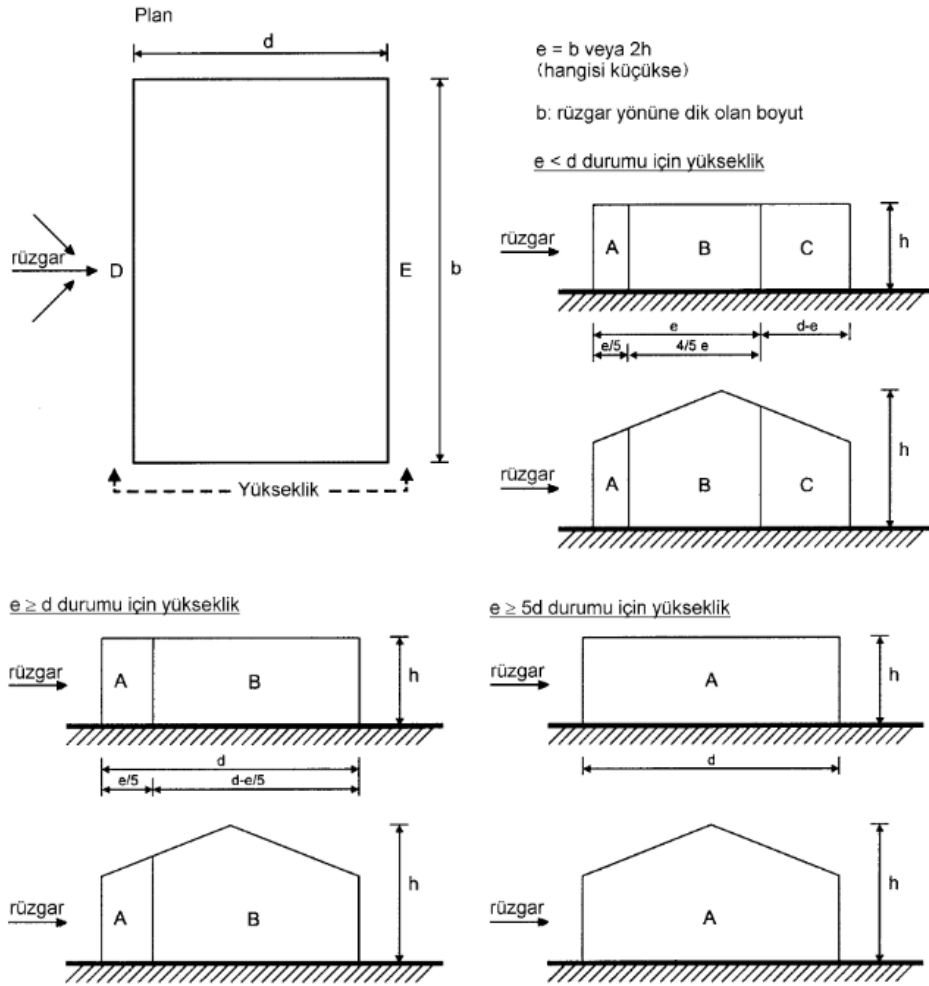
Yapısal elemana etkiyen rüzgâr basıncı, elemanların zıt yüzeylerde oluşan basınçlarının yönleri de dikkate alınarak belirlenen net basınç değerine göre bulunur. Tepe kaynaklı hız basıncı,  $q_p(z)$ , referans yüksekliği,  $z_i$  ve dış ve iç basınç katsayılarına bağlı olarak, yüzeylere etkiyen dış ve iç rüzgâr basınçları aşağıda verilen **Denk.(2.10)** ve **Denk.(2.11)** ile hesaplanmıştır.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (\text{Dış yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı}) \quad (2.10)$$

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (\text{Bir yapının iç yüzeylerine etkiyen rüzgâr basıncı}) \quad (2.11)$$

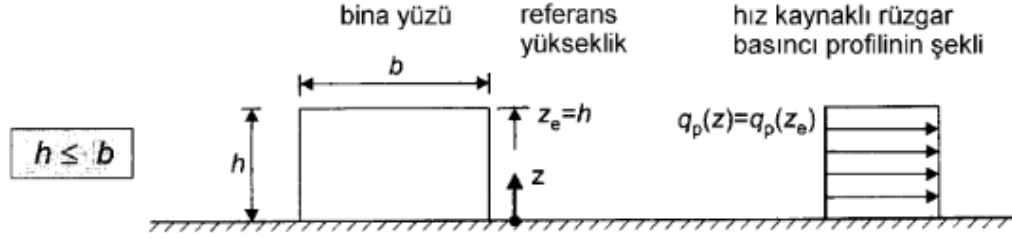
#### 2.2.3.1. Düşey Duvar Basınç Katsayıları

Düşey duvarlar için TS EN 1991-1-4 yönetmeliğinde tanımlanan bölgeler **Şekil 2.5**'te gösterilmiştir. Bu bölgelere ait dış basınç katsayıları ise yönetmelik Çizelge 7.1'de verilen katsayıların interpolasyonu ile belirlenmiştir.



**Şekil 2.5:** Düşey duvar bölgeleri (TS EN 1991-1-4).

İncelen okul binası dikdörtgen plana sahip olduğundan rüzgârın yaklaştığı yöndeki yapı duvarları için (D Bölgesi, **Şekil 2.5**)  $z_e$  referans yükseklikleri,  $h/b$  oranına bağlıdır. TS EN 1991-1-4 Bölüm 7.2 de farklı durumlar için yükseklik hesapları verilmiştir. Bu çalışmada incelenen binanın  $h$  ve  $b$  değerlerine bağlı  $z_e$  referans yüksekliği ve buna karşılık gelen hız kaynaklı rüzgâr basıncı profili **Şekil 2.6**'da verilen şekilde dikkate alınmıştır.



**Şekil 2.6:**  $z_e$  referans yüksekliği ve hız kaynaklı rüzgâr basıncı dağılımı.

Bu çalışmada binanın KG doğrultusundaki çaprazlı çerçeveler incelendiğinden rüzgâr doğrultusu  $\theta=90^\circ$  için rüzgâr yükü hesapları gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr yükü belirlenirken dikkate alınan sayısal büyüklükler **Çizelge 2.4**'te verilmiştir.

**Çizelge 2.4:** Rüzgâr yükü hesaplarında dikkate alınan sayısal büyüklükler.

Rüzgâr yönüne dik uzunluk	$b = 45$ m
Rüzgâr yönüne paralel uzunluk	$d = 36$ m
$z_e$ referans yüksekliği $z_e=h$	$h = 14.4$ m
$e = \min.(b ; 2h)$	$\min. (45; 2 \times 14.4 = 28.8 \text{ m}) = 28.8$ m
$e < d$ olduğundan	$h/d = 14.4 / 36 = 0.40 > 0.25$

Düşey duvarda D ve E etki bölgeleri için TS EN 1991-1-4 Çizelge 7.1'e göre belirlenen dış basınç katsayıları,  $c_{pe}$  ve net basınç katsayıları ile **Çizelge 2.5**'te verilmiştir.

**Çizelge 2.5:** Basınç katsayıları ve rüzgar basıncı değeri.

Bölge	$c_{pe,10}$	$(c_{pe,i} = -0.3)$	$(c_{pe,i} = +0.2)$	$C_{pnet} = C_{pe} - C_{pi}$	$C_{pnet} \times q_p$
<b>D</b>	0.72	1.02	0.52	1.02	1.29 kN/m <sup>2</sup>
<b>E</b>	-0.34	-0.04	-0.54	-0.04	-0.05 kN/m <sup>2</sup>

#### 2.2.4. Deprem Yüğü

Binanın konumuna göre deprem parametreleri Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından (TDTH 2018) elde edilmiştir. Bu uygulamada TBDY 2018'e uygun olarak deprem yer hareketi seviyesi ve yerel zemin sınıfları dikkate alınarak deprem parametreleri ve tasarım spektrumları verilmektedir.

Bu çalışmada Tekirdağ ili Şarköy bölgesinde yer aldığı kabul edilen okul binasının enlem ve boylam değerleri sırasıyla, 40.618 ° ve 27.112° olarak dikkate alınmıştır. Binaya ait zemin sınıfı ZC olarak alınmıştır. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için, kısa periyot ve 1.0 saniye periyot için sırasıyla  $S_S$  ve  $S_1$  olarak tanımlanan harita spektral ivme katsayıları 1.479 ve 0.399 belirlenmiştir (Şekil 2.7). Bina okul olarak tasarlanacağından, bina kullanım sınıfı BKS=1 ve bina önem katsayısı  $I = 1.5$  olarak TBDY 2018 Tablo 3.1'den alınmıştır.

**AFAD**<sup>®</sup>



## Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

### Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Tekirdağ Okul Binası	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem:	40.618°	
Boylam	27.112°	

### Çıktılar

$S_S = 1.479$	$S_1 = 0.399$	$S_{DS} = 1.775$	$S_{D1} = 0.599$
$PGA = 0.605$	$PGV = 46.706$		

Şekil 2.7: Deprem yükü parametreleri.

Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı  $S_{DS}$  ve 1.0 saniye periyot tasarım spektral ivme katsayısı  $S_{D1}$  TBDY 2018'e göre aşağıdaki **Denk.(2.12)** ve **Denk.(2.13)** kullanılarak elde edilmiştir.

$$S_{DS} = S_s \times F_s \quad (2.12)$$

$$S_{D1} = S_1 \times F_1 \quad (2.13)$$

Burada  $F_s$  ve  $F_1$  yerel zemin etki katsayılarıdır. Bu katsayılar yerel zemin sınıfı ve harita spektral ivme katsayılarına bağlı olarak sırasıyla **Çizelge 2.6** ve **Çizelge 2.7**'den belirlenmiştir (TBDY 2018).

**Çizelge 2.6:** Kısa periyot bölgesi Yerel Zemin Etki Katsayısı (TBDY 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_s$					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					

**Çizelge 2.7:** 1.0 sn. periyot bölgesi Yerel Zemin Etki Katsayısı (TBDY 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_1$					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					

Yerel zemin etki katsayıları  $F_s = 1.200$  ve  $F_1 = 1.500$  alınmıştır. Yatay elastik tasarım spektrumunu elde edebilmek için tasarım spektral ivme katsayıları  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  aşağıdaki **Denk.(2.14)** ve **Denk.(2.15)** ile belirlenmiştir.

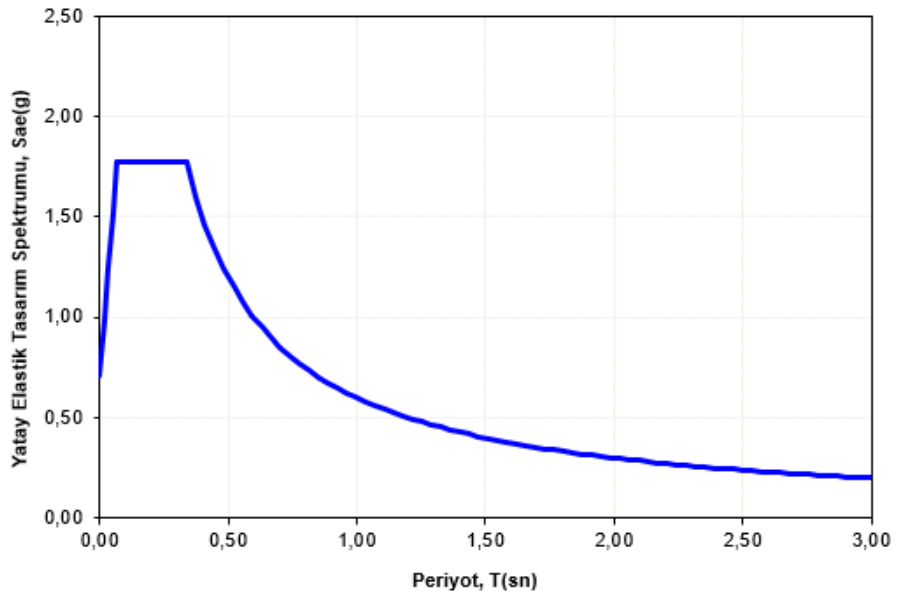
$$S_{DS} = S_s \times F_s = 1.479 \times 1.200 = 1.775 \quad (2.14)$$

$$S_{D1} = S_1 \times F_1 = 0.399 \times 1.500 = 0.599 \quad (2.15)$$

TBDY 2018 Bölüm 2.3.2’de verildiği üzere yatay elastik tasarım spektrumu köşe periyotları aşağıdaki **Denk.(2.16)** ve **Denk.(2.17)** ile belirlenmiş ve yatay elastik tasarım spektrumu **Şekil 2.8**’de gösterilmiştir.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \times \frac{0.599}{1.775} = 0.067 \text{ sn} \quad (2.16)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.599}{1.775} = 0.337 \text{ sn} \quad (2.17)$$



**Şekil 2.8:** Yatay elastik ivme tasarım spektrumu.

Çalışmada incelenen binanın deprem tasarım sınıfı (DTS), kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı  $S_{DS} = 1.775$  ve bina kullanım sınıfı  $BKS=1$ ’e bağlı olarak TBDY 2018 Tablo 3.2’ den  $DTS = 1a$  olarak belirlenmiştir (**Çizelge 2.8**).

**Çizelge 2.8:** Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) (TBDY-2018).

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı ( $S_{DS}$ )	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Binanın tüm kat yükseklikleri eşit ve 3.6m, tabandan itibaren ölçülen bina yüksekliği  $H_N=14.4m$ 'dir. Bina deprem sınıfı (DTS) ve bina yüksekliğine bağlı olarak bina yükseklik sınıfı  $BYS = 6$  olarak belirlenmiştir (**Çizelge 2.9**).

**Çizelge 2.9:** Bina Yükseklik Sınıfı (TBDY 2018).

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

TBDY 2018 Tablo 3.4'e göre deprem yer hareketi düzeyi DD-2 ve deprem tasarım sınıflarına bağlı DTS=1a için incelenen binanın performans hedefi "Kontrollü Hasar" (KH) ve tasarım yaklaşımı "Dayanıma Göre Tasarım" (DGT) olarak belirlenmiştir (**Çizelge 2.10**).

**Çizelge 2.10:** Bina Performans Hedefi ve Tasarım Yaklaşımı (TBDY 2018).

**Tablo 3.4. Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Yeni Yapılacak veya Mevcut Binalar İçin Performans Hedefleri ve Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları**

(a) Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar Dışında –  $BYS \geq 2$ )

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 1a <sup>(1)</sup> , 2, 2a <sup>(1)</sup> , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a <sup>(2)</sup> , 2a <sup>(2)</sup>	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT <sup>(5)</sup>	KH	DGT <sup>(3,4)</sup>
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

Bu çalışmanın temel amacı yakın fay etkisinin okul binasının davranışına olan etkisinin incelenmesi olduğundan dayanıma göre tasarımın (DGT) yanı sıra şekildeğiştirmeye göre tasarım yöntemi (ŞGDT) de dikkate alınmıştır.

#### 2.2.4.1. Bina Hakim Doğal Titreşim Periyodu

Binanın hâkim doğal titreşim periyodu  $T_p$ , modal analiz yöntemiyle SAP2000 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca binanın doğal titreşim periyodu  $T_p$ , TBDY 2018 yönetmeliğinde aşağıda verilen **Denk.(2.18)**'deki ampirik formül kullanılarak da hesaplanabilir.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (2.18)$$

Burada  $C_t$  katsayısı çelik çerçevelerden veya çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan binalarda 0.08 olarak verilmiştir.  $H_N$  ise binanın bodrum katlarının üstündeki *üst bölüm*'ünün toplam yüksekliği olarak tanımlanmıştır. Binanın doğal titreşim periyodu  $T_p$ 'nin deprem hesabında dikkate alınacak en büyük değeri,  $T_{pA}$  periyodunun 1.4 katından daha fazla olmayacaktır.

Bu çalışmada tasarlanan 4 katlı merkezi çaprazlı okul binasının KG yönü hakim doğal titreşim periyodu  $T_{p-KG} = 0.426sn$  olarak elde edilmiştir.

TBDY 2018 yönetmeliğinde süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler için;

- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı,  $R = 5$
- Dayanım fazlalığı katsayısı,  $D = 2$  olarak verilmiştir.

Deprem yükü, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kullanılarak TBDY 2018 yönetmeliğinde verilen aşağıdaki **Denk.(2.19)** ile belirlenmiştir.

$$V_{tE} = m_t S_{ar}(T_p^X) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (2.19)$$

Bu çalışmada incelenen KG doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeveye etkiyen taban kesme kuvveti  $V_{tE}$ ,

$$V_{tE}^{(X)} = 1734.48 \times 0.421 \times 9.81 \geq 0.04 \times 1734.48 \times 1.5 \times 1.775 \times 9.81$$

$$V_{tE}^{(X)} = 7163.4 \text{ kN} \geq 1812.1 \text{ kN}$$

olarak hesaplanmıştır.

Merkezi çaprazlı çelik çerçevenin katlarına etkiyen yatay deprem kuvvetinin dağıtılması için TBDY 2018’de verilen aşağıdaki **Denk.(2.20)** kullanılmıştır.

$$F_{iE} = (V_{iE} - \Delta F_{NE}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (2.20)$$

Burada  $\Delta F_{NE}$  yapının N’inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükünü ifade eder ve  $\Delta F_{NE} = 0.0075 N V_{tE}$  denklemi kullanılarak hesaplanır. Binanın katlarına etki eden  $F_{iE}^{(KG)}$  eşdeğer deprem yükleri, **Çizelge 2.11**’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.11: Bina Katlarına Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri.**

<b>Kat</b>	<b>w<sub>i</sub></b> <b>kN</b>	<b>H</b> <b>m</b>	<b>H<sub>i</sub></b> <b>m</b>	<b>W<sub>i</sub>xH<sub>i</sub></b> <b>kNm</b>	<b>W<sub>i</sub>H<sub>i</sub>/∑W<sub>i</sub>H<sub>i</sub></b> <b>-</b>	<b>F<sub>iE</sub><sup>(X)</sup></b> <b>kN</b>	<b>V<sub>iE</sub><sup>(X)</sup></b> <b>kN</b>
4	3402	3.6	14.4	48988.8	0.333	2318.1	2533.2
3	4536	3.6	10.8	48988.8	0.333	2318.1	4851.3
2	4536	3.6	7.2	32659.2	0.222	1545.4	6396.7
1	4536	3.6	3.6	16329.6	0.111	772.7	7169.4
<b>Toplam</b>	<b>17010</b>			<b>146966.4</b>	<b>1.000</b>	<b>6954.3</b>	

#### 2.2.4.2. Düşey Deprem Etkisi

TBDY 2018 yönetmeliğine göre deprem yükü hesaplarında düşey deprem etkisinin de göz önüne alınması gerekmektedir. Bu çalışmada incelenen binanın düşey deprem etkisi, TBDY 2018’de verilen aşağıdaki **Denk.(2.21)** kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3)S_{DS}G \quad (2.21)$$

Burada G sabit yük etkisi ve  $S_{DS}$  kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısıdır.

#### 2.2.5. Yükler ve Yük Birleşimleri

Bu çalışmada yakın fay etkisi altında davranışı incelenen süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevenin tasarımı için ÇYTHYE 2016 yönetmeliğinde adımları açıklanan Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemi

kullanılmıştır. Bu tasarımın esas amacı, yapı elamanlarının tüm yükleme kombinasyonları altında hiçbir sınır durumunun aşmamasının sağlanmasıdır. YDKT yöntemi kullanılarak yapılacak tasarımlar için yükler ve yük birleşimleri ÇYTHYE 2016 yönetmeliğinde detaylı olarak verilmiştir. Bu yönetmeliğe göre merkezi çaprazlı çelik çerçeveli yapıların tasarımında kullanılacak yükleme kombinasyonları:

Düşey Yük Birleşimleri

$$1.4G$$

$$1.2G + 1.6LL + 0.5LL_R$$

$$1.2G + 1.6LL + 0.5S$$

$$1.2G + 1.6LL_R + 1.0LL$$

$$1.2G + 1.6S + 1.0LL$$

$$1.2G + 1.6S$$

$$1.2G + 1.6LL$$

Düşey Yük + Rüzgâr Yüğü Birleşimleri

$$1.2G + 1.6LL_R \pm 0.8W$$

$$1.2G + 1.0LL + 0.5LL_R \pm 1.6W$$

$$0.9G \pm 1.6W$$

Yük birleşimlerinde bulunan deprem yükü etkisi (E), TBDY 2018 yönetmeliğinde hem yatay hem de düşey deprem etkilerinin toplamı olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır. Deprem yükünün düşey ve yatay bileşenlerine ayrılmasıyla yük birleşimleri:

$$G(1.2 + 0.3(2/3)S_{DS}) = G(1.2 + 0.3(2/3)1.775) = 1.555G$$

$$G(0.9 - 0.3(2/3)S_{DS}) = G(0.9 - 0.3(2/3)1.775) = 0.545G$$

Düşey Yük + Deprem Yüğü Birleşimleri

$$1.555G + 1.0LL + 0.2S \pm E_d^H$$

$$0.545G \pm E_d^H$$

Burada:

$G$  : Sabit yükün karakteristik değeri

$LL$  : Hareketli yükün karakteristik değeri

- $LL_R$  : Çatı hareketli yükün karakteristik değeri  
 $S$  : Kar yükünün karakteristik değeri  
 $W$  : Rüzgâr yükünün karakteristik değeri  
 $E$  : Deprem yükünün karakteristik değeri

Stabilite analizinde geometrik ön kusurları hesaba katmak için yatay fiktif yükler tanımlanmıştır. ÇYTHYE 2016 yönetmeliğine göre geometrik ön kusurları yapı analizinde doğrudan modellenebileceği gibi aşağıdaki **Denk.(2.22)** ile belirlenerek de hesaba katılmasına izin verilmiştir. Yönetmelik uyarınca fiktif yükler sadece düşey yük birleşimlerinde dikkate alınmıştır.

$$N_i = 0.002\alpha Y_i \quad (2.22)$$

### 2.2.6. Yapısal Düzensizlik Kontrolleri

Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeniyle, tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken yapılar düzensiz yapılar olarak tanımlanmaktadır. TBDY 2018 yönetmeliğinde açıklanan düzensizlik durumları **Çizelge 2.12**'de verilmiştir.

**Çizelge 2.12:** Yapısal Düzensizlik Durumları (TBDY 2018).

PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMU
<p><b>A1 - Bina Burulma Düzensizliği</b>            Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin, o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî kat ötelemesine oranını ifade eden <i>Burulma Düzensizliği Katsayısı</i>, <math>\eta_{bi}</math> 'nin 1.2 sınır değerinden büyük olması durumudur.</p>
<p><b>A2 - Döşeme Süreksizlikleri</b>            Binada herhangi bir kattaki döşemede i) merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması, ii) deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması ve iii) döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumlarıdır.</p>
<p><b>A3 - Planda Çıkıntılar Bulunması</b>            Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumudur.</p>

DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK DURUMU	
<b>B1 - Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)</b>	Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki <i>toplam etkili kesme alanının</i> , bir üst kattaki <i>toplam etkili kesme alanına</i> oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı $\eta_{ci}$ 'nin 0.80'den küçük olması durumudur.
<b>B2 - Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)</b>	Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı $\eta_{ki}$ 'nin 2.0'den fazla olması durumudur.
<b>B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği</b>	Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak girişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumudur.

Deprem davranışı incelenen okul binasının düzensizlik kontrolleri maddeler halinde incelenmiş ve kısaca özetlenmiştir.

- **Bina Burulma Düzensizliği:** İncelenen binanın her bir katı için A1 burulma düzensizliği katsayısı,  $\eta_{bi}$  hesaplanmış ve KG doğrultusu için **Çizelge 2.13**'te verilmiştir. **Çizelge 2.13**'te verilen yer değiştirme değerleri, taşıyıcı sistem elemanlarının kesin boyutlandırma işlemi tamamlandıktan sonra sistem analizleri sonucunda elde edilen değerlerdir.

**Çizelge 2.13:** Burulma Düzensizliği Kontrolü.

Kat	$(u_i^{(x)})_{max}$ (m)	$(u_i^{(x)})_{ort}$ (m)	$(\Delta i^{(x)})_{max}$ (m)	$(\Delta i^{(x)})_{ort}$ (m)	$\eta_{bi}^{(x)}$	Koşul	Sonuç
4	0.0283	0.0276	0.0058	0.0057	1.008	$\leq 1.2$	Uygun
3	0.0226	0.0219	0.0084	0.0081	1.028	$\leq 1.2$	Uygun
2	0.0142	0.0138	0.0078	0.0077	1.015	$\leq 1.2$	Uygun
1	0.0064	0.0062	0.0064	0.0061	1.049	$\leq 1.2$	Uygun

- **Döşeme Süreksizlikleri:** İncelenen binanın kat planında deprem kuvvetlerinin taşıyıcı elemanlara aktarılmasını engelleyecek yukarıda açıklanan döşeme düzensizliklerinden hiçbiri yoktur.

- **Planda Çıkıntılar Bulunması:** Bina dikdörtgen bir plana sahip olduğundan ve kat planında çıkıntı bulunmadığından dolayı binada A3 türü düzensizlik mevcut değildir.
- **Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği:** Çelik yapılar için geçerli olmadığından dolayı incelenmemiştir.
- **Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği:** Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği katsayıları,  $\eta_{ki}$ , ek dışmerkez etkileri de göz önüne alınarak, her kat için ayrıntılı olarak hesaplanmış ve KG doğrultusu için aşağıdaki **Çizelge 2.14**'te gösterilmiştir. Rijitlik katsayıları 2.0 sınır değerinden küçük olduğundan dolayı binada B2 türü düzensizlik mevcut değildir.

**Çizelge 2.14:** Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzenliği.

Kat	$\left(\Delta_i^{(x)}\right)_{ort}$ (m)	$h_i$ (m)	$\left(\frac{\Delta_i^{(x)}}{h_i}\right)_{ort}$	$\left(\frac{\Delta_{i-1}^{(x)}}{h_{i-1}}\right)_{ort}$	$\left(\frac{\Delta_{i+1}^{(x)}}{h_{i+1}}\right)_{ort}$	$\eta_{ki}^{(1)}$	$\eta_{ki}^{(2)}$	Koşul	Sonuç
4	0.0057	3.60	0.0016	0.0023	-	0.7017	-	$\leq 2.0$	Uygun
3	0.0081	3.60	0.0023	0.0021	0.0016	1.0613	1.4251	$\leq 2.0$	Uygun
2	0.0077	3.60	0.0021	0.0017	0.0023	1.2502	0.9422	$\leq 2.0$	Uygun
1	0.0061	3.60	0.0017	-	0.0021	-	0.7999	$\leq 2.0$	Uygun

- **Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği:** Binada düşey elemanlarda herhangi bir süreksizlik mevcut değildir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### 3. SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVE TASARIMI

#### 3.1. GİRİŞ

Çelik yapılarda yatay yük taşıyıcı sistemlerde genellikle moment aktaran, merkezi çaprazlı, dışmerkez çaprazlı ve burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeve sistemler kullanılmaktadır (TBDY 2018). TBDY 2018 yönetmeliğinde bunlar süneklik düzeyleri bakımından, süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler, süneklik düzeyi sınırlı taşıyıcı sistemler ve süneklik düzeyi karma taşıyıcı sistemler olmak üzere üç farklı şekilde tasarlanırlar. Günümüzde burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin kullanımını artmasına rağmen moment aktaran ve merkezi çaprazlı çerçeve sistemleri en çok kullanılan yatay yük taşıyıcı sistemlerdir. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler özellikle az ve orta katlı yapılar için depremselliği yüksek bölgelerde moment aktaran çerçevelerden daha ekonomik sistemlerdir (Sabelli v.d., 2013).

Günümüzde MÇÇ'ler yüksek rijitlik ve dayanımlarının yanı sıra tasarım kolaylığı ve binaların yatay ötelemelerini kontrol etmede en etkili sistem olmaları nedeniyle çelik yapılarda yatay yük taşıyıcı olarak en yaygın kullanılan sistemlerdir. Bu tür sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri, eğilme dayanımlarının yanı sıra büyük ölçüde elemanların eksenel kuvvet dayanımları ile belirlenmektedir. TBDY 2018'e göre çaprazlı çelik çerçeveler süneklik düzeyleri bakımından iki sınıfa ayrılır. Bunlar; i) Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeveler ve ii) Süneklik Düzeyi Sınırlı Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevelerdir.

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde elastik ötesi şekil değiştirme yapabilme kapasitesini esas olarak çapraz elemanların burkulması ve akması belirlemektedir. TBDY 2018'de süneklik düzeyi yüksek MÇÇ'lerin tasarım süreci deprem etkileri altında, basınç etkisindeki çapraz elemanların bazılarının burkulması halinde dahi, sistemde önemli ölçüde dayanım kaybı meydana gelmeyecek şekilde boyutlandırılması olarak tanımlanmıştır.

Bu bölümde tez çalışması kapsamında incelenen süneklik düzeyi yüksek MÇÇ sistemlerinin tasarımı için TBDY 2018 yönetmeliğinde verilen şartlar kısaca özetlenmiştir.

### 3.2. ENKESİT KOŞULLARI

Yatay yük taşıyıcı sistem kesitleri, deprem etkileri altında olası göçmeye yol açacak önemli yerel burkulma olmadan kararlı davranış göstermelidirler. TBDY 2018 elemanların tasarımında etkili olacak yerel burkulma sınır durumu kesitin basınca çalışan elemanlarının genişlik/kalınlık oranına göre düzenlemiştir. ÇYTHYE 2016 yönetmeliği kesitleri yerel burkulma davranışına göre, “kompakt kesit”, “kompakt olmayan kesit” ve “narin kesit” şeklinde sınıflandırır. Buna ek olarak TBDY 2018 yönetmeliğinde “süneklik düzeyi yüksek” ve “süneklik düzeyi sınırlı” iki eleman enkesitleri sınıflandırılması verilmiştir.

Bu çalışmada tasarlanan MÇÇ’ler süneklik düzeyi yüksek olduğundan kiriş, kolon ve çaprazlarında, *başlık genişliği/kalınlığı*, *gövde yüksekliği/kalınlığı* ve *çap/kalınlık oranları* TBDY 2018 Tablo 9.3’te verilen  $\lambda_{hd}$  sınır değerlerini aşmamalıdır. TBDY 2018’e Tablo 9.3’te süneklik düzeyi yüksek elemanlar için gereken  $\lambda_{hd}$  sınır değerleri aşağıdaki **Denk.(3.1)**, **Denk.(3.2)** ve **Denk.(3.3)**’te verilmiştir.

Dikdörtgen kutu kesitlerde (HSS)

$$\frac{b}{t} < 0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.1)$$

I kesitlerin başlıkları (rijitleştirilmemiş elemanlar)

$$\frac{b_f}{2t_f} < 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.2)$$

I kesitlerin gövdeleri (rijitleştirilmiş elemanlar)

$$\frac{h}{t_w} < 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.3)$$

I kesitlerde  $C_a \leq 0.125$  için  $\frac{h}{t_w} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0.93C_a)$  olmalıdır.

### 3.3. KAPASİTE TASARIMI

Süneklik düzeyi yüksek MÇÇ'lerin deprem etkisi altında beklenen performansı, büyük elastik olmayan ötelenmeler elde etmek için yüksek düzeyde çapraz sünekliği sağlamaya dayanmaktadır. Yatay yük etkisi altında süneklik düzeyi yüksek MÇÇ'lerin tasarımları enerji sönmülmesinin çaprazlarla sağlandığı, sistemin diğer tüm eleman ve birleşimlerinin elastik kaldığı tasarım ilkesine göre gerçekleştirilir (Sabelli, 2001, TBDY 2018). Mevcut yönetmeliklerde süneklik düzeyi yüksek MÇÇ'leri kapasite tasarım yöntemi ilkesine göre tasarlamak için izlenen adımlar aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.3.1. Çapraz Tasarımı

Deprem yükleri altında süneklik düzeyi yüksek MÇÇ'lerde enerji sönmülmesinin temel kaynağı olan çapraz elemanlar, basınç etkisinde burkulma ve çekme etkisinde akma ile enerji sönmülendirir. Bu nedenle MÇÇ'lerin yatay yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde çapraz elemanların davranışı oldukça önemlidir. Basınca çalışan çaprazlar burkulduğunda, çaprazların yatay yük taşıma kapasiteleri önemli ölçüde azalır ve kuvvetler çekme çaprazlarına dağıtılır. MÇÇ'lerde düzgün bir tasarım için genellikle çekme çaprazları ve basınç çaprazlarının karşıladığı yüklerin dengeli olması dikkate alınır.

Bu çalışmada incelenen süneklik düzeyi yüksek MÇÇ'lerin dayanıma göre tasarımları TBDY 2018 Bölüm 9.6.3'te verilen şartlara göre gerçekleştirilmiştir. Çapraz elemanların tasarımında S275 çelik kalitesinden yapılmış kutu enkesitli profiller (SHS) tercih edilmiştir. Hesaplarda dikkate alınan çapraz boyları ( $L_{br}$ ) MÇÇ'lerin geometrileri kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca TBDY 2018 yönetmeliğinde süneklik düzeyi yüksek MÇÇ'lerin çapraz elemanlarının genişlik/kalınlık ( $b/t$ ) oranlarının süneklik düzeyi yüksek eleman sınır değerini sağlaması zorunlu olduğu için süneklik düzeyi yüksek elemanlardan oluşan kesitler

seçilmiştir. Bunlara ek olarak çapraz elemanların narinlik oranları (K.L/i) 200 sınır değerinden küçük olma koşulu dikkate alınmıştır.

TBDY 2018 yönetmeliği Madde 9.6.3.3'e göre çapraz elemanlar deprem yükü etkisi içeren yük birleşimleri kullanılarak boyutlandırılmalıdır. Bu çalışmada MÇÇ'lerin statik analizleri ÇYTHYE 2016 ve TBDY 2018 yönetmeliklerinde verilen tüm yük birleşimleri dikkate alınarak SAP2000 V25 programı ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde çaprazlar için en elverişsiz kesit tesirleri düşey yükler ve deprem etkilerini içeren aşağıdaki yük birleşimlerinde oluştuğu gözlemlenmiştir.

$$1.555G + 1.0LL + 0.2S \pm E_d^H$$

$$0.545G \pm E_d^H$$

Çaprazlarda meydana gelen en büyük çekme ve basınç kesit tesirleri  $1.555G + 1.0LL + 0.2S \pm E_d^H$  yük birleşiminde oluşmuştur. **Çizelge 3.1**'de MÇÇ'lerin her kat seviyesindeki çaprazlarında oluşan kesit tesiri değerleri verilmiştir.

**Çizelge 3.1:** Çaprazlarda oluşan en büyük kesit tesiri değerleri.

Kat	P <sub>u</sub> (kN)	P <sub>u</sub> (kN)
	Basınç	Çekme
4	742.6	714.6
3	1398.7	1370.3
2	1814.3	1800.6
1	2073.0	2057.7

#### 3.3.1.1. Çapraz Eleman Boyutlandırması

Süneklik düzeyi yüksek MÇÇ'lerin birinci kat çaprazlarına ait kesit seçim adımları örnek olarak aşağıda verilmiştir.

##### **Kutu Enkesit 220x220x16**

$$\begin{array}{lll} b = & 220 \text{ mm} & t = & 16 \text{ mm} & A_g = & 12781 \text{ mm}^2 \\ h = & 220 \text{ mm} & i = & 82.7 \text{ mm}^4 & & \end{array}$$

### Yerel burkulma sınır durum kontrolleri

ÇYTHYE 2016 yönetmeliğine göre,

Başlık parçası:

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{220 - 2(14.88)}{14.88} = 12.78 \quad \lambda_p = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.12 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 30.20$$

Gövde parçası:

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{220 - 2(14.88)}{14.88} = 12.78 \quad \lambda_p = 2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.42 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 65.26$$

başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından *narin olmayan enkesit* dir.

TBDY 2018 yönetmeliğine göre,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{220 - 2(14.88)}{14.88} = 12.78 \quad \lambda_{hd} = 0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.55 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 14.83$$

süneklik düzeyi yüksek elemanlardan oluşan kesit sınır koşulu sağlanmıştır.

Çapraz elemanın narinlik oranı,

$$\lambda = \frac{KL}{i} = \frac{1.0(5762.8)}{82.7} = 69.68 \leq 200$$

koşulunu sağlamıştır.

Çaprazın tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı  $P_c$ ,

Çapraz kesitleri düşey ve yatay yük etkilerini dikkate alan 1.555G+1.0LL+0.2S+1.0E<sub>x</sub> yük birleşimi için elde edilen en elverişsiz kesit tesiri değerleri altında seçilmiştir. MÇÇ'lerin birinci kat çaprazlarında oluşan en büyük basınç kuvveti değeri **P<sub>u</sub> = 2073 kN** dikkate alınmıştır (**Çizelge 3.1**). Buna göre,

$$\lambda = \left( \frac{L_{cx}}{i_x}; \frac{L_{cy}}{i_y} \right) = 69.68$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{maks}^2} = \frac{\pi^2 200000}{69.68^2} = 406.51 MPa$$

ÇYTHYE 2016 Bölüm 8.2'ye göre

$$69.68 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127.02$$

olduğundan,

$$F_{cr} = \left( 0.658^{\frac{F_y}{F_c}} \right) F_y = \left( 0.658^{\frac{275}{406.51}} \right) 275 = 207.19 \text{ MPa}$$

Çaprazın karakteristik basınç kuvveti dayanımı,

$$P_n = F_{cr} A_g = 207.19 \times 12781 \times 10^{-3} = 2648.1 \text{ kN}$$

Tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı,

$$P_c = \phi P_n = 0.9 \times 2648.1 = 2383.3 \text{ kN}$$

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{2073}{2383.3} = 0.87 \leq 1.0$$

Çaprazın tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi  $T_d$ ,

MÇÇ'lerin birinci kat çaprazlarında oluşan en büyük çekme kuvveti değeri  $P_u = 2057.7 \text{ kN}$  dikkate alınmıştır (**Çizelge 3.1**). ÇYTHYE 2016 Bölüm 7.1.1'e göre çekme kuvveti etkisindeki çapraz elemanın narinlik oranı,

$$\lambda = \frac{L_c}{i} = \frac{5762.8}{82.7} = 69.68 \leq 300$$

koşulunu sağlamıştır.

Akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_y A_g$$

$$T_n = F_y A_g = 275 \times 12781 \times 10^{-3} = 3514.8 \text{ kN}$$

$$T_d = \phi_y T_n = 0.9 \times 3514.8 = 3163.3 \text{ kN}$$

Kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_u A_n$$

$$A_e = U A_n$$

ÇYTHYE 2016 Tablo 7.1 Durum 6'dan gerilme düzensizliği

$$\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)} = \frac{220^2 + 2 \times 220 \times 220}{4 \times (220 + 220)} = 82.5$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 1 - \frac{82.5}{440} = 0.8125$$

elde edilmiştir.

$$A_n = 12781 - 2 \times 14.88(10 + 2) = 12423.9 \text{ mm}^2$$

Etkin net enkesit alanı,  $A_e$

$$A_e = 0.8125 \times 12423.9 = 10094.42 \text{ mm}^2$$

$$T_n = F_u A_n = 430 \times 10094.42 \times 10^{-3} = 4340.6 \text{ kN}$$

$$T_d = \phi_y T_n = 0.75 \times 4340.6 = 3255.5 \text{ kN}$$

Çaprazın tasarım çekme kuvveti dayanımı

$$\frac{P_u}{T_d} = \frac{2057.7}{3163.3} = 0.65 \leq 1.0$$

Yukarıdaki verilen tasarım adımları her kat seviyesi için dikkate alınarak çapraz kesitleri seçilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen okul binasında süneklik düzeyi yüksek MÇÇ'lerin seçilen çapraz kesitlerinin tasarım özellikleri ve basınç ile çekme etkileri altındaki kapasiteleri **Çizelge 3.2** ve **Çizelge 3.3**'te verilmiştir.

**Çizelge 3.2:** Seçilen çapraz kesitler ve basınç tasarım parametreleri.

Kat	Çapraz SHS	b/t -	L mm	r mm	KL/r -	$P_u$ kN	$P_c$ kN	D/C
4	160x160x14.2	10.12	5763	59.0	83.0	742.6	1144.4	% 64.9
3	180x180x14.2	11.63	5763	67.2	72.9	1398.7	1483.1	% 94.3
2	200x200x16	11.44	5763	74.6	65.7	1814.3	2009.9	% 90.3
1	220x220x16	12.78	5763	82.7	59.2	2073.0	2383.3	% 87.0

**Çizelge 3.3:** Seçilen çapraz kesitler ve çekme tasarım parametreleri.

Kat	Çapraz SHS	L mm	$A_g$ mm <sup>2</sup>	$P_u$ kN	$T_d$ kN	D/C
4	160x160x14.2	5763	8065	714.6	1996.1	% 35.8
3	180x180x14.2	5763	9201	1370.3	2277.3	% 60.2
2	200x200x16	5763	11501	1800.6	2846.5	% 63.3
1	220x220x16	5763	12781	2057.7	3163.3	% 65.0

### 3.3.2. Çerçeve (Sistem) Analizi

TBDY 2018 yönetmeliği süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin tasarımında çaprazlar dışında kalan kolon, kiriş gibi çelik yapı elemanların ve birleşimlerin gerekli dayanımlarının belirlenmesi için elastik analiz yapılmasını gerektirir. Dolayısıyla deprem etkisinde süneklik düzeyi yüksek MÇÇ’lerde çaprazların enerji sönmüleyen elemanlar olarak çalışması, bunların dışındaki tüm elemanların doğrusal elastik davranış sergilemesi istenmektedir.

TBDY 2018 Bölüm 9.2.6’da süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelere ait kolon, kiriş ve birleşimlerinin gerekli dayanımları için, “deprem etkilerinin **dayanım fazlalığı katsayısı D** ile çarpılarak büyütülmesiyle belirlenen iç kuvvetlerin 9.2.5’te tanımlanan yük birleşimlerinde kullanılmasıyla elde edilecektir. Ancak bu iç kuvvetler, **kapasite tasarımı ilkesi**’nin gereği olarak, pekleşme ve malzeme dayanım artışı etkileri de göz önüne alınarak tanımlanan akma (mekanizma) durumu ile uyumlu iç kuvvetlerden daha büyük alınmaması” ifade edilmiştir. Bu maddede belirtilen özel deprem yük birleşimleri aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

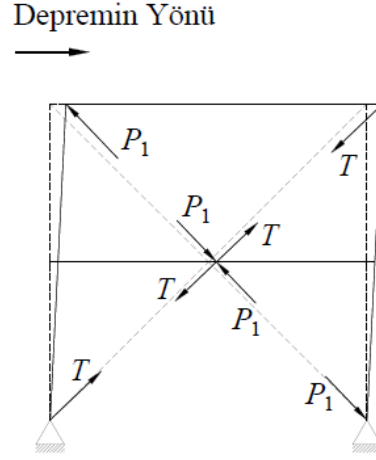
$$\underbrace{1.2G + 1.0LL + 0.2S}_{\text{düşey yük}} + \underbrace{0.2S_{DS}G + DE_d^H}_{\text{deprem yükü}}$$

$$\underbrace{0.9G}_{\text{düşey yük}} - \underbrace{0.2S_{DS}G + DE_d^H}_{\text{deprem yükü}}$$

Burada G: sabit yük, LL: hareketli yük, S: kar yükü, E: deprem yükü ve D: dayanım fazlalığı katsayısıdır.  $0.2S_{DS}G$  terimi düşey deprem yükü etkisini ifade eder.

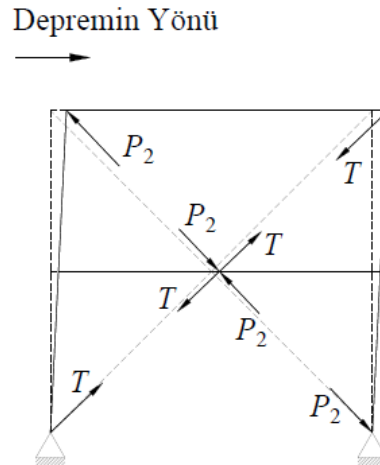
Çaprazlar dışındaki kolon, kiriş, birleşimler gibi çerçeve elemanlarının gerekli dayanımları çaprazlar nedeniyle maruz kalacakları maksimum kuvvetlere göre tasarlanmalıdır. TBDY 2018 yönetmeliği kolon, kiriş ve birleşimlerin gerekli dayanımlarının belirlenmesinde iki farklı plastik mekanizma yaklaşımını göz önüne almaktadır. Bunlar;

**Analiz 1:** Eksenel basınç kuvveti etkisindeki çapraz elemanların burkulma anına karşı gelen tipik mekanizma durumudur (**Şekil 3.1**). Çerçevenin elastik sınırını temsil etmek için, tüm çapraz elemanlara gelen kuvvetlerin çekme ve basınç etkisinde beklenen dayanımları ile karşılandığı kabul edilir (Sabelli v.d., 2013).



**Şekil 3.1:** Analiz 1 ile tanımlanan **mekanizma** durumu (TBDY 2018).

**Analiz 2:** Eksenel basınç kuvveti etkisindeki çapraz elemanların burkulma sonrasında karşı gelen tipik mekanizma durumudur (**Şekil 3.2**). Bazı çaprazların burkulması ve dayanım ve rijitliğinde meydana gelen ciddi kayıplar nedeniyle olası durumları temsil etmek için gelen kuvvetlerin çekme etkisindeki tüm çaprazlarda beklenen çekme dayanımlarıyla ve basınç etkisindeki tüm çaprazların burkulma sonrası beklenen basınç dayanımlarıyla karşılandığı kabul edilir.



**Şekil 3.2:** Analiz 2 ile tanımlanan **mekanizma** durumu (TBDY 2018).

Bu tasarım yaklaşımında çekme etkisindeki bir çaprazın beklenen akma dayanımı,  $T$  ve basınç etkisinde basınç kuvveti dayanımı  $P$ , aşağıdaki **Denk.(3.4)**, **Denk.(3.5)** ve **Denk.(3.6)** ile belirlenir (TBDY 2018).

$$T = R_y F_y A_g \quad (3.4)$$

$$P_1 = 1.14 F_{cre} A_g \quad (3.5)$$

$$P_2 = 0.30(1.14 F_{cre} A_g) \quad (3.6)$$

Burada,

$R_y$  : Olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı.

$F_y$  : Yapı çeliği karakteristik akma gerilmesi.

$A_g$  : Kayıpsız enkesit alanı.

$F_{cre}$  : Olası akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesi.

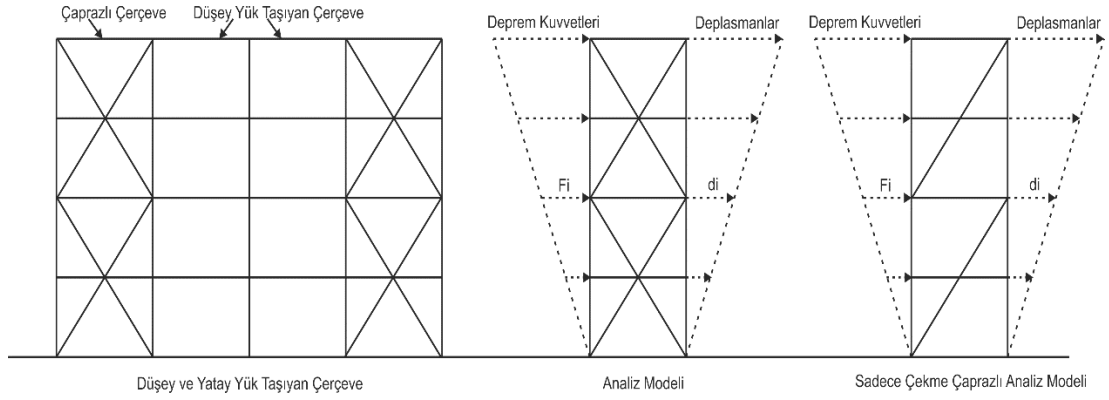
Bu çalışmada incelenen süneklik düzeyi yüksek MÇÇ çaprazlarında çekme ve basınç etkisinde beklenen dayanım değerleri **Çizelge 3.4**'te sunulmuştur.

**Çizelge 3.4:** Seçilen çapraz kesitlerinde beklenen dayanım değerleri.

Kat	Çapraz	KL/r	Fe	Fcre	Beklenen Dayanım (kN)		
					Çekme (T)	Basınç (P <sub>1</sub> )	Burk.Sonr.(P <sub>2</sub> )
	SHS	-	MPa	MPa	$R_y F_y A_g$	$1.14 F_{cre} A_g$	$0.3(1.14 F_{cre} A_g)$
4	160x160x14.2	83.0	286.4	212.0	2883.2	1949.2	584.8
3	180x180x14.2	72.9	371.5	239.0	3289.4	2506.6	752.0
2	200x200x16	65.7	457.8	257.8	4111.6	3380.5	1014.1
1	220x220x16	59.2	562.6	274.0	4569.2	3992.5	1197.8

### 3.3.3. Kolon Tasarımı

Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolon elemanlarının tasarımında mevcut deprem yönetmelikleri iç kuvvetlerin belirlendiği ana bağlı olarak iki farklı analiz yaklaşımını dikkate almaktadır. Bu analiz modellerindeki en önemli fark basınca çalışan çapraz elemanlarının burkulmasıdır. İlk yaklaşımda basınca çalışan çapraz elemanlar burkulmadan önce gelen yüklere karşı tüm çaprazların çalıştığı kabul edilir (Şekil 3.3). Buna karşın ikinci yaklaşım çaprazlarda burkulma meydana geldikten sonra dayanım ve rijitliklerinde meydana gelen azalmanın dikkate alındığı analiz modelidir.

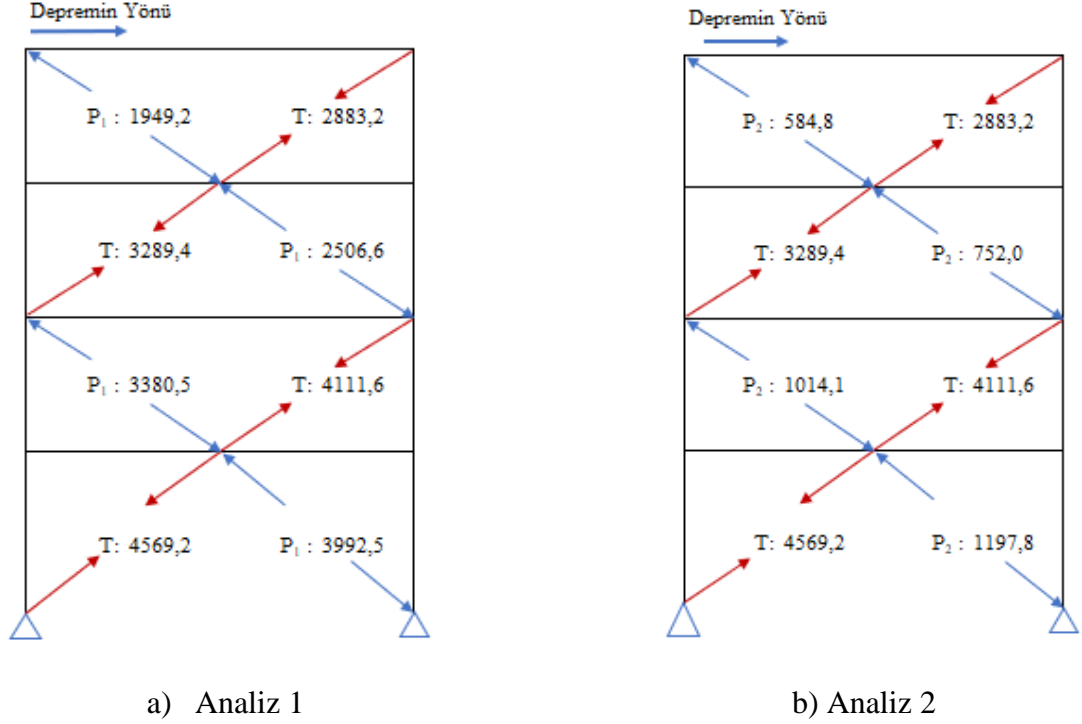


Şekil 3.3: Çaprazlı çerçevelerin analiz modelleri.

Bu çalışmada deprem davranışı incelenen süneklik düzeyi yüksek MÇÇ kolon elemanlarının boyutlandırılması TBDY 2018 ve AISC 341-16 yönetmelikleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Kolon kesitlerinin seçiminde izlenen yol aşağıda verilmiştir.

- 1. Adım:** Kolon elemanlarının çapraz kapasitelerinden dolayı maruz kalacakları en elverişsiz kuvvetlerin belirlenmesidir. Bu amaçla seçilen çapraz elemanlarının beklenen dayanımları (Çizelge 3.4) kullanılarak TBDY 2018 yönetmeliğinde verilen Analiz 1 (A1) ve Analiz 2 (A2) mekanizma durumları oluşturulmuştur (Şekil 3.4). Daha sonra kolon

elemanlarına gelen en elverişsiz iç kuvvet değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.5).



Şekil 3.4: Mekanizma durumları (TBDY 2018).

Çizelge 3.5: Mekanizma yaklaşımıyla belirlenen kolon iç kuvvetleri.

Kat	Pu (Kapasite) (kN)	Etkin Analiz Durumu
4	-1801.1	A1 / A2
3	-1875.8	A2
2	-5888.3	A1
1	-5840.0	A1

2. **Adım:** Çaprazlı çerçeve sisteminden basınca çalışan çapraz elemanlar çıkarılmış ve kolon elemanların iç kuvvetleri **D** dayanım fazlalığı katsayısı ile artırılmış deprem yükleri etkisinde belirlenmiştir. SAP2000 programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen artırılmış iç kuvvet değerleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

**Çizelge 3.6:** Artırılmış deprem yükü altında belirlenen kolon iç kuvvetleri.

<b>Kat</b>	<b>Pu (D.E<sub>d</sub><sup>H</sup>) (kN)</b>
<b>4</b>	-2001.4
<b>3</b>	-2922.4
<b>2</b>	-8018.7
<b>1</b>	-8428.3

Yukarıda verilen sonuçlar incelendiğinde kapasite tasarım ilkesi kullanılarak elde edilen kolon iç kuvvetlerinin daha küçük olduğu görülmektedir. TBDY 2018 yönetmeliği dayanım fazlalığı katsayısını içeren yük birleşimlerini kolonlarda eksenel yük talebinin üst sınırı olarak göz önüne aldığından her iki analizden belirlenen iç kuvvetlerden daha küçük olanı kullanılmıştır. Böylece kolon elemanlarının tasarımında 1. Adım ile belirlenen değerler dikkate alınmış ve kolon elemanların tasarımında dikkate alınan iç kuvvet değerleri **Çizelge 3.7**'de her kat seviyesi için verilmiştir.

**Çizelge 3.7:** Kolon tasarımında kullanılan iç kuvvet değerleri.

<b>Kat</b>	<b>Pu (kN)</b>	<b>Pu (kN)</b>	<b>Pu (kN)</b>
	<b>Düşey Yük</b>	<b>Deprem Yük</b>	<b>Düşey Y+Dep. Y.</b>
<b>4</b>	-193.8	-1801.1	-1994.9
<b>3</b>	-556.0	-1875.8	-2431.8
<b>2</b>	-918.1	-5888.3	-6806.4
<b>1</b>	-1280.3	-5840.0	-7120.3

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin kolon elemanları S355 çeliğinden yapılmış ve enkesit seçiminde HE profiller tercih edilmiştir. Kolonlar yönetmeliğe uygun olarak sadece düşey yük etkisinde ÇYTHYE 2016 Bölüm 8 dikkate alınarak boyutlandırılmıştır.

#### 3.3.3.1. Kolon Eleman Boyutlandırması

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin kolonlarının boyutlandırılmasında dikkat edilen hesap adımları birinci kat için aşağıda verilmiştir.

### HE300M

$d =$	340 mm	$b_f =$	310 mm	$A_g =$	30310 mm <sup>2</sup>
$h =$	208 mm	$t_f =$	39 mm	$t_w =$	21 mm
$I_x =$	59200 cm <sup>4</sup>	$i_x =$	139.8 mm	$W_{ex} =$	3482 cm <sup>3</sup>
$I_y =$	19400 cm <sup>4</sup>	$i_y =$	80 mm	$W_{ey} =$	1252 cm <sup>3</sup>

#### Yerel burkulma sınır durum kontrolleri

ÇYTHYE 2016 yönetmeliğine göre,

Başlık parçası:

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{310}{2 \cdot 39} = 3.97 \quad \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

$$\lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 13.29$$

Gövde parçası:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{208}{21} = 9.90 \quad \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.25$$

$$\lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.37$$

başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları  $\lambda_p$  ve  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından *narin olmayan enkesit* dir.

TBDY 2018 yönetmeliğine göre,

Başlık parçası:

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{310}{2 \cdot 39} = 3.97 \quad \lambda_{hd} = 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.30 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 7.12$$

Gövde parçası:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{208}{21} = 9.90 \quad C_a = \frac{P_u}{0.90(F_y A_g)} = \frac{7120.3 \cdot 10^3}{0.90(355 \cdot 30310)} = 0.74$$

$$\lambda_{hd} = 0.77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.93 - C_a) = 0.77 \sqrt{\frac{200000}{355}} (2.93 - 0.74) = 40.11$$

$\lambda < \lambda_{hd}$  olduğu için süneklik düzeyi yüksek elemanlardan oluşan kesit sınır koşulu sağlanmıştır.

#### Kolon elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi, $P_d$

Kolon kesitleri düşey yüklerden ve kapasite tasarımı etkisi dahilinde elde edilen en elverişsiz kesit tesiri değerleri altında seçilmiştir. MÇÇ'lerin birinci kat kolonlarında oluşan en büyük basınç kuvveti değeri  $P_u = 7120.3$  kN dikkate alınmıştır (Çizelge 3.7). Buna göre,

Eğilmeli burkulma sınır durumunda asal eksenlere göre eleman burkulma boyları,

$$K_x = 1.0 \quad L_{cx} = K_x \times L_x = 1.0 \times 3600 = 3600mm$$

$$K_y = 1.0 \quad L_{cy} = K_y \times L_y = 1.0 \times 3600 = 3600mm$$

Narinlik oranları,

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{3600}{139.8} = 25.8 \leq 200$$

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{3600}{80} = 45.0 \leq 200$$

ÇYTHYE 2016 Bölüm 8.1.1 uyarınca,  $L_c / i \leq 200$  koşulunu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$

$$(L_c / i)_{maks} = (L_{cx} / i_x; L_{cy} / i_y)_{maks} = (25.8; 45.0)_{maks} = 45.0$$

Elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(45.0)^2} = 974.8MPa$$

Kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$

$$\lambda = \frac{L_{cy}}{i_y} = 45.0 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 111.8$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y = \left[ 0.658^{\frac{355}{974.8}} \right] 355 = 304.8 \text{MPa}$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$

$$P_n = F_{cr} A_g = 304.8 \times 30310 \times 10^{-3} = 9238.8 \text{kN}$$

$$P_d = 0.9 P_n = 0.9 \times 9238.8 = 8314.9 \text{kN}$$

$$\frac{P_u}{P_d} = \frac{7120.3}{8314.9} = 0.86 < 1.00$$

Yukarıdaki açıklanan tasarım adımları her kat seviyesi için tekrarlanmış ve kolon kesitleri seçilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevede seçilen kolon kesitleri ve kapasiteleri **Çizelge 3.8**'de verilmiştir.

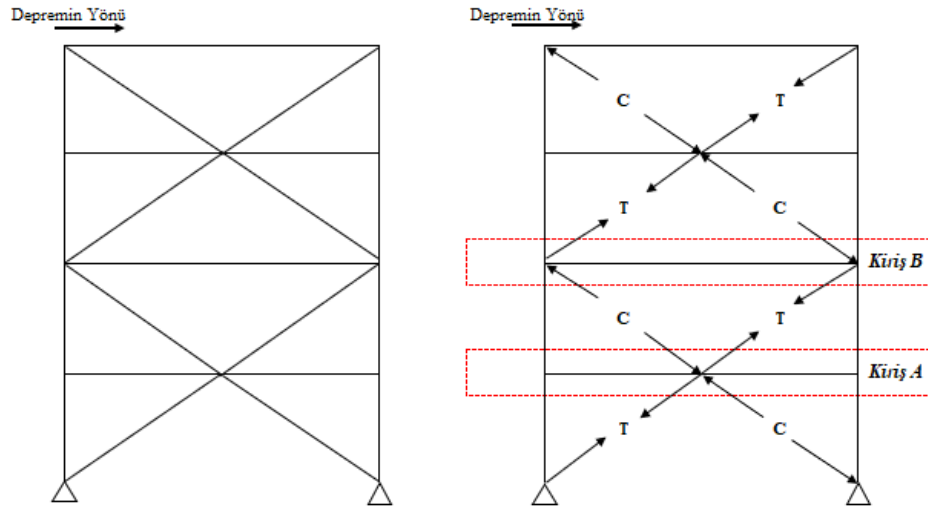
**Çizelge 3.8:** Seçilen kolon kesitleri ve beklenen dayanım değerleri.

<b>Kat</b>	<b>Kolon</b>	<b>P<sub>u</sub></b> kN	<b>P<sub>d</sub></b> kN	<b>D/C</b>
<b>4</b>	HE200M	-1994.9	-2952.5	<b>% 68</b>
<b>3</b>	HE200M	-2431.8	-2952.5	<b>% 82</b>
<b>2</b>	HE300M	-6806.4	-8314.9	<b>% 82</b>
<b>1</b>	HE300M	-7120.3	-8314.9	<b>% 86</b>

### 3.3.4. Kiriş Tasarımı

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerin kiriş elemanlarının gerekli dayanımları TBDY 2018 yönetmeliği dikkate alınarak belirlenmiştir. Buna göre kirişler Bölüm 3.3.2. Çerçeve (Sistem) Analizi bölümünde verilen özel yük birleşimleri için kontrol edilmiştir. Bu yük birleşimlerinde yer alan artırılmış deprem yükü ( $D.E_d^H$ ) çaprazların çekme ve basınç kapasitelerine ulaştığı kabul edilerek Analiz 1 ve Analiz 2 dikkate alınarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada incelenen süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevenin çapraz düzeni iki katta X çaprazlı olduğundan Şekil 3.5'te kat kirişlerine etkiyecek kuvvetler şematik olarak gösterilmiştir.



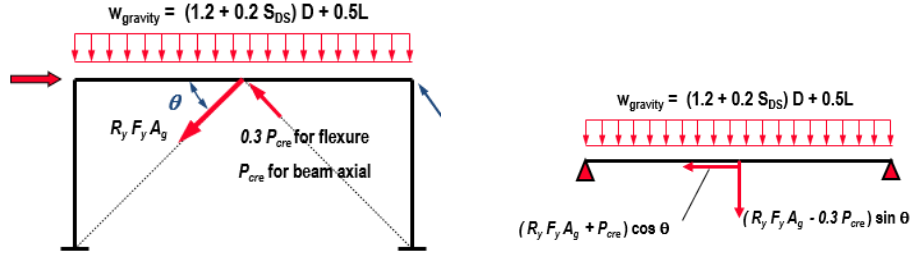
Şekil 3.5: Kat kirişlerine gelen kuvvetler.

#### A Kirişi:

Elastik ötesi davranışta çaprazlı çerçeve çaprazlarında oluşan aksenal kuvvetler arasında oldukça büyük farklar oluşur. Çekme etkisindeki çaprazda çekme kapasitesi  $R_y F_y A_g$  kadar olurken, basınç etkisindeki çapraz burkulma sonrasında  $0.30(1.14 F_{cre} A_g)$  kalan basınç kapasitesini taşıyacaktır (AISC V2, 2019). Bu durumda iki çaprazın birleştiği noktada dengelenmemiş büyük düşey kuvvet oluşmakta ve bu da çaprazların bağlandığı kirişlerde büyük eğilme momentlerine neden olmaktadır.

AISC 341-16 yönetmeliğine göre çaprazların kestiği kiriş elemanların boyutlandırılmasında dikkate alınacak kuvvetler Şekil 3.6'daki gibi tanımlanmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere kiriş üzerinde çekme ve basınç etkisindeki çapraz

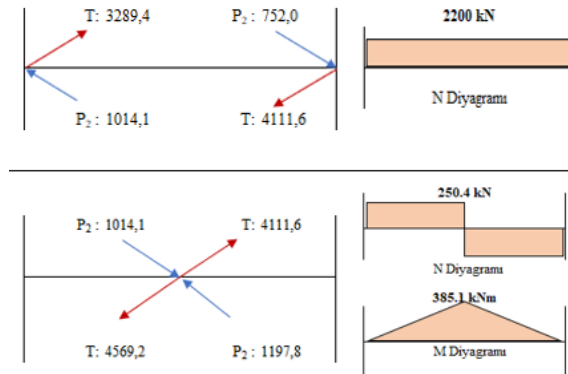
elemanların kapasitelerindeki fark nedeniyle hem dengelenmemiş düşey hem de yatay kuvvet oluşmaktadır. Düşey kuvvetler kirişte kesme kuvveti oluştururken, yatay kuvvetten dolayı eksenel yük oluşmaktadır. Bu nedenle kirişlerin tasarımı eksenel kuvvet ve eğilmeyi dikkate alan bileşik etkiler altında gerçekleştirilmelidir.



Şekil 3.6: Çaprazların kestiği kirişlere gelen kuvvetler (AISC 341 16).

Bu çalışmada incelenen süneklik düzeyi yüksek MÇÇ kiriş elemanlarının boyutlandırılması TBDY 2018 yönetmeliğine ve yukarıda açıklanan tasarım adımları dikkate alınarak aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir.

- İlk olarak kiriş elemanlarına gelen en elverişsiz kuvvetler TBDY 2018 yönetmeliğinde verilen Analiz 1 (A1) ve Analiz 2 (A2) mekanizma durumları için çaprazların çekme ve basınç kapasiteleri kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 3.7’de çerçevenin 1. ve 2. kat kirişleri için eksenel kuvvet ve eğilme momenti taleplerinin nasıl belirlendiği gösterilmiştir. Analiz 1 kirişlerin eksenel kuvvet talebini en elverişsiz yaparken, Analiz 2 eğilme momenti talebini en elverişsiz yapmıştır (Çizelge 3.9).



Şekil 3.7: Çaprazlı çerçeve kirişlerinde deprem taleplerinin belirlenişi.

**Çizelge 3.9:** Mekanizma yaklaşımıyla belirlenen kiriş iç kuvvetleri.

Kat	Analiz 1 (A1)		Analiz 2 (A2)	
	Pu (kN)	Mu (kNm)	Pu (kN)	Mu (kNm)
4	1886.8	-	1354.1	-
3	376.2	212.7	223.9	335.8
2	662.2	-	423.4	-
1	417.6	217.1	250.4	385.1

- Daha sonra Bölüm 3.3.2.'de verilen özel yük birleşimleri dikkate alınarak her kat seviyesinde kirişlere etkiyen en elverişsiz iç kuvvet değerleri belirlenmiştir (**Çizelge 3.10**).

**Çizelge 3.10:** Kiriş tasarımında kullanılan iç kuvvet değerleri.

Kat	Pu (kN)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)
		Düşey Yük	Deprem Yük	Düşey Y+Dep. Y.
4	897.4	309.1	-	309.1
3	376.2	407.4	335.8	743.2
2	2200.0	407.4	-	407.4
1	417.6	407.4	385.1	792.5

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevenin kirişleri S355 çeliğinden yapılmış ve enkesit seçiminde HE profiller tercih edilmiştir. Kirişler aksenal kuvvet ve eğilmeyi dikkate alan bileşik etkiler altında ÇYTHYE 2016 Bölüm 11 uyarınca boyutlandırılmıştır.

#### 3.3.4.1. Kiriş Eleman Boyutlandırması

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeve kirişlerinin tasarımında izlenen hesap adımları birinci kat için aşağıda verilmiştir.

#### **HE280M**

$$\begin{array}{lll} d = & 310 \text{ mm} & b_f = 288 \text{ mm} & A_g = 24020 \text{ mm}^2 \\ h = & 196 \text{ mm} & t_f = 33 \text{ mm} & t_w = 18.5 \text{ mm} \\ I_x = & 39550 \text{ cm}^4 & i_x = 128.3 \text{ mm} & W_{ex} = 2551 \text{ cm}^3 \\ I_y = & 13160 \text{ cm}^4 & i_y = 74 \text{ mm} & W_{ey} = 914.1 \text{ cm}^3 \\ h_0 = & 277 \text{ mm} & J = 8073000 \text{ mm}^4 & W_{px} = 2966 \text{ cm}^3 \end{array}$$

### Yerel burkulma sınır durum kontrolleri

ÇYTHYE 2016 yönetmeliğine göre,

Başlık parçası:

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{288}{2*33} = 4.36 \quad \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

$$\lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 13.29$$

Gövde parçası:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{196}{18.5} = 10.59 \quad \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.25$$

$$\lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.37$$

başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları  $\lambda_p$  ve  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından *narin olmayan enkesit* dir.

TBDY 2018 yönetmeliğine göre,

Başlık parçası:

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{288}{2*33} = 4.36 \quad \lambda_{hd} = 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.30 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 7.12$$

Gövde parçası:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{196}{18.5} = 10.59 \quad C_a = \frac{P_u}{0.90(F_y A_g)} = \frac{250.4 * 10^3}{0.90(355 * 24020)} = 0.03$$

$$\lambda_{hd} = 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0.93 C_a) = 2.45 \sqrt{\frac{200000}{355}} (1 - 0.93 * (0.03)) = 56.39$$

$\lambda < \lambda_{hd}$  olduğu için süneklik düzeyi yüksek elemanlardan oluşan kesit sınır koşulu sağlanmıştır.

### Kiriş elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi, $P_d$

MÇÇ'lerin birinci kat kirişlerinde oluşan en büyük basınç kuvveti değeri  $P_u = 417.6$  kN dikkate alınmıştır (Çizelge 3.10). Kiriş elemanının aksenal basınç kuvveti dayanımı ÇYTHYE 2016 Bölüm 8 uyarınca belirlenecektir. Buna göre,

Eğilmeli burkulma sınır durumunda asal eksenlere göre eleman burkulma boyları,

$$K_x = 1.0 \quad L_{cx} = K_x \times L_x = 1.0 \times 9000 = 9000mm$$

$$K_y = 1.0 \quad L_{cy} = K_y \times L_y = 1.0 \times 9000 = 9000mm$$

Narinlik oranları,

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{9000}{128.3} = 70.1 \leq 200$$

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{9000}{74} = 121.6 \leq 200$$

ÇYTHYE Bölüm 8.1.1. uyarınca, narinlik oranları  $L_c / i \leq 200$  koşulunu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$

$$(L_c / i)_{maks} = (L_{cx} / i_x; L_{cy} / i_y)_{maks} = (70.1; 121.6)_{maks} = 121.6$$

Elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(121.6)^2} = 133.4MPa$$

Kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$

$$\lambda = \frac{L_{cy}}{i_y} = 121.6 > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 111.8$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e = 0.877 \times 133.4 = 117.0MPa$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$

$$P_n = F_{cr} A_g = 117.0 \times 24020 \times 10^{-3} = 2811.1kN$$

$$P_d = 0.9 P_n = 0.9 \times 2811.1 = 2530.0kN$$

Kiriş elemanın eğilme momenti dayanımının belirlenmesi,  $M_d$

MÇÇ'lerin birinci kat kirişlerinde oluşan en büyük eğilme momenti değeri  $M_u = 792.5 \text{ kNm}$  dikkate alınmıştır (Çizelge 3.10). Kiriş elemanının eğilme momenti dayanımı ÇYTHYE 2016 Bölüm 9'a göre belirlenecektir. Buna göre,

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = 355 \times 2966000 \times 10^{-6} = 1052.9 kNm$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kiriş başlığı kompozit tali kiriş noktalarından desteklendiği için  $L_b = 1500mm$  olarak alınmıştır. Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen uzunluğu  $L_p$

$$L_p = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 74 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 3091.3 mm$$

olarak hesaplanmıştır.

ÇYTHYE 2016 Bölüm 9.2. Denk.(9.7a) uyarınca çift simetri eksenli I-enkesitlerde  $C = 1.0$  olarak alınmaktadır.

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{h \times t_w}{6b_f \times t_f}\right)}} = \frac{288}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{196 \times 18.5}{6 \times 288 \times 33}\right)}} = 80.6 mm$$

değerleri kullanılarak elastik olmayan burkulma sınır uzunluğu,  $L_r$  **Denk.(3.7)**

ile

$$L_r = 1.95 i_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{W_{ex} h_0} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{W_{ex} h_0}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}} \quad (3.7)$$

$$L_r = 1.95 \times 80.6 \times \frac{200000}{0.7 \times 355} \times \sqrt{\frac{8073000 \times 1}{2551000 \times 277} + \sqrt{\left(\frac{8073000 \times 1}{2551000 \times 277}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 355}{200000}\right)^2}} = 19311.1 mm$$

olarak elde edilmiştir.

$$L_r > L_p > L_b \Rightarrow 19311.1 mm > 3091.3 mm > 1500 mm$$

olduğu için karakteristik eğilme momenti dayanımı ( $M_n$ ) akma sınır durumundan elde edilen eğilme momenti dayanımına ( $M_p$ ) eşit olarak hesaplanmıştır.

$$M_n = M_p = 1052.9 kNm$$

$$M_d = 0.9 M_n = 0.9 \times 1052.9 = 947.6 kNm$$

ÇYTHYE 2016 Bölüm 11 dikkate alınarak eğilme momenti ve eksenel kuvvet etkisindeki kirişin talep/kapasite oranı aşağıda belirlenmiştir.

$$\frac{P_u}{P_d} = \frac{417.6}{2530} = 0.165 < 0.2 \text{ için}$$

$$\frac{P_u}{2P_d} + \frac{M_u}{M_d} = \frac{417.6}{2 \times 2530} + \frac{792.5}{947.6} = 0.92 \leq 1.0$$

Yukarıdaki açıklanan tasarım adımları her kat seviyesi için tekrarlanmış ve çaprazlı çerçevenin kirişlerinin kesitleri belirlenmiştir. **Çizelge 3.11**'de seçilen kiriş kesitleri ve kapasite oranları verilmiştir.

**Çizelge 3.11:** Seçilen kiriş kesitleri ve beklenen dayanım değerleri.

Kat	Kiriş	Talep		Dayanım		D/C
		P <sub>u</sub> (kN)	M <sub>u</sub> (kNm)	P <sub>d</sub> (kN)	M <sub>d</sub> (kNm)	
4	HE260M	897.4	309.1	2011.0	806.4	<b>% 79</b>
3	HE280M	376.2	743.2	2530.0	947.6	<b>% 86</b>
2	HE300M	2200.0	407.4	3731.2	1302.9	<b>% 87</b>
1	HE280M	417.6	792.5	2530.0	947.6	<b>% 92</b>

### 3.3.5. Düşey Yük Taşıyan Çerçeve Elemanlarının Tasarımı

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerin dışında tüm iç çerçeveleri oluşturan kolon ve kiriş elemanları sadece düşey yüklere göre boyutlandırılmıştır. Düşey yük birleşimleri altında kolon ve kiriş elemanlarında meydana gelen kesit tesirleri SAP2000 v25 analiz programıyla elde edilmiştir.

Bu çalışmada incelenen binanın düşey yük taşıyan çerçeve elemanlarında en elverişsiz kesit tesiri değerleri 1.2G+1.6LL+0.5S yük birleşimi altında oluşmuştur. Kolonlar ÇYTHYE 2016 Bölüm 8, kirişler ise Bölüm 9’da verilen tasarım kriterleri kullanılarak seçilmiştir. Sadece düşey yük taşıyan kolon ve kiriş eleman kesitleri ile kapasite oranları sırasıyla **Çizelge 3.12** ve **Çizelge 3.13**’te verilmiştir.

**Çizelge 3.12:** Düşey yük taşıyan çerçeve kolon kesitleri.

Kat	Kolon	Talep		Dayanım		D/C
		$P_u$ (kN)		$P_d$ (kN)		
4	HE140B	-186.3		641.2		<b>% 29</b>
3	HE160B	-583.2		957.1		<b>% 61</b>
2	HE180B	-980.1		1306.7		<b>% 75</b>
1	HE200B	-1377		1706.8		<b>% 81</b>

**Çizelge 3.13:** Düşey yük taşıyan çerçeve kiriş kesitleri.

Kat	Kiriş	Talep		Dayanım		D/C
		$M_u$ (kNm)	$V_u$ (kN)	$M_d$ (kNm)	$V_d$ (kN)	
4	HE200M	309.1	137.7	362.6	702.9	<b>% 85.2</b>
3	HE220M	407.4	198.5	453.4	792.4	<b>% 89.9</b>
2	HE220M	407.4	198.5	453.4	792.4	<b>% 89.9</b>
1	HE220M	407.4	198.5	453.4	792.4	<b>% 89.9</b>

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### 4. İTME YÖNTEMİ

TBDY 2018 yönetmeliğinde deprem etkisindeki yapıların şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarımı aşamasında “İtme Yöntemi” ve “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi” kullanılan doğrusal olmayan hesap yöntemleridir. Bu bölümde tasarımı yapılan okul binasının deprem davranışının değerlendirilmesinde kullanılan statik itme analizi için dikkate alınan kabuller ve analiz sonuçları detaylı olarak sunulmuştur. Bir sonraki bölümde ise yapının değerlendirilmesinde kullanılan zaman tanım alanında yapılan analizleri verilmiştir.

Doğrusal olmayan itme yöntemleri, göz önüne alınan deprem doğrultusunda yatay yüklerin önceden belirlenmiş hedef deplasman değerine ulaşmasına kadar artırılmasına dayanır. Deprem yükü artımları monotonik olarak adım adım uygulanır ve taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönme, uzama) ve iç kuvvet değerleri sürekli olarak hesaplanır.

TBDY 2018 yönetmeliğinde statik itme analizleri “Tek modlu itme yöntemleri” ve “Çok modlu itme yöntemleri” olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Analizlerde bu hesap yöntemlerinden hangisinin kullanılacağı TBDY 2018 Bölüm 5.5.2. uyarınca belirlenmiştir. Bu amaçla incelenen binanın *Bina Yükseklik Sınıfı* ( $BYS \geq 5$ ), *burulma düzensizliği katsayısı* ( $\eta_{bi} < 1.4$ ) ve doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait *taban kesme kuvveti etkin kütlesi*'nin toplam bina kütesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması koşullarına bakılmıştır.

Bu çalışmada dayanım tasarımı yapılmış dört katlı merkezi çaprazlı çerçevede  $BYS=6$  (bkz. Bölüm 2.2.4.), her bir katı için  $\eta_{bi} < 1.4$  (bkz. **Çizelge 2.13**) ve binanın birinci titreşim periyoduna ait taban kesme kuvveti etkin kütesinin binanın toplam kütesine oranı 0.81 olduğundan tek modlu itme yöntemi kullanılarak analizleri yapılmıştır.

#### 4.1. MODAL KAPASİTE EĞRİSİ

İtme hesabında önce taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi olarak kapasite eğrisi çizilir (**Şekil 4.1a**) ve daha sonra bu eğrinin koordinatları TBDY 2018 Bölüm 5B.1 uyarınca dönüştürülerek modal sözde ivme – modal yerdeğiştirme ilişkisi olarak modal kapasite diyagramı elde edilir (**Şekil 4.1b**). Bu eğri kullanılarak depremin modal yer değiştirme talebi belirlenebilir. Modal kapasite eğrisinin oluşturulmasında izlenen yol aşağıda verilmiştir.

- i) İtme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen *sabit mod şekli*'nin  $x$  doğrultusundaki genliklerine göre kat modal etkin kütleleri belirlenmiştir (**Denk.(4.1)**).

$$m_{ix1}^{(X,1)} = m_i \Phi_{ix1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}, m_{iy1}^{(X,1)} = m_i \Phi_{iy1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}, m_{i\theta1}^{(X,1)} = m_i \Phi_{i\theta1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} \quad (4.1)$$

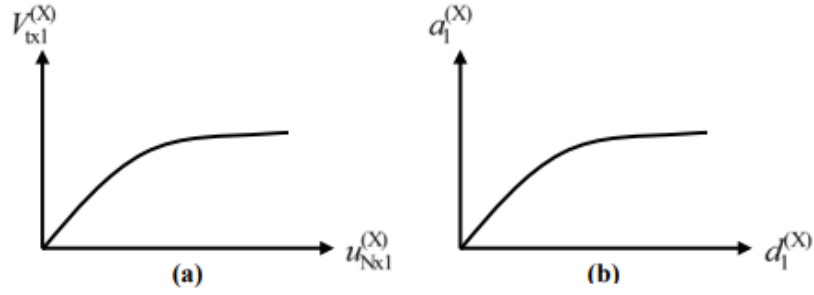
- ii) **Denk.(4.2)**'de verilen  $\Gamma_1^{(X,1)}$ , birinci titreşim moduna ait modal katkı çarpanı'dır ve aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\Gamma_1^{(X,1)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i(X)n}}{\sum_{i=1}^N m_i \Phi_{ixn}^2} \quad (4.2)$$

- iii) İtme analizinden elde edilen kapasite eğrisinin dişey (taban kesme kuvveti) ve yatay (tepe noktası) koordinatlarına modal kapasite eğrisinde karşılık sözde ivme ( $a_1^{(X,k)}$ ) ve modal yerdeğiştirme ( $d_1^{(X,k)}$ ) koordinatlarına aşağıdaki **Denk.(4.3)** ve **Denk.(4.4)** kullanılarak dönüştürülmüşlerdir.

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,1)}} \quad (4.3)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{Nx1}^{(X,k)}}{\Phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.4)$$



Şekil 4.1: Modal kapasite diyagramı (TBDY 2018).

#### 4.2. DEPREMİN MODAL YERDEĞİŞİRME TALEBİNİN ELDE EDİLMESİ

Deprem modal yerdeğiştirme talebinin elde edilmesi, verilen deprem etkisi altında modal kapasite diyagramı tarafından temsil edilen modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yerdeğiştirmesinin hesabına karşı gelmektedir (TBDY 2018).

Modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yerdeğiştirmesi, statik itme analizinden elde edilen modal kapasite diyagramı, deprem etkisi ise birinci doğal titreşim periyoduna ait yatay elastik tasarım spektrum kullanılarak belirlenecektir. Deprem modal yerdeğiştirme talebi, itme eğrisinde performans noktası olarak da tanımlanır.

Modal tek serbestlik dereceli sistemde en büyük yerdeğiştirmesi, doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme olarak TBDY 2018 Denk.(5B.12)'de verilen aşağıdaki **Denk.(4.5)** ile tanımlanmıştır.

$$d_{1,\max}^{(X)} = S_{di}(T_1) \quad (4.5)$$

Burada  $S_{di}(T_1)$  taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu  $T_1$ 'e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmeyi ifade eder ve **Denk.(4.6)** ile

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (4.6)$$

belirlenir. Denklemden  $S_{de}(T_1)$  elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesidir.  $C_R$  ise spektral yerdeğiştirme oranını gösterir ve aşağıdaki **Denk.(4.7)** ile hesaplanır.

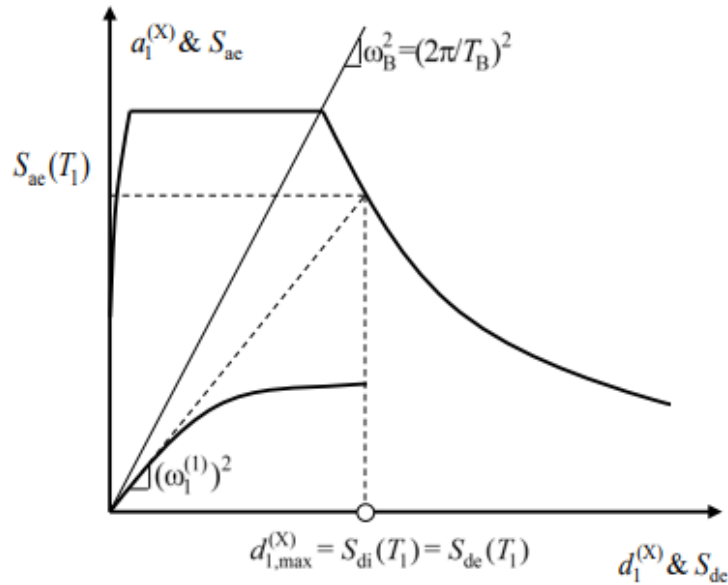
$$C_R = \frac{\mu(R_y, T_1)}{R_y} \quad (4.7)$$

Burada  $\mu(R_y, T_1)$ , akma dayanımına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak ifade edilen süneklik talebidir ve yönetmelik Bölüm 5B.3.3 maddesinde verilen bağıntılar kullanılarak belirlenir.  $R_y$  ise akma dayanımı azaltma katsayısıdır ve dayanıma göre tasarım yaklaşımı için yönetmelikte verilen tanımdan farklı olarak, öngörülen süneklik kapasitesine bağlı olarak tanımlanan bir büyüklüğü değil, itme hesabıyla doğrudan elde edilen akma dayanımına bağlı bir büyüklüğü ifade etmektedir **Denk.(4.8)**.

$$R_y = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (4.8)$$

Bu bağıntıda  $f_e$  ve  $S_{ae}(T_1)$  elastik dayanım talebini ve ona karşı gelen elastik spektral ivmeyi,  $f_y$  ve  $a_{y1}$  ise akma dayanımını ve ona karşı gelen akma sözde ivmesini temsil etmektedir.

Yukarıda verilen ifadeler neticesinde **Şekil 4.2**'de sistemin birinci hakim titreşim moduna ait modal kapasite diyagramı ile doğrusal spektrumu bir arada çizilmiştir.



**Şekil 4.2:** Modal kapasite ve doğrusal deprem spektrumu ( $T_1 \leq T_B$ ).

#### 4.3. BİNA PERFORMANS DÜZEYLERİ

TBDY 2018’de deprem yükü altındaki bina taşıyıcı sistemleri için dört farklı performans düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar,

*Kesintisiz Kullanım (KK)*: Bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşı gelir.

*Sınırlı Hasar (SH)*: Bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer bir deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelir.

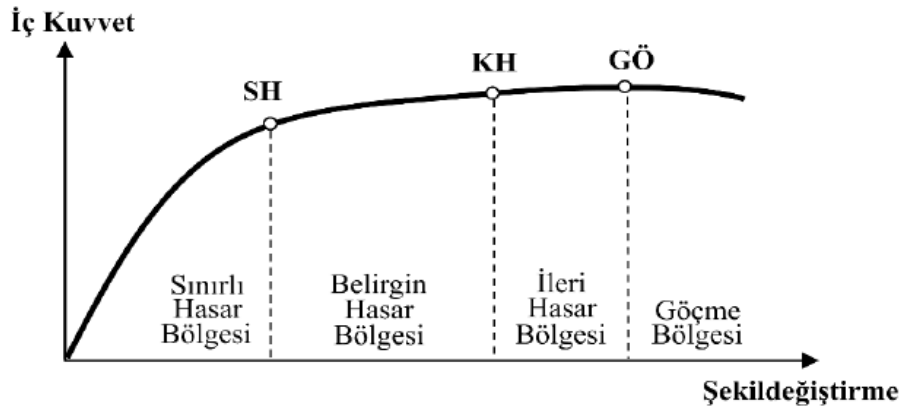
*Kontrollü Hasar (KH)*: Can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelir.

*Göçmenin Önlenmesi (GÖ)*: Bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi durum olarak tanımlanmıştır.

#### 4.4. TAŞIYICI ELEMANLARIN PERFORMANS HEDEFLERİ

Kesit düzeyinde TBDY 2018 yönetmeliği sünek elemanlar için Bölüm 15.3.1’de üç hasar durumunu, Bölüm 15.3.2’de ise hasar bölgelerini tanımlamıştır. Bu hasar sınırları ve bölgeleri **Şekil 4.3**’te gösterilmiştir.

Bunlar *Sınırlı Hasar (SH)*, *Kontrollü Hasar (KH)* ve *Göçme Öncesi Hasar (GÖ)* durumları ve bunların sınır değerleridir.



**Şekil 4.3:** Kesit hasar sınırları ve bölgeleri (TBDY 2018).

#### 4.5. ÇELİK ELEMANLARIN ŞEKİLDEĞİŞTİRME SINIRLARI

Binaların deprem altındaki performanslarının belirlenmesinde kullanılan statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde yapısal elemanların davranışlarının modellenmesi ve değerlendirilmesi için şekildeğiştirme sınır parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir.

##### 4.5.1. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerde Şekildeğiştirme Sınırları

TBDY 2018 yönetmeliği merkezi çaprazlı çelik çerçeveli sistemlerin şekildeğiştirme sınırlarını Bölüm 5C.3'te çelik çapraz elemanlar için aksel akma şekildeğiştirmesi cinsinden aşağıdaki **Denk.(4.9)** ve **Denk.(4.10)** ile tanımlamıştır. Bunlar;

Eksel basınç kuvveti altında akma şekildeğiştirmesi:

$$\Delta_c = \frac{P_c l_c}{EA_c} \quad (4.9)$$

Eksel çekme kuvveti altında akma şekildeğiştirmesi:

$$\Delta_T = \frac{P_{ye} l_c}{EA_c} \quad (4.10)$$

Burada  $P_c$ , çelik elemanın beklenen aksel basınç dayanımını,  $P_{ye}$ , çelik elemanın beklenen aksel akma dayanımını,  $l_c$ , çapraz boyunu [m] ve  $A_c$ , çapraz enkesit alanını ifade eder. **Çizelge 4.1'**de TBDY 2018 yönetmeliğinde çapraz elemanlar için izin verilen plastik şekildeğiştirme sınırları gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1:** Çaprazların aksel plastik şekildeğiştirme sınırları.

Eleman Tipi	Eksel Plastik Şekildeğiştirme Sınırları		
	SH	KH	GÖ
<b>Basınç Altında Çapraz Elemanlar</b>			
HSS, Boru, Kutu kesitler	Narin Kesit	0.5 $\Delta_c$	6 $\Delta_c$
	Tok Kesit	0.5 $\Delta_c$	5 $\Delta_c$
<b>Çekme Altında Çapraz Elemanlar</b>			
HSS Kesit	0.5 $\Delta_T$	8 $\Delta_T$	11 $\Delta_T$

Bu çalışmada tasarlanan merkezi çaprazlı çelik çerçevenin çapraz elemanları için hesaplanan aksenal plastik şekildeğiştirme sınırları basınç ve çekme etkisindeki elemanlar için sırasıyla **Çizelge 4.2** ve **Çizelge 4.3**'te verilmiştir.

**Çizelge 4.2:** Basınç altında çapraz elemanlarda plastik şekildeğiştirme sınırları.

Kat	Çapraz Kesiti	P <sub>c</sub> (kN)	Δ <sub>c</sub> (mm)	SH 0.5Δ <sub>c</sub> (mm)	KH 5Δ <sub>c</sub> (mm)	GÖ 7Δ <sub>c</sub> (mm)
4	SHS 160x160x14.2	1709.8	6.11	3.05	30.54	42.76
3	SHS 180x180x14.2	2198.8	6.89	3.44	34.43	48.20
2	SHS 200x200x16	2965.3	7.43	3.71	37.15	52.00
1	SHS 220x220x16	3502.2	7.90	3.95	39.48	55.27

**Çizelge 4.3:** Çekme altında çapraz elemanlarda plastik şekildeğiştirme sınırları.

Kat	Çapraz Kesiti	P <sub>ye</sub> (kN)	Δ <sub>T</sub> (mm)	SH 0.5Δ <sub>T</sub> (mm)	KH 8Δ <sub>T</sub> (mm)	GÖ 11Δ <sub>T</sub> (mm)
4	SHS 160x160x14.2	2883.2	10.3	5.15	82.41	113.31
3	SHS 180x180x14.2	3289.4	10.3	5.15	82.41	113.31
2	SHS 200x200x16	4111.6	10.3	5.15	82.41	113.31
1	SHS 220x220x16	4569.2	10.3	5.15	82.41	113.31

#### 4.5.2. Çelik Kiriş ve Kolonların Şekildeğiştirme Sınırları

TBDY 2018 Bölüm 5C.1'e göre çelik kirişlerde ve kolonlarda şekildeğiştirme sınırları (eğilme) akma dönmesi cinsinden aşağıdaki **Denk.(4.11)** ve **Denk.(4.12)** ile hesaplanacaktır. Buna göre;

Çelik kirişler için akma dönmesi:

$$\theta_y = \frac{W_p F_{ye} L_b}{6EI_b} \quad (4.11)$$

Çelik kolonlar için akma dönmesi:

$$\theta_y = \frac{W_p F_{ye} L_k}{6EI_k} \left[ 1 - \frac{P}{P_{ye}} \right] \quad (4.12)$$

Burada,  $F_{ye}$ , Yapı çeliğinin beklenen akma gerilmesi,  $W_p$ , Plastik mukavemet momenti,  $L_b$  Kiriş boyu,  $L_k$ , Kolon boyu,  $P$ , Maksimum plastik dönme durumunda

çelik kesitte bulunan aksenal kuvvet,  $P_{ye}$ , Çelik elemanın beklenen aksenal akma dayanımı değerleridir.

Bu çalışmada incelenen merkezi çaprazlı çelik çerçeveler süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlandıkları için TBDY 2018 kullanılarak belirlenen kiriş ve kolon elemanları için izin verilen şekildeğiştirme sınırları **Çizelge 4.4** ve **Çizelge 4.5**'te sırasıyla verilmiştir.

**Çizelge 4.4:** Kirişlerde plastik dönme sınırları.

Kiriş (Eğilme)	Şekildeğiştirme Sınırları		
	SH	KH	GÖ
Süneklik Düzeyi Yüksek	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$9\theta_y$

**Çizelge 4.5:** Kolonlarda plastik dönme sınırları.

Kolon (Eğilme)	Plastik Dönme Sınırları (rad)		
	SH	KH	GÖ
$P/P_c < 0.20$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$9\theta_y$
$0.20 \leq P/P_c \leq 0.50$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	$1.5(1-1.66P/P_c)\theta_y$	$9(1-1.66P/P_c)\theta_y$	$13.5(1-1.66P/P_c)\theta_y$

Tasarlanan süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerin (MÇÇ) TBDY 2018'de verilen performans düzeyleri için hesaplanan plastik dönme sınırları **Çizelge 4.6** ve **Çizelge 4.7**'de verilmiştir.

**Çizelge 4.6:** Süneklik düzeyi yüksek MÇÇ kirişlerinde plastik dönme sınırları.

Kiriş Kesiti	$\theta_y$ (rad)	SH	KH	GÖ
HE260M	0.0211	0.0082	0.0493	0.0740
HE280M	0.0214	0.0214	0.1286	0.1930
HE300M	0.0164	-	-	-
HE280M	0.0214	0.0214	0.1283	0.1924
HE200M	0.0312	0.0312	0.1875	0.2812
HE220M	0.0285	0.0285	0.1708	0.2562
HE220M	0.0285	0.0285	0.1708	0.2562
HE220M	0.0285	0.0285	0.1708	0.2562

**Çizelge 4.7:** Süneklik düzeyi yüksek MÇÇ kolonlarında plastik dönme sınırları.

Kolon Kesiti	$\theta_y$ (rad)	SH	KH	GÖ
HE200M	0.0120	0.0120	0.0721	0.1082
HE200M	0.0111	0.0111	0.0669	0.1003
HE300M	0.0074	0.0074	0.0447	0.0670
HE300M	0.0072	0.0072	0.0432	0.0648
HE140B	0.0149	0.0118	0.0706	0.1058
HE160B	0.0121	-	-	-
HE180B	0.0091	-	-	-
HE200B	0.0072	-	-	-

#### 4.6. STATİK İTME ANALİZİ

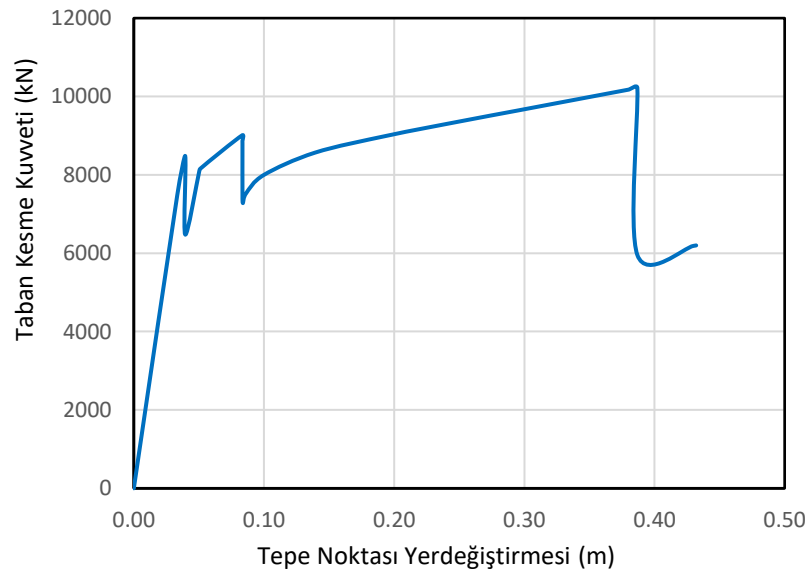
Bu çalışmada tasarlanan dört katlı okul binasının deprem yükleri altındaki davranışlarının belirlenmesinde ilk olarak statik itme analizleri kullanılmıştır. Merkezi çaprazlı çelik çerçevenin Bölüm 4’de verilen şartları sağlamasından ve ilk modunun en etkin mod olmasından dolayı statik itme analizlerinde sabit tek modlu itme yöntemi kullanılmıştır. Sabit tek modlu itme yöntemine göre her bir itme adımında katlara uygulanacak deprem yükü artımları, hesabın birinci adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak etkilmiştir. Düzlem çerçevelerde inceleme yapıldığı için sadece bir doğrultuda serbestlik derecesinin yatay yer değiştirme bileşeni dikkate alınmıştır. Statik itme analizleri neticesinde yapının dayanımını ifade eden kuvvet-yer değiştirme (kapasite) eğrisi, performans parametreleri, plastik mafsall oluşum sıraları ve yerleri, hedef deplasman değeri elde edilmiştir.

Statik itme analizleri SAP2000 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerin başlangıç adımında sadece düşey yükler için yük birleşimi (DL+0.6LL) oluşturulmuş ve bu analiz sonucu elde edilen iç kuvvet-şekildeğiştirme değerleri statik itme hesaplarının başlangıç değerleri olarak dikkate alınmıştır.

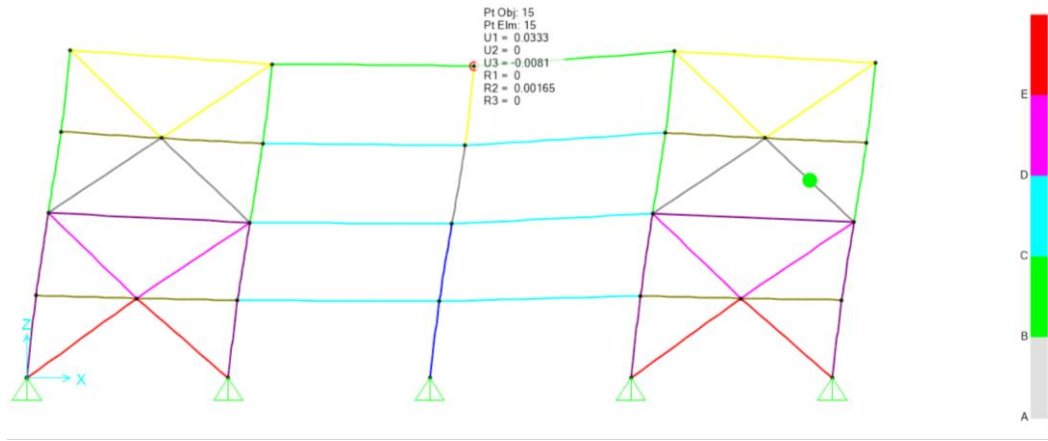
Statik itme analizleri deplasman (yerdeğiştirme) kontrollü olarak, çerçevenin en üst katında ağırlık merkezinin bulunduğu nokta (kontrol noktası) talep edilen hedef

deplasman seviyesine ulaşincaya kadar itilmiştir. Hedef deplasman değeri için literatürde merkezi aprazlı çerçevelerle yapılmış alışmalar (Chen ve Mahin (2012), Hammad ve Moustafa (2019), Hsiao (2012), şeker v.d. (2021), Yang v.d. (2009)) incelenmiş ve genellikle dikkate alınan %3-%5 çatı katı öteleme oranı (atı katı yatay yerdeğiştirmesinin toplam bina yüksekliğine bölümü) kullanılmıştır. Bu çalışmada merkezi aprazlı elik ereve hedef deplasman değeri, çatı katı öteleme oranının %3'ü olacak şekilde yükler monotonik olarak artırılmıştır. Bina yüksekliği zemin seviyesinden 14.4m olduğundan hedef deplasman değeri 0.432m'ye ulaşana kadar ereve itilmiştir.

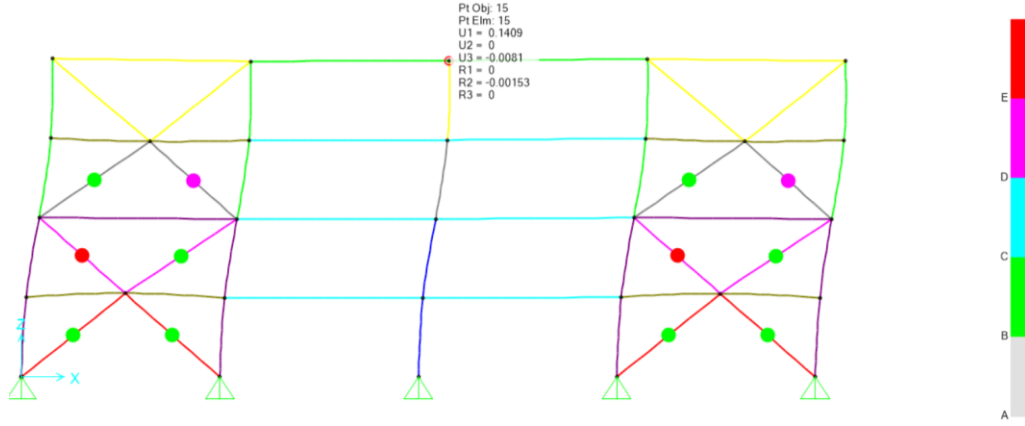
erevenin statik itme analizi sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı ilişkisi **şekil 4.4**'te, çerçevelerin doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri ise **şekil 4.5**'te verilmiştir. atı katı tepe deplasman değeri 0.0333m'ye ulaştığında çaprazlarda burkulma nedeniyle ilk akma gerçekleşmiş ve bu anda taban kesme kuvveti 7471.96 kN olmuştur. atı katı deplasman değeri 0.1409m'ye ulaştığı anda ise çerçevenin ikinci kat basınç çaprazlarının göçme sınır değerine ulaştığı gözlemlenmiştir (**şekil 4.6**). Bu noktaya kadar çerçevede oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri 9049.3 kN olmuştur. Statik itme eğrisinden görüldüğü üzere çerçevede doğrusal sınır aşıldıktan sonra dayanımda ve rijitlikte ani düşüş gözlemlenmiştir.



**şekil 4.4:** Merkezi aprazlı elik çerçevenin Kapasite Eğrisi.

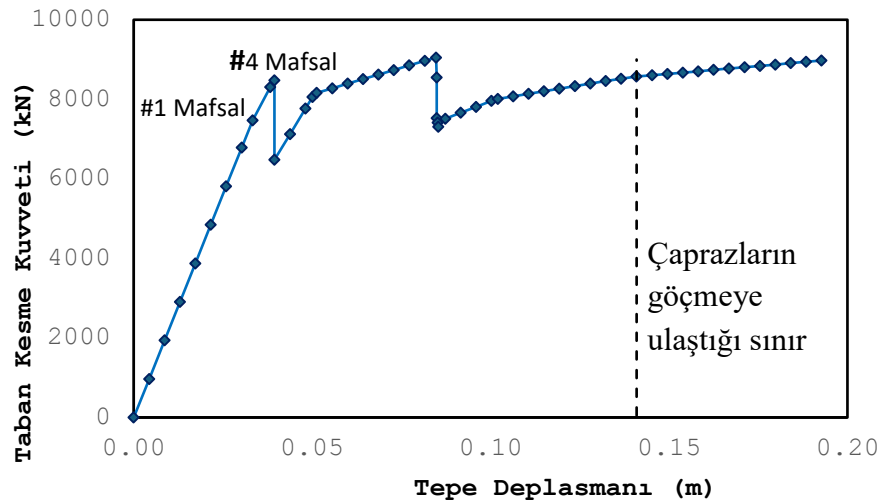


a) İlk plastik mafsals oluşması.



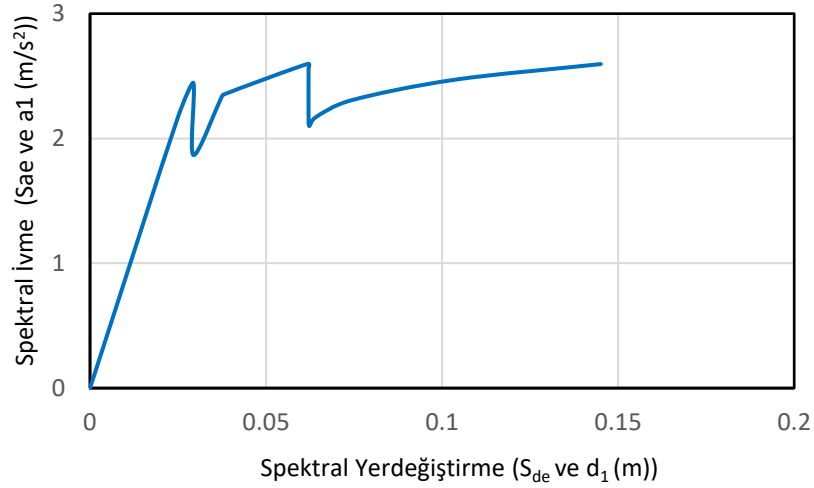
b) Çaprazların göçme sınır durumuna ulaşması.

Şekil 4.5: MÇÇ Çerçeve Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirme.



Şekil 4.6: MÇÇ Çerçeve Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirme Noktaları.

Merkezi çaprazlı çelik çerçevenin kapasite diyagramı elde edildikten sonra depremin talebi hesaplanmıştır. Depremin yer değiştirme talebi için önce kapasite diyagramında koordinat değişimi gerçekleştirilerek **Şekil 4.7**'de görülen modal kapasite eğrisi belirlenmiştir. Koordinat dönüşümü için kullanılan parametreler **Çizelge 4.8**'de verilmiştir.

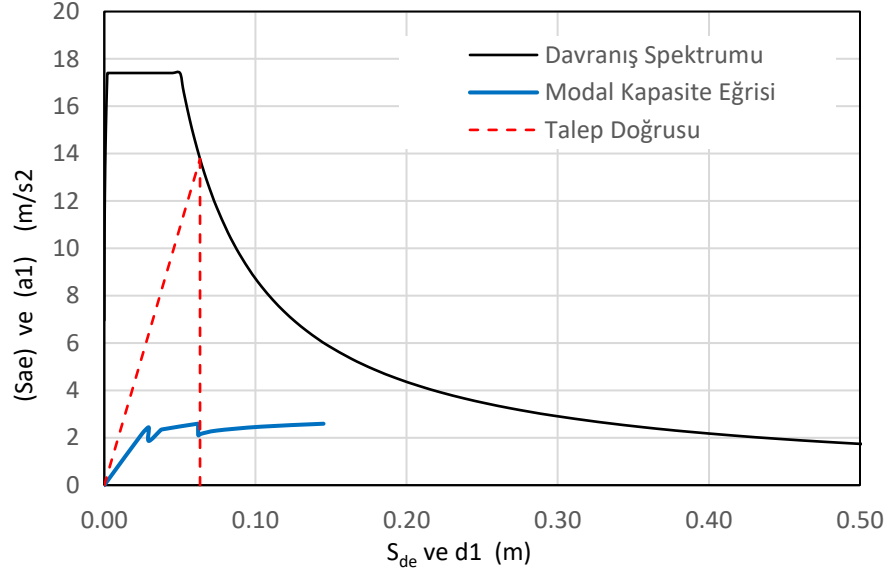


**Şekil 4.7:** Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevenin Modal Kapasite Eğrisi.

**Çizelge 4.8:** Modal kapasite hesabı için kullanılan parametreler.

Kat	H (m)	W <sub>i</sub> (kN)	m <sub>i</sub> (ton)	Φ <sub>ix1</sub>	Γ <sub>x1</sub>	Kat etkin kütlesi (ton)
4	+14.40	6804	693.6	0.037	36.53	932.552
3	+10.80	9072	924.8	0.029	36.53	992.425
2	+7.20	9072	924.8	0.018	36.53	619.506
1	+3.60	9072	924.8	0.008	36.53	265.840

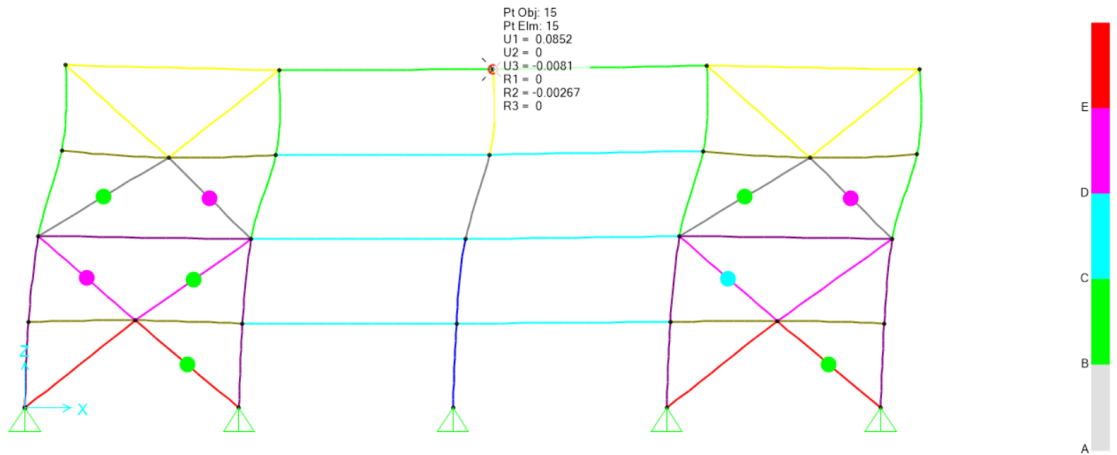
Daha sonra modal kapasite eğrisi ile periyot eksenini aynı şekilde spektral yer değiştirme değerlerine dönüştürülen yatay elastik tasarım spektrumu bir arada çizdirilmiştir (**Şekil 4.8**). Dört katlı merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminin yer değiştirme talebini hesaplayabilmek için grafikteki spektrum eğrisi üzerinde  $d_{1,max}^{(X)}$  ve  $S_{ae}(T)$  değerlerinin kesiştiği noktaya başlangıç noktasından bir doğru çizdirilmiştir. Böylece çerçevenin doğrusal olmayan modal yer değiştirmesi **Denk.(4.5)** ile hesaplanmış ve  $d_{1,max}^{(X)}=0.0634m$  elde edilmiştir.



**Şekil 4.8:** Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevenin Modal Yerdeğiştirme Talebi.

Merkezi çaprazlı çelik çerçevede göz önüne alınan deprem doğrultusu için hesaplanan yer değiştirme talebi 0.0852m (çatı katı öteleme oranı cinsinden %0.6) olmuştur.

Merkezi çaprazlı çelik çerçevenin statik itme analizleri sonucunda TBDY 2018 yönetmeliğine göre elde edilen modal yer değiştirme talebi 0.0852m'dir. MÇÇ çerçevede meydana gelen mafsalların oluşum yerleri ve hasar düzeyleri Şekil 4.9'da verilmiştir.



**Şekil 4.9:** Merkezi çaprazlı çelik çerçevede plastik mafsal oluşum yerleri.

Statik itme analizleri sonucunda çaprazlı çerçevenin kolon ve kiriş elemanlarında plastik mafsallar gözlemlenmemiştir. Plastik mafsallar beklenildiği üzere çapraz elemanlarda oluşmuştur. **Şekil 4.5**'te görüldüğü üzere çerçevede ilk plastik mafsallar üçüncü kat çaprazlarında meydana gelmiştir. Üçüncü kat seviyesindeki basınca çalışan çaprazlar göçme öncesi hasar seviyesine ulaştığında çekmeye çalışan çaprazların kontrollü hasar seviyesine ulaştığı gözlemlenmiştir.

TBDY 2018'de tanımlanan yapı elemanlarında hasar seviyeleri merkezi çaprazlı çerçeve sisteminin statik analizi sonucunda çapraz elemanlarda  $\Delta_C$  ve  $\Delta_T$  aksenal plastik şekil değiştirme sınır değerlerine göre incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre çaprazların %62.5'i sınırlı hasar bölgesinde, %25'i belirgin hasar bölgesinde ve %12.5'i ileri hasar bölgesinde kaldığı gözlemlenmiştir. **Çizelge 4.9**'da sistemdeki çapraz elemanların hasar seviyeleri verilmiştir.

**Çizelge 4.9:** Merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının hasar seviyeleri.

Kat	Çapraz Eleman Numarası	U1 (m)	Hasar Bölgesi
4	40	0.0000	Sınırlı Hasar
	41	0.0000	Sınırlı Hasar
	48	0.0000	Sınırlı Hasar
	49	0.0000	Sınırlı Hasar
3	39	0.0202	Belirgin Hasar
	42	0.0440	İleri Hasar
	47	0.0210	Belirgin Hasar
	50	0.0453	İleri Hasar
2	38	0.0165	Belirgin Hasar
	43	0.0003	Sınırlı Hasar
	46	0.0156	Belirgin Hasar
	51	0.0000	Sınırlı Hasar
1	37	0.0000	Sınırlı Hasar
	44	0.0006	Sınırlı Hasar
	45	0.0000	Sınırlı Hasar
	52	0.0005	Sınırlı Hasar

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### 5. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZ

Tasarlanan merkezi çaprazlı okul binasında statik itme analizinden sonra depremin talep ve kapasite değerlendirilmesi için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle gerçekleştirilen analizlerde yapılan kabuller ve özellikle kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi çalışmanın en önemli kısımlarından biri olmuştur. Çalışmanın esas amacı olan yakın fay davranışını yansıtacak şekilde TBDY 2018 yönetmeliğine uygun olarak deprem kayıtlarının belirlenmesi ve ölçeklendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

#### 5.1. DEPREM KAYITLARININ SEÇİMİ

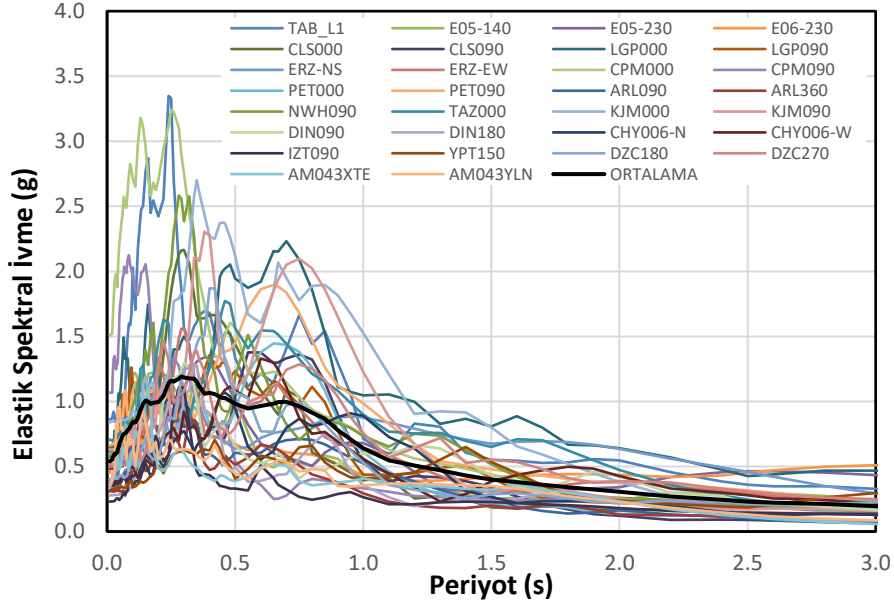
Bu çalışmanın en önemli noktalarından birisi olan deprem kayıtlarının seçiminde ülkemizde meydana gelen Kahramanmaraş Pazarcık/Elbistan depremleri etkili olmuştur. Depremde bölgede meydana gelen bina hasarı raporları incelendiğinde yapılaşmanın faya yakın olması nedeniyle bazı illerde yapılardaki hasar düzeylerinin veya yıkılan bina sayısının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (METU 2023, ITU 2023). Bu nedenle çalışmanın ana eksenini merkezi çaprazlı çelik çerçeveli olarak tasarlanan okul binasının yakın fay etkileri altındaki deprem davranışlarının incelenmesi olmuştur.

Dinamik analizlerle binanın davranışını en doğru şekilde belirlenebilmesi için kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde ilk olarak binanın lokasyonuna göre bulunduğu bölgenin depremselliğini ve zemin koşullarını yansıtmaya dikkat edilmiştir. Bu amaçla PEER “*Pacific Earthquake Engineering Research Center*” yer hareketi veri bankası kullanılarak 12 farklı depremin 18 farklı istasyonundan alınan 30 adet yer hareketi kaydı dikkate alınmıştır. Deprem kayıtlarının seçimi moment büyüklüğü ( $M_w$ ) 6.0 ve üzerinde olması, sıkı/orta sıkı zeminlerde kaydedilmiş olması ( $V_{s30} \geq 300$  m/s), kaynak ve depremin olduğu yer arasındaki mesafesi 10km ve altı olması kriterleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal

olmayan dinamik analizlerde **Çizelge 5.1**'de özellikleri verilen yer hareketi kayıtları kullanılmıştır. Her bir yer hareketi kayıtları ve ortalaması için elastik spektral ivme-periyot ilişkisi **Şekil 5.1**'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.1:** Deprem yer hareketi kayıtlarının bilgileri.

No	Deprem	Yıl	M <sub>w</sub>	Uzaklık (km)	Kayıt İstasyonu	Bileşen	PGA (g)	PGA /PGV
1	<b>Imperial Valley</b>	1979	6.53	3.95	El Centro Array #5	230	0.383	0.395
2	<b>Imperial Valley</b>	1979	6.53	1.35	El Centro Array #6	230	0.449	0.397
3	<b>Loma Prieta</b>	1989	6.93	3.88	LGPC	0	0.570	0.594
4	<b>Erzincan</b>	1992	6.69	4.38	Erzincan	0	0.496	0.635
5	<b>Erzincan</b>	1992	6.69	4.38	Erzincan	90	0.387	0.362
6	<b>Chi-Chi</b>	1999	7.62	9.76	CHY006	270	0.355	0.590
7	<b>Kocaeli</b>	1999	7.51	7.21	İzmit	90	0.230	0.601
8	<b>Kocaeli</b>	1999	7.51	4.83	Yarımca	150	0.322	0.448
9	<b>Düzce</b>	1999	7.14	6.58	Düzce	180	0.404	0.568
10	<b>Düzce</b>	1999	7.14	6.58	Düzce	270	0.515	0.612
11	<b>Tabas</b>	1978	7.35	2.05	Tabas	74	0.854	0.864
12	<b>Cape Mendocino</b>	1992	7.01	8.18	Petrolia	90	0.662	0.748
13	<b>Northridge</b>	1994	6.69	8.66	Arleta-Nord. Fire Sta.	90	0.345	0.839
14	<b>Northridge</b>	1994	6.69	5.92	Newhall-Fire Sta.	90	0.583	0.778
15	<b>Kobe</b>	1995	6.90	0.96	KJMA	0	0.834	0.915
16	<b>Kobe</b>	1995	6.90	0.96	KJMA	90	0.630	0.828
17	<b>Dinar</b>	1995	6.40	3.36	Dinar	90	0.326	0.720
18	<b>Dinar</b>	1995	6.40	3.36	Dinar	180	0.279	0.943
19	<b>Chi-Chi</b>	1999	7.62	9.76	CHY006	0	0.359	0.849
20	<b>L'Aquila</b>	2009	6.30	5.38	L'Aquila-Parking	0	0.361	0.994
21	<b>Imperial Valley</b>	1979	6.53	3.95	El Centro Array #5	140	0.529	1.082
22	<b>Loma Prieta</b>	1989	6.93	3.85	Corralitos	0	0.645	1.154
23	<b>Loma Prieta</b>	1989	6.93	3.85	Corralitos	90	0.483	1.015
24	<b>Loma Prieta</b>	1989	6.93	3.88	LGPC	90	0.607	1.179
25	<b>Cape Mendocino</b>	1992	7.01	6.96	Cape Mendocino	0	1.49	1.221
26	<b>Cape Mendocino</b>	1992	7.01	6.96	Cape Mendocino	90	1.04	2.453
27	<b>Cape Mendocino</b>	1992	7.01	8.18	Petrolia	0	0.591	1.199
28	<b>Northridge</b>	1994	6.69	8.66	Arleta-Nord. Fire Sta.	0	0.308	1.339
29	<b>Kobe</b>	1995	6.90	0.27	Takarazuka	0	0.697	1.019
30	<b>L'Aquila</b>	2009	6.30	5.38	L'Aquila-Parking	90	0.336	1.037



**Şekil 5.1:** Yer hareketi kayıtları ve ortalaması elastik spektral ivme-periyot ilişkisi.

## 5.2. DEPREM KAYITLARININ ÖLÇEKLENDİRİLMESİ

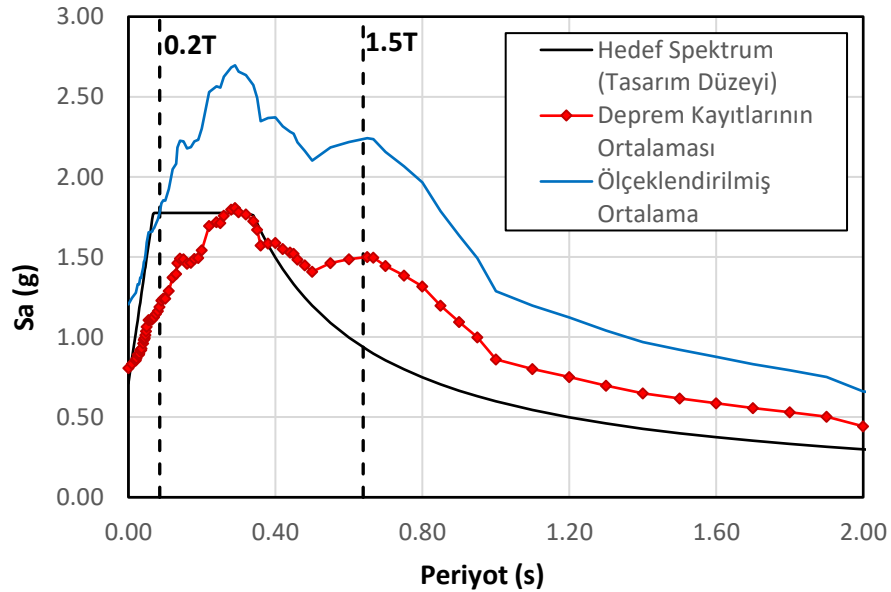
Zaman tanım alanı analizleri için gerçek depremlerden seçilen deprem kayıtları deprem büyüklükleri, faya olan uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları gibi özellikleri açısından farklılık gösterirler. Günümüz yönetmeliklerinde deprem kayıtlarının benzer özellikleri göstermesi için ölçeklendirme işlemi uygulanmaktadır. Deprem kayıtlarının ölçeklendirme işleminin amacı bölgenin deprem riskini gösteren tasarım ivme spektrumunu yansıtabilmektir.

TBDY 2018'e göre zaman tanım alanı analizlerinde kullanılacak deprem kayıtları iki farklı şekilde ölçeklendirilebilir. Bunlardan ilki deprem kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi, ikincisi ise spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesidir. Bu tez kapsamında yapılan analizlerde kullanılan deprem kayıtları her iki yöntem de dikkate alınarak ölçeklendirilmiş ve sonuçları detaylı olarak irdelenmiştir.

### 5.2.1. Basit Ölçeklendirme

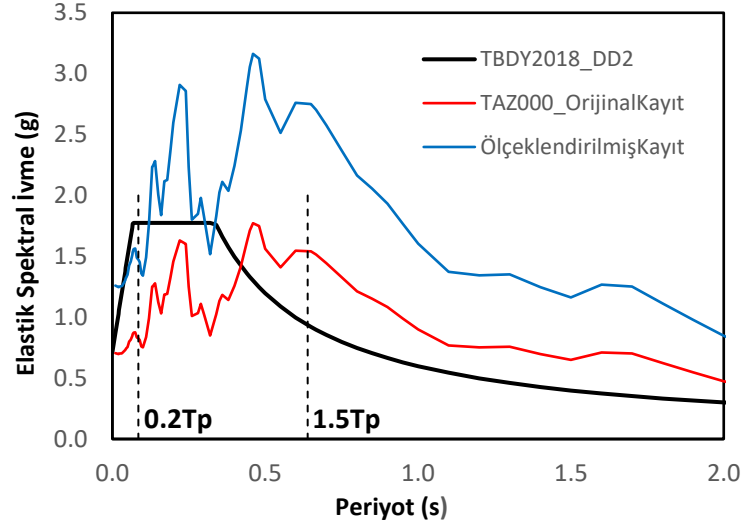
TBDY 2018 yönetmeliğine göre basit ölçeklendirme yöntemiyle analizlerde kullanılan gerçek deprem yer hareketi kayıtlarının ölçeklendirilmesinde aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

- Her bir deprem kaydı aralarında olabilecek farklılıkları azaltmak için normalize edilmiştir. Bu amaçla her biri istenilen periyot aralığında tasarım spektrumu ile eşleşecek şekilde normalize edilmiştir. Daha sonra ortalaması alınan deprem kayıtları belirli bir deprem seviyesi (DD-2) için ölçeklendirilmiştir.
- Seçilen tüm kayıtlara ait normalize spektrumların ortalamasının binanın hâkim doğal titreşim periyodu  $T_p$ 'ye göre  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre ölçeklendirilmiştir. Doğal titreşim periyodu  $T_p=0.426s$  olan dört katlı merkezi çaprazlı çerçeve analizlerde kullanılan 30 deprem kaydının ortalama spektrumu ve tasarım deprem seviyesi için ölçeklendirilmiş grafiği Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: Seçilen 30 deprem kaydının ortalama spektrumu.

Şekil 5.3'te basit ölçeklendirme yöntemine göre ölçeklendirilen bir deprem kaydının (1995 Kobe depremi Takarazuka TAZ000 bileşeni) ivme spektrumu verilmiştir. Ayrıca her bir deprem kaydının ölçeklendirilmesinde kullanılan katsayılar Çizelge 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.3: Kobe depremi TAZ000 bileşeni ivme spektrumu.

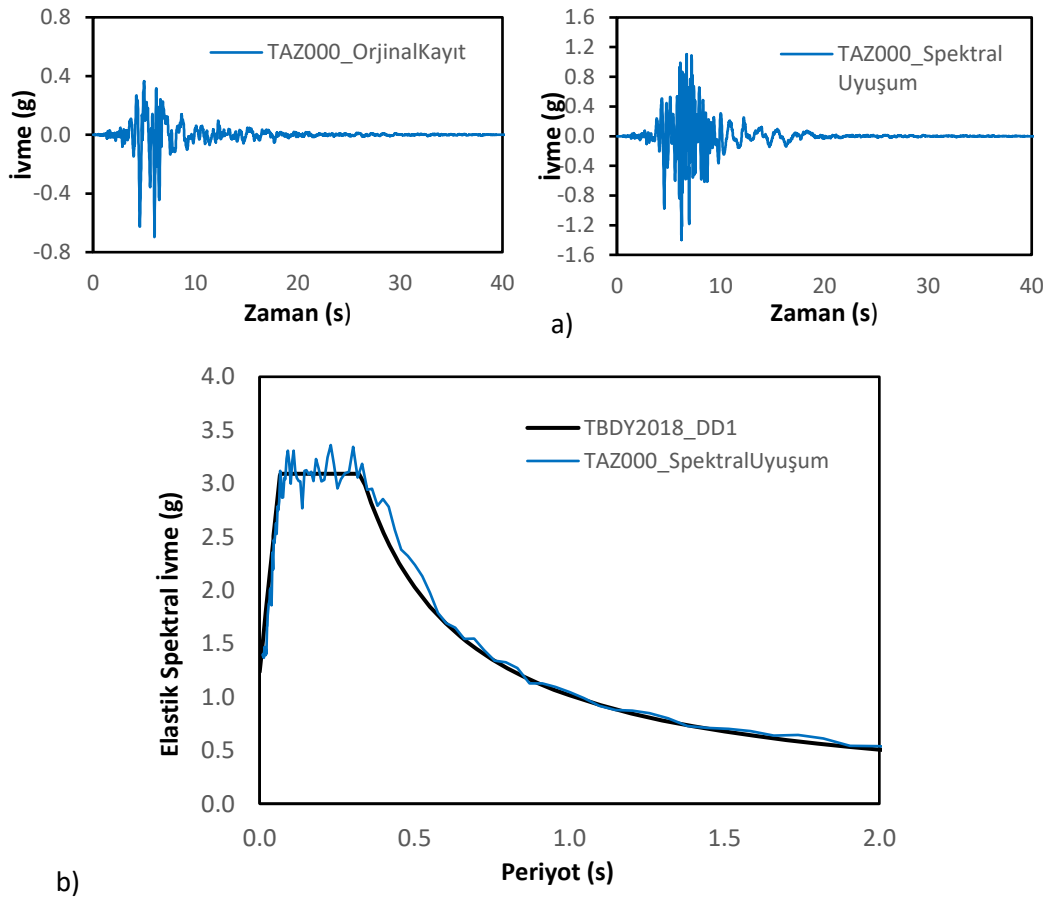
Çizelge 5.2: Yer hareketi kayıtlarının normalizasyon ve ölçeklendirme katsayıları.

No	Deprem	Kayıt İstasyonu	Bileşen	Normalizasyon Katsayısı	Ölçeklendirme Katsayısı
1	Imperial Valley	El Centro Array #5	230	1.601	2.417
2	Imperial Valley	El Centro Array #6	230	2.045	3.087
3	Loma Prieta	LGPC	0	1.037	1.566
4	Erzincan	Erzincan	0	1.556	2.350
5	Erzincan	Erzincan	90	2.220	3.352
6	Chi-Chi	CHY006	270	1.867	2.819
7	Kocaeli	İzmit	90	2.895	4.370
8	Kocaeli	Yarımca	150	2.935	4.431
9	Düzce	Düzce	180	1.456	2.198
10	Düzce	Düzce	270	1.563	2.360
11	Tabas	Tabas	74	0.831	1.255
12	Cape Mendocino	Petrolia	90	1.290	1.948
13	Northridge	Arleta-Nord. Fire Sta.	90	2.301	3.473
14	Northridge	Newhall-Fire Sta.	90	1.012	1.527
15	Kobe	KJMA	0	0.873	1.318
16	Kobe	KJMA	90	1.181	1.784
17	Dinar	Dinar	90	1.955	2.951
18	Dinar	Dinar	180	2.156	3.255
19	Chi-Chi	CHY006	0	2.227	3.362
20	L'Aquila	L'Aquila-Parking	0	2.621	3.956
21	Imperial Valley	El Centro Array #5	140	1.535	2.317
22	Loma Prieta	Corralitos	0	1.060	1.601
23	Loma Prieta	Corralitos	90	1.625	2.453
24	Loma Prieta	LGPC	90	1.446	2.183
25	Cape Mendocino	Cape Mendocino	0	0.712	1.075
26	Cape Mendocino	Cape Mendocino	90	1.467	2.215
27	Cape Mendocino	Petrolia	0	1.614	2.437
28	Northridge	Arleta-Nord. Fire Sta.	0	2.506	3.783
29	Kobe	Takarazuka	0	1.182	1.785
30	L'Aquila	L'Aquila-Parking	90	2.858	4.315

### 5.2.2. Spektral Uyuşum

TBDY 2018 yönetmeliğinde ölçeklendirme yöntemlerinden bir diğeri deprem yer hareketlerinin hedef spektruma spektral uyumu sağlamak şeklinde dönüştürülmesiyle gerçekleştirilir. Dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordnatlarından daha küçük olmayacaktır.

Bu çalışmada deprem davranışı incelenen merkezi çaprazlı çelik çerçevesel yapı okul binası olarak tasarlanmıştır. TBDY 2018 yönetmeliğine göre performans hedefleri ve tasarım yaklaşımlarında DD-1 deprem yer hareketi düzeyi dikkate alınmıştır. Bu nedenle analizlerde kullanılan her bir gerçek deprem yer hareketi DD-1 seviyesi spektrumuna uyumu sağlayacak şekilde zaman tanım alanında dönüştürülmüştür. Spektral uyumu ile ölçekleme yapılan Kobe depremi Takarazuka (TAZ000) bileşenin orijinal ve dönüştürülmüş deprem kaydı Şekil 5.4a'da ve ivme spektrumu Şekil 5.4b'de gösterilmiştir.



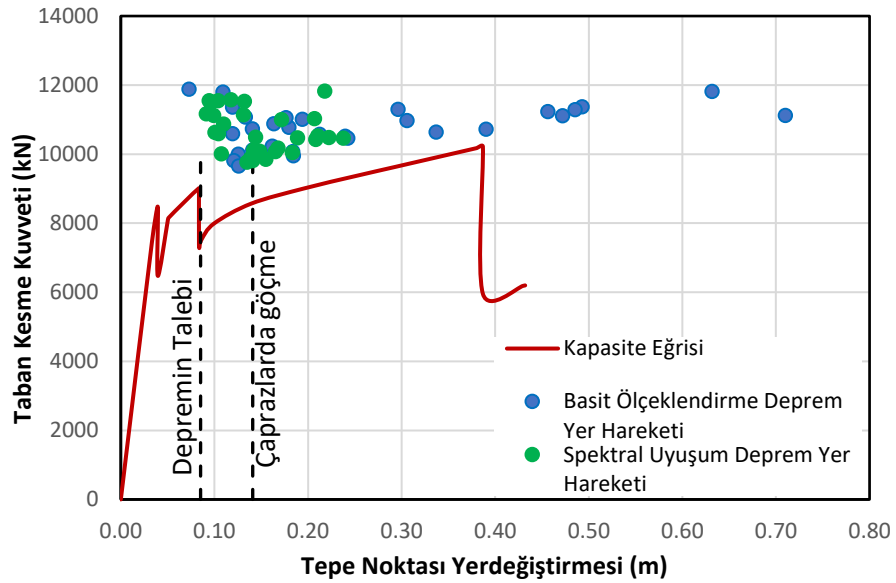
Şekil 5.4: Kobe depremi TAZ000 bileşeni a) yer hareketi kaydı b) ivme spektrumu.

### 5.3. DİNAMİK ANALİZ SONUÇLARI

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevenin deprem davranışının değerlendirilmesi için yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri 30 farklı deprem yer hareketi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deprem yer hareketi kayıtları TBDY 2018 yönetmeliğine göre iki farklı şekilde basit ölçeklendirme ve spektral uyum yöntemlerine göre ölçeklendirilmiştir. 12 depremin 18 farklı istasyonundan alınan 30 adet yer hareketi kaydının iki ölçeklendirme sistemi dikkate alınarak çerçevede 60 adet dinamik analiz yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen sisteme ait en büyük taban kesme kuvveti ve en büyük deplasman değerleri, deprem yer hareketleri etkisinde tepe noktası görelî kat öteleme oranları ve çapraz elemanlardaki çekme ve basınç kuvvetleri etkisinde süneklik talepleri belirlenmiştir.

#### 5.3.1. Taban Kesme Kuvveti ve Tepe Deplasman Değerleri

MÇÇ çerçevenin her bir deprem yer hareketi etkisinde elde edilen maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum tepe deplasman değerleri ile statik itme analizi sonucunda oluşturulan kapasite eğrisi aynı grafik üzerinde Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5: MÇÇ çerçevenin maks. taban kesme kuvveti-tepe deplasman ilişkileri.

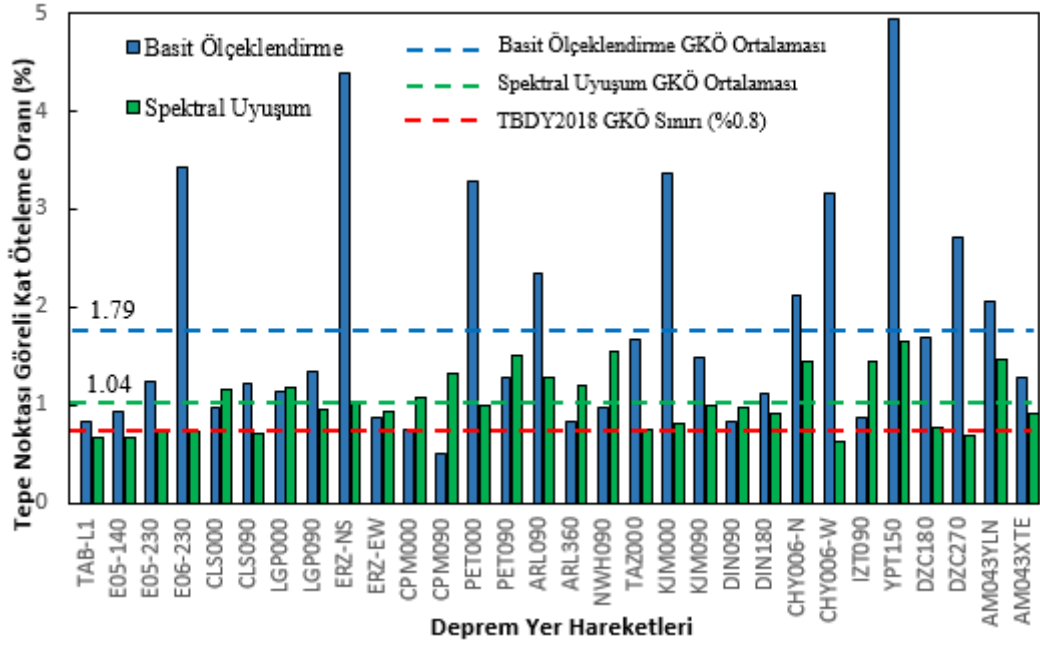
Şekil 5.5 incelendiğinde MÇÇ çerçevenin dinamik analiz sonuçlarından her bir deprem yer hareketi için elde edilen en büyük taban kesme kuvveti değerlerinin kapasite eğrisinin üstünde olduğu görülmektedir. Bu farkın temel nedeni, çalışmanın

ana eksenini oluşturan faya yakın deprem yer hareketi özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Çerçeve statik itme analiziyle hesaplanan depremin yer değiştirme talebi 0.0852m'ye karşılık gelen en büyük taban kesme kuvveti 7417.4kN olarak oluşmuştur. Dinamik analizler sonucunda ise basit ölçeklendirme ve spektral uyum yöntemleri için maksimum taban kesme kuvvet değerleri sırasıyla 11884 kN ve 11820 kN, minimum değerleri 9658 kN ve 9761 kN ve ortalama değerleri 10803 kN ve 10655 kN olarak elde edilmiştir. Dinamik analizler ile elde edilen en büyük taban kesme kuvveti ortalamaları itme analizi sonucunda elde edilen maksimum taban kesme kuvvetine göre basit ölçeklendirme yönteminde %46, spektral uyumda ise %44 artış göstermiştir.

Tepe deplasman değerleri incelendiğinde basit ölçeklendirme ve spektral uyum durumları için tepe deplasmanının maksimum değeri sırasıyla 0.7102m ve 0.238m, minimum değerleri 0.073m ve 0.091m ve ortalama değerleri 0.2575m ve 0.1491m elde edilmiştir. Bu değerler statik itmede belirlenen yerdeğiştirme talebi 0.0852m'ye göre basit ölçeklendirme yönteminde %302, spektral uyumda ise %175 oranında büyük çıkmıştır. Analizler sonucunda iki farklı ölçeklendirme yöntemi dikkate alındığında spektral uyum yöntemi ile tepe deplasman değerleri basit ölçeklendirme yöntemine kıyasla daha çok azalmıştır.

### **5.3.2. Göreli Kat Öteleme Oranlarının Karşılaştırılması**

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre basit ölçeklendirme ve spektral uyum sağlanan deprem kayıtları etkisinde sistemde meydana gelen tepe noktası göreli kat öteleme oranları değerlendirilerek **Şekil 5.6'** da verilmiştir.



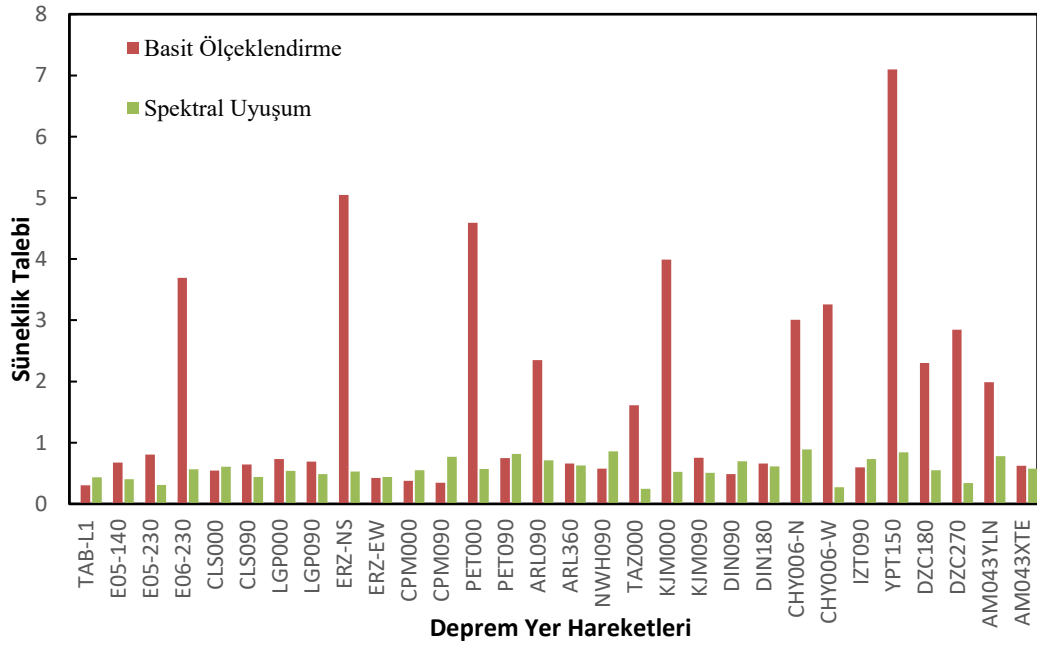
Şekil 5.6: MÇÇ çerçevenin GKÖ oranlarının karşılaştırılması.

Dinamik analiz sonuçları incelendiğinde, deprem yer hareketi kayıtlarının iki farklı şekilde ölçeklendirilmesinden dolayı görel kat ötelemelerinin (GKÖ) arasında büyük farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Basit ölçeklendirme yöntemi kullanıldığında en büyük görel kat öteleme oranı %4.93 ile Kocaeli depremi Yarımca istasyonu YPT150 bileşeninde oluşmuştur. Buna karşın en küçük görel kat öteleme oranı ise %0.5 ile CPM090 yer hareketi bileşeninde olmuştur. Bu yöntemle tüm yer hareketi kayıtları altında kat ötelemelerinin ortalaması %1.79 olarak belirlenmiştir.

Spektral uyum yöntemine göre sonuçlar incelendiğinde en büyük görel kat öteleme oranı %1.65 ile yine YPT150 bileşeninde oluşmuştur. Buna karşın en küçük görel kat öteleme oranı ise %0.63 ile CHY006 yer hareketi bileşeninde olmuştur. Spektral uyum ile tüm yer hareketi kayıtları altında kat ötelemelerinin ortalaması %1.04 olarak belirlenmiştir. Her bir yer hareketi kayıtları altında çerçevenin görel kat ötelemesi oranları ile TBKY 2018’de GKÖ sınır değeri 0.008 karşılaştırıldığında, basit ölçeklendirme deprem kayıtlarında iki adet deprem yer hareketi kaydında, spektral uyum sağlanan deprem kayıtlarında ise dokuz adet yer hareketinde aşılmanın olmadığı belirlenmiştir.

### 5.3.3. Çapraz Elemanlarda Oluşan Süneklik Talebi

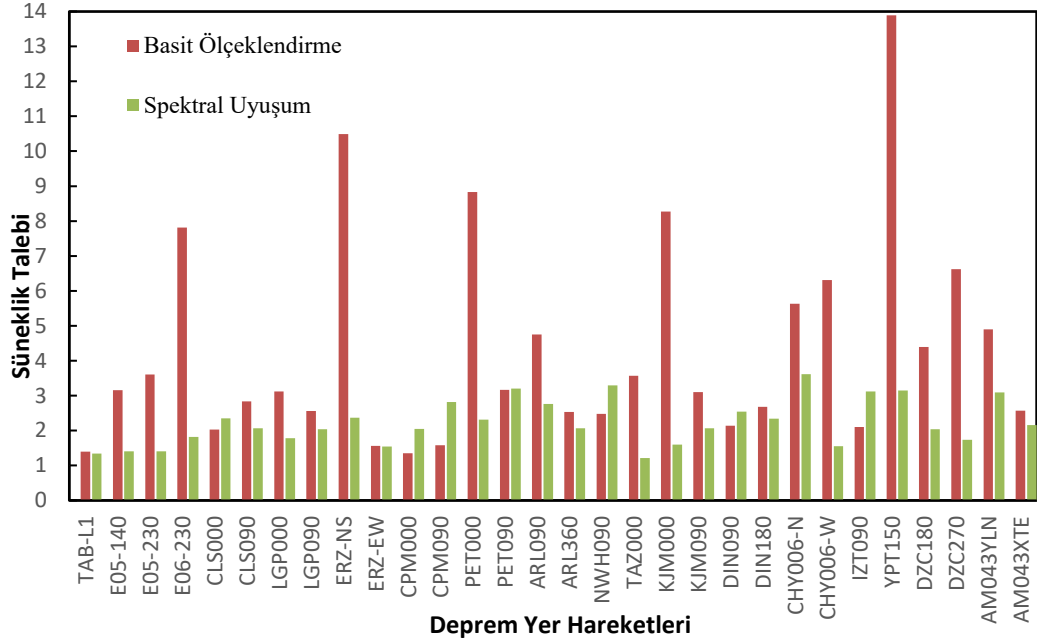
Dinamik analizlerin sonuçları her kattaki çapraz elemanların süneklik talepleri açısından da değerlendirilmiştir. Çapraz elemanların süneklik talepleri, çaprazlar çekme etkisinde ise en büyük aksenal çekme şekildeğişimlerinin akma şekildeğişimlerine oranı, basınç etkisinde ise basınç şekildeğişimlerinin burkulma şekildeğişimlerine oranı olarak dikkate alınmıştır. Hesaplanan bu değerlerden en büyük olanı çaprazlarda oluşan süneklik talebi olarak ele alınmıştır. MÇÇ’de her bir deprem kaydı için çekme kuvveti ve basınç kuvveti etkisinde oluşan en büyük süneklik talepleri sırasıyla Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de kıyaslanmıştır.



Şekil 5.7: MÇÇ’nin çekme çaprazlarında oluşan süneklik talepleri.

Şekil 5.7’den görüldüğü üzere çekme çaprazlarında basit ölçeklendirme yöntemi ile en büyük süneklik talebi 7.10 olarak YPT150 yer hareketi altında, en küçük süneklik talebi ise 0.30 ile TAB-L1 bileşeninde elde edilmiştir. Buna karşın spektral uyum sağlanarak ölçeklendirmede en büyük süneklik talebi 0.89 ile CHY006 yer hareketi altında, en küçük süneklik talebi ise 0.25 ile TAZ000 yer hareketi altında oluşmuştur. Çekme çaprazlarında basit ölçeklendirme ve spektral

uyuşum sağlanarak ölçeklendirme yöntemlerine göre elde edilen ortalama süneklik talepleri ise sırasıyla 1.75 ve 0.57 olarak hesaplanmıştır.



**şekil 5.8:** M'nin basınç çaprazlarında oluşan süneklik talepleri.

**şekil 5.8'**den görüldüğü üzere basınç çaprazlarında basit ölçeklendirme yöntemi ile en büyük süneklik talebi 13.89 olarak yine YPT150 yer hareketi altında, en kk süneklik talebi 1.35 ile CPM000 bileşeninde elde edilmiştir. Buna karşın spektral uyuşum sağlanarak ölçeklendirmede en büyük süneklik talebi 3.62 ile CHY006 yer hareketi altında, en kk süneklik talebi ise 1.22 ile TAZ000 yer hareketi altında oluşmuştur. Basınç aprazlarında basit ölçeklendirme ve spektral uyuşum sağlanarak ölçeklendirme yöntemlerine göre elde edilen ortalama süneklik talepleri ise sırasıyla 4.31 ve 2.23 olarak hesaplanmıştır.

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez kapsamında yatay yük taşıyıcı sistemi merkezi çaprazlı çelik çerçeveli okul binasının yakın fay etkileri altındaki deprem davranışı incelenmiştir. Bu doğrultuda binaya etkileyen deprem yüklerini her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin karşıladığı, bunların haricindeki tüm iç çerçevelerin sadece düşey yük taşıdığı kabul edilerek tasarımı gerçekleştirilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek MÇÇ çerçevelerin tasarımı ÇYTHYE 2016 ve TBDY 2018 yönetmelikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Kapasite tasarımı gerçekleştirilen MÇÇ çerçevenin deprem performansı doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden statik itme ve zaman tanım alanında analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Dinamik analizlerde çalışmanın amacı doğrultusunda dikkate alınan yakın fay davranışını yansıtacak deprem yer hareketleri etkileri incelenmiştir.

3. Bölümde kapasite tasarım süreci detaylı olarak verilen süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevede enerji sönmemesinin çaprazlarda olması, sistemin diğer elemanlarının elastik kalması amaçlanmıştır. Bu amaçla tasarım sürecinde ilk olarak çapraz elemanlar deprem yükü etkisi içeren yük birleşimleri altında boyutlandırılmıştır. Daha sonra çapraz eleman kapasiteleri kullanılarak yönetmelikte verilen iki farklı plastik mekanizma yaklaşımına göre kolon ve kiriş eleman boyutları belirlenmiştir. Yatay yük taşıyıcı sistemin çapraz düzeni iki katta X çaprazlı olduğundan çaprazların kestiği kiriş elemanlarında çekme ve basınç etkisindeki çapraz elemanların kapasitelerindeki fark nedeniyle dengelenmemiş kuvvet oluşmuştur. Bu durumda MÇÇ çerçevenin 1.kat ve 3.kat kirişlerinde oluşan aksel kuvvet ve eğilme momenti sebebiyle kesit boyutlarını artırmıştır. Her katta farklı çapraz kesiti kullanmak yerine iki katta da aynı kesitin kullanılması dengelenmemiş kuvveti en aza indirdiği görülmüştür. Tasarım sürecince MÇÇ çerçevenin deprem etkisindeki performansının belirlenmesinde çapraz elemanların davranışının belirleyici olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada tasarlanan dört katlı okul binasının statik itme analizi deplasman kontrollü olarak çatı katı öteleme oranının %3'ü olacak şekilde itilmiş ve kapasite eğrisi oluşturulmuştur. Bina yüksekliği zemin seviyesinden 14.4m olduğundan hedef deplasman değeri 0.432m'ye ulaşana kadar çerçeve itilmiştir. Çatı katı tepe deplasman değeri 0.0333m'ye ulaştığında çaprazlarda burkulma nedeniyle ilk akma gerçekleşmiş ve bu anda taban kesme kuvveti 7471.96 kN olmuştur. Çatı katı deplasman değeri 0.1409m'ye ulaştığı anda ise çerçevenin ikinci kat basınç çaprazlarının göçme sınır değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu noktaya kadar çerçevede oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri 9049.3 kN olmuştur. Statik itme eğrisinden görüldüğü üzere çerçevede doğrusal sınır aşıldıktan sonra dayanımda ve rijitlikte ani düşüş gözlemlenmiştir. Merkezi çaprazlı çelik çerçevenin kapasite diyagramı kullanılarak TBDY 2018 yönetmeliğine göre depremin talebi hesaplanmıştır. Merkezi çaprazlı çelik çerçevede göz önüne alınan deprem doğrultusunda yer değiştirme talebi 0.0852m olarak bulunmuştur.

Statik itme analizleri sonucunda çaprazlı çerçevenin kolon ve kiriş elemanlarında plastik mafsallar gözlemlenmemiştir. Plastik mafsallar beklenildiği üzere çapraz elemanlarda oluşmuştur. TBDY 2018'de tanımlanan yapı elemanlarında hasar seviyelerine göre çaprazların 10'u sınırlı hasar bölgesinde, 4'ü belirgin hasar bölgesinde ve 2 tanesi ise ileri hasar bölgesinde kaldığı gözlemlenmiştir.

Dört katlı okul binasının deprem davranışı zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi kullanılarak da değerlendirilmiştir. Bu yöntemle gerçekleştirilen analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi en kritik hususu oluşturmuştur. Çalışmanın amacına uygun olacak şekilde yakın fay etkilerini yansıtacak özelliklere sahip 30 adet deprem yer hareketi kaydı seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir. TBDY 2018 yönetmeliğinde verilen basit ölçeklendirme ve spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi yöntemleri kullanılarak iki farklı şekilde ölçeklendirme işlemi yapılmış ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

Deprem yer hareketi kayıtlarının iki farklı şekilde ölçeklendirilmesi ile toplamda 60 adet doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Dinamik analiz sonuçlarına göre her bir deprem kaydı etkisinde sistemde meydana

gelen en büyük taban kesme kuvveti, en büyük tepe deplasman değerleri, tepe noktası görelî kat öteleme oranları ve çapraz elemanlardaki süneklik talepleri belirlenmiştir.

Doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarına göre basit ölçeklendirme ve spektral uyuşum yöntemleri için maksimum taban kesme kuvvet değerleri sırasıyla 11884 kN ve 11820 kN, minimum değerleri 9658 kN ve 9761 kN ve ortalama değerleri 10803 kN ve 10655 kN olarak elde edilmiştir. Bu değerler statik itme analiziyle hesaplanan depremin yer değıştirme talebi 0.0852m'ye karşılık gelen en büyük taban kesme kuvveti 7417.4 kN ile karşılaştırılmıştır. Dinamik analizler ile elde edilen en büyük taban kesme kuvveti ortalamaları itme analizi sonucunda elde edilen maksimum taban kesme kuvvetine göre basit ölçeklendirme yönteminde %46, spektral uyuşumda ise %44 artış göstermiştir. Tepe deplasman değerleri incelendiğinde ise basit ölçeklendirme ve spektral uyuşum durumları için tepe deplasmanının maksimum değerleri sırasıyla 0.7102m ve 0.238m, minimum değerleri 0.073m ve 0.091m ve ortalama değerleri 0.2575m ve 0.1491m elde edilmiştir. Tepe deplasman değerleri ise statik itmede belirlenen yerdeğıştirme talebi 0.0852m'ye göre basit ölçeklendirme yönteminde %302, spektral uyuşumda ise %175 oranında büyük çıkmıştır.

Doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarına göre basit ölçeklendirme ve spektral uyuşum sağlanan deprem kayıtları etkisinde sistemde meydana gelen tepe noktası görelî kat öteleme oranları da incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre deprem yer hareketi kayıtlarının iki farklı şekilde ölçeklendirilmesinden dolayı görelî kat ötelemelerinin (GKÖ) arasında büyük farklılıklar gözlemlenmiştir. Basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen deprem yer hareketi kayıtlarının kat ötelemelerinin ortalaması %1.79 olurken spektral uyuşum sağlanarak dönüştürülen deprem yer hareketi kayıtlarının ise kat ötelemelerinin ortalaması %1.04 olarak belirlenmiştir. Her bir yer hareketi kayıtları altında çerçevenin görelî kat ötelemesi oranları ile TBDY 2018'de GKÖ sınır değeri 0.008 karşılaştırıldığında, basit ölçeklendirilen deprem kayıtlarında iki adet deprem yer hareketi kaydında, spektral uyuşum sağlanan deprem kayıtlarında ise dokuz adet yer hareketinde aşılmanın olmadığı belirlenmiştir.

Özellikle tasarım aşamasında belirtildiğı üzere MÇÇ çerçevenin deprem performansının belirlenmesinde çapraz elemanların davranışı belirleyici olduğu için dinamik analizlerin sonuçları her kattaki çapraz elemanların süneklik talepleri

açısından da değerlendirilmiştir. Basit ölçeklendirme yönteminde çekme ve basınç kuvvetleri etkisinde çapraz elemanların binada beklenen performans hedefi olan KH (Kontrollü Hasar) düzeyini aştığı görülmektedir. Buna bağlı olarak çaprazlarda çekme kuvveti etkisinde süreklilik talepleri kıyaslandığında deprem yer hareketlerinin %40'ileri hasar bölgesinde, basınç kuvveti etkisinde ise deprem yer hareketi kayıtlarının %100'ünde ileri hasar bölgesinde kaldığı gözlemlenmiştir. Spektral uyum sağlanarak ölçeklendirme yönteminde ise çaprazlarda çekme kuvveti etkisinde binada beklenen performans hedefi KH düzeyini aşmadığı gözlemlenmiştir.

## **GELECEK ÇALIŞMALARA YÖNELİK ÖNERİLER**

Yatay yük taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevesi okul binasının faya yakın yer hareketi kayıtları etkisi altındaki deprem davranışının daha doğru tespit edilebilmesi için farklı özelliklere sahip MÇÇ çerçevelerin deneysel olarak incelenmesi gerekmektedir.

Ayrıca bu tez çalışması kapsamında sadece dış çerçeveleri yatay yük taşıyan sistemler dikkate alınmıştır. Tüm çerçevelerin yatay yük taşıdığı sistemler ve planda çaprazların farklı yerleşim konfigürasyonları dikkate alınarak davranışının incelenmesi konusunda ilave çalışmalar faydalı olacaktır.

## KAYNAKÇA

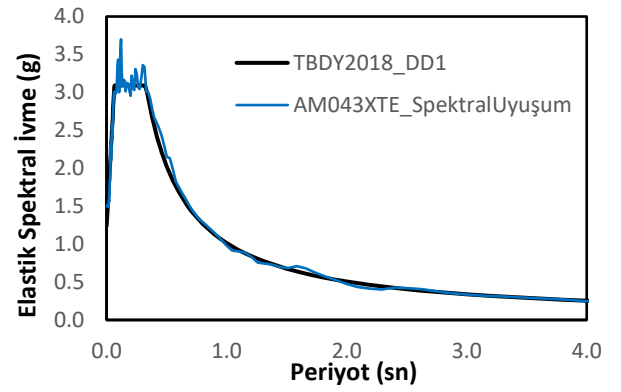
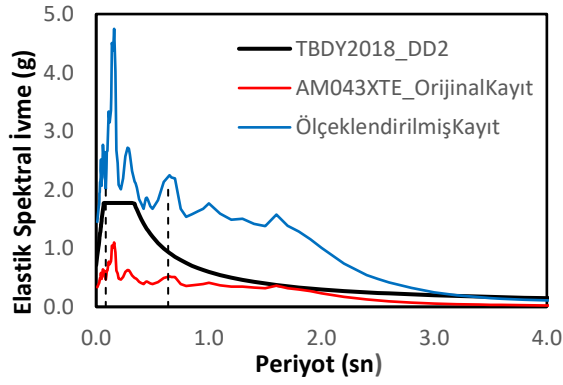
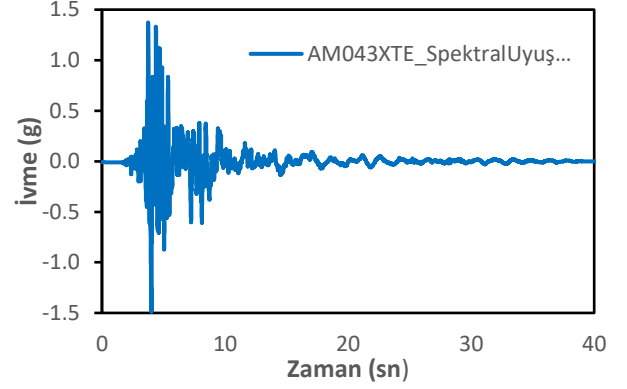
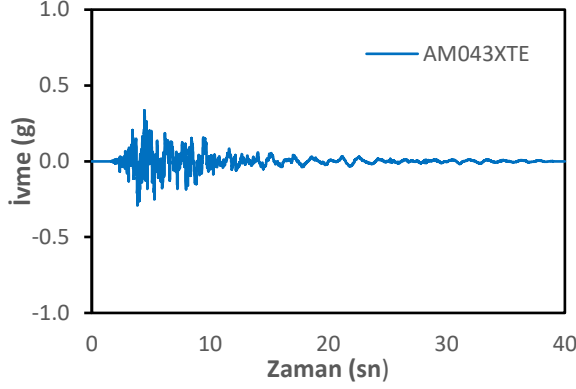
- Alavi, B. & Krawinkler, H.** (2001). Effects of Near-Fault Ground Motions on Frame Structures. (Rapor No. 138). The John A. Blume Earthquake Engineering Center.  
[https://stacks.stanford.edu/file/druid:cx534fy3768/TR138\\_Alavi.pdf](https://stacks.stanford.edu/file/druid:cx534fy3768/TR138_Alavi.pdf)
- ANSI/AISC 341-16** (2016). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- ASCE/SEI 7-16** (2017). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, Reston, Virginia.
- Celep, Z.** (2018). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. BETA Basım Yayım.
- Chen, C. & Mahin, S. A.** (2012). Performance-Based Seismic Demand Assessment of Centrally Braced Steel Frame Buildings. (Rapor No. PEER 2012/103). Pasific Earthquake Engineering Research Center.  
<https://peer.berkeley.edu/publications/2012-103>
- ÇYTHYE.** (2016). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İstanbul.
- Doğan, F. F.** (2021). Birbirine Dik Doğrultudaki Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Ortak Kolonlarının Tasarımı ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Engelhardt, Michael D. & Eatherton, Matthew R.** (2019) "Design of Seismic-Resistant Steel Building Structures". AISC V2 Powerpoint sunumu.  
<https://www.aisc.org/education/university-programs/ta-teaching-the-principles-of-seismic-resistant-design-of-steel-building-structures/>
- Excel.** (2024). Microsoft 365 Excel.
- Gülkan, P., & Utkuğ, D.** (2003). Okul Binalarının Deprem Güvenliği için Minimum Dizayn Kriterleri. Türkiye Mühendislik Haberleri, 425 (3) , 13–22. <https://izmir.imo.org.tr/Eklenti/1416,okul-binalarinin-deprem-guvenligi-icin-minimum-dizayn-kriterleripdf.pdf?0>

- Hammad, A. & Moustafa, M. A.** (2019). Seismic Behavior of Special Concentric Braced Frames under Short- and Long Duration Ground Motions. (Rapor No. PEER 2019/09). Pasific Earthquake Engineering Research Center. <https://peer.berkeley.edu/publications/2019-09>
- Hsiao, C.** (2012). Seismic Performance Evaluation of Concentrically Braced Frames, Doctoral Dissertation, University of Washington.
- İstanbul Teknik Üniversitesi.** (2023). 6 Şubat 2023 04.17 Mw 7.8 Kahramanmaraş (Pazarcık, Türkoğlu), Hatay (Kırıkhan), 13.24 Mw 7.7 Kahramanmaraş (Elbistan / Nurhak-Çardak) Depremleri Ön İnceleme Raporu. [https://haberler.itu.edu.tr/docs/default-source/default-document-library/2023\\_itu\\_deprem\\_on\\_raporu.pdf?sfvrsn=77afe59e\\_4](https://haberler.itu.edu.tr/docs/default-source/default-document-library/2023_itu_deprem_on_raporu.pdf?sfvrsn=77afe59e_4)
- Middle East Technical University.** (2023). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş – Pazarcık Mw = 7.7 ve Elbistan Mw = 7.6 Depremleri Ön Değerlendirme Raporu. (METU/EERC2023–01). [https://eerc.metu.edu.tr/tr/system/files/documents/DMAM\\_2023\\_Kahr\\_amanmaras-Pazarcik\\_ve\\_Elbistan\\_Depremleri\\_Raporu\\_TR\\_final.pdf](https://eerc.metu.edu.tr/tr/system/files/documents/DMAM_2023_Kahr_amanmaras-Pazarcik_ve_Elbistan_Depremleri_Raporu_TR_final.pdf)
- PEER Ground Motion Database .** (2013). <https://ngawest2.berkeley.edu/site>
- Sabelli, R.** (2001). Research on Improving the Design and Analysis of Earthquake-Resistant Steel-Braced Frames. (Rapor No. PF2000-9). Earthquake Engineering Research Institute. [https://www.eeri.org/images/archived/wp-content/uploads/2000.Sabelli.Prof\\_.Fellow.Rpt\\_.pdf](https://www.eeri.org/images/archived/wp-content/uploads/2000.Sabelli.Prof_.Fellow.Rpt_.pdf)
- Sabelli, R., Roeder, C. W. & Hajjar, J. F.** (2013). Seismic Design of Steel Special Concentrically Braced Frame Systems. (Rapor No. NIST GCR 13-917-24). National Institute of Standards and Technology. <https://nehrp.gov/pdf/nistgcr13-917-24.pdf>
- SAP2000** Integrated Software For Structural Analysis and Design, v25, 2023.
- Şeker, O., Şişman, Ö. A., & Akbaş, B.** (2021). Depreme dayanıklı çelik merkezi çaprazlı çerçeve tasarımında güncel kapasite tasarımı yaklaşımının irdelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 37 (2) , 739–756. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.872215>
- TBDY.** (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

- TS498.** (2021). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TSE, Ankara.
- TS EN 1991-1-3** (2007). Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-3: Genel Etkiler – Kar Yükleri (Eurocode 1), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1991-1-4** (2007). Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-4: Genel Etkiler – Rüzgar Etkileri (Eurocode 1), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yang, T. Y., Moehle, J. P. & Stojadinovic, B.** (2009). Performance Evaluation of Innovative Steel Braced Frames. (Rapor No. PEER 2009/103). Pasific Earthquake Engineering Research Center.  
<https://peer.berkeley.edu/publications/2009-103>

## **EKLER**

Deprem	L'AQUILA
Tarih	6.04.2009
İstasyon	L'AQUILA PARKING
Bileşen	AM043XTE (90)



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	5,90	82,41	0,07	9,54	82,41	0,12
3	SHS 180x180x14.2	14,23	82,41	0,17	12,33	82,41	0,15
2	SHS 200x200x16	51,50	82,41	0,62	47,47	82,41	0,58
1	SHS 220x220x16	29,57	82,41	0,36	24,64	82,41	0,30

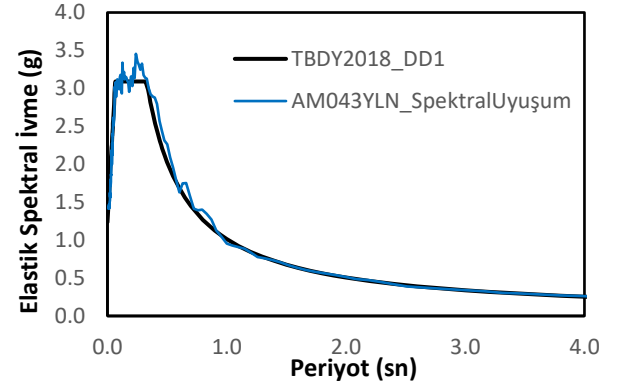
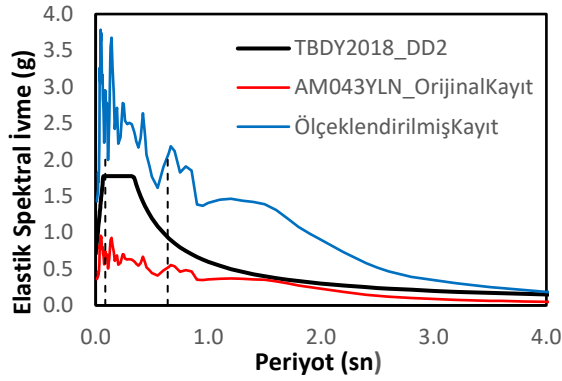
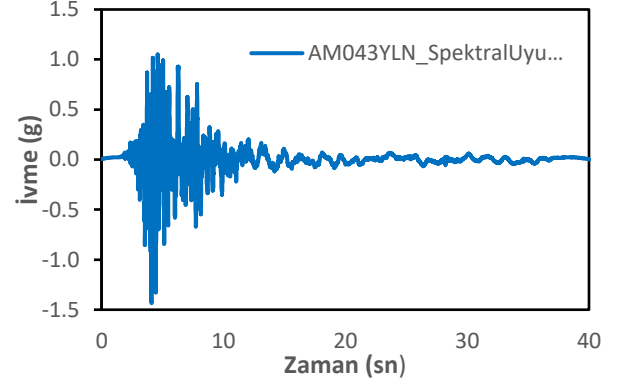
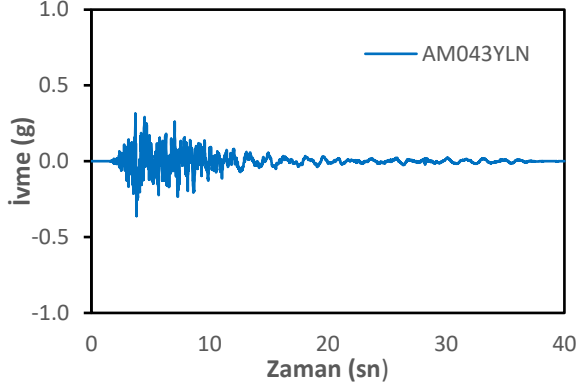
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,18	30,54	0,01	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	44,69	34,43	1,30	36,78	34,43	1,07
2	SHS 200x200x16	0,00	37,15	0,00	7,51	37,15	0,20
1	SHS 220x220x16	101,36	39,48	2,57	85,02	39,48	2,15

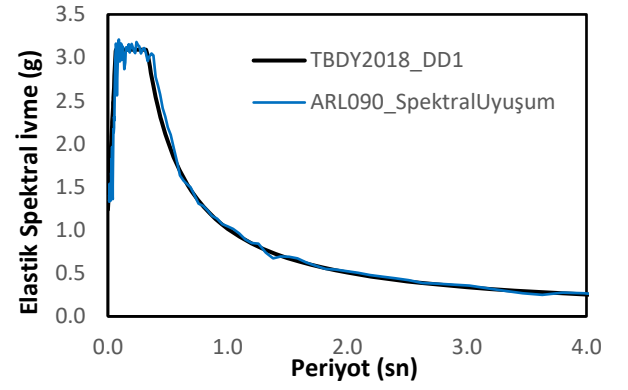
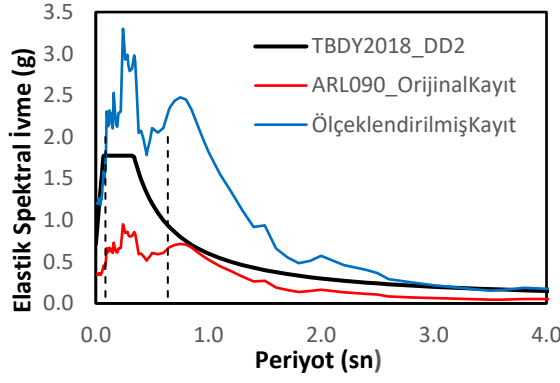
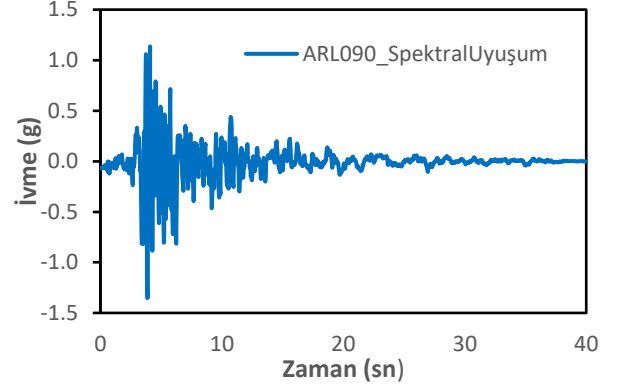
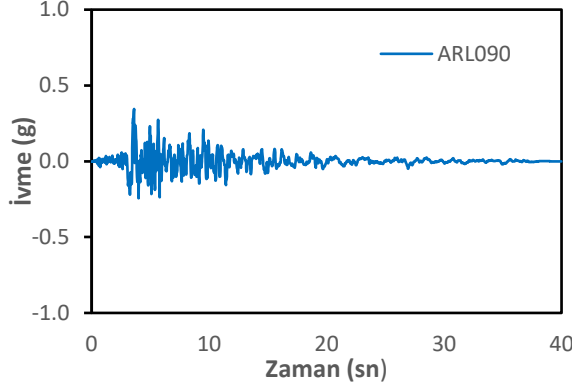
Deprem	L'AQUILA
Tarih	6.04.2009
İstasyon	L'AQUILA PARKING
Bileşen	AM043YLN (0)



Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	13,93	82,41	0,17	14,25	82,41	0,17
3	SHS 180x180x14.2	25,02	82,41	0,30	15,26	82,41	0,19
2	SHS 200x200x16	163,77	82,41	1,99	64,27	82,41	0,78
1	SHS 220x220x16	42,06	82,41	0,51	44,42	82,41	0,54

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	58,24	34,43	1,69	56,29	34,43	1,63
2	SHS 200x200x16	0,00	37,15	0,00	0,00	37,15	0,00
1	SHS 220x220x16	193,20	39,48	4,89	122,25	39,48	3,10

Deprem	NORTHRIDGE
Tarih	17.01.1994
İstasyon	ARLETA-NORDHOFF FIRE STA.
Bileşen	ARL090



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	15,85	82,41	0,19	6,03	82,41	0,07
3	SHS 180x180x14.2	13,87	82,41	0,17	18,45	82,41	0,22
2	SHS 200x200x16	193,62	82,41	2,35	58,54	82,41	0,71
1	SHS 220x220x16	60,74	82,41	0,74	25,49	82,41	0,31

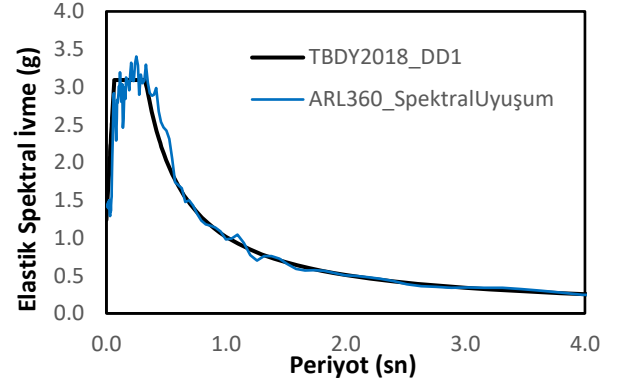
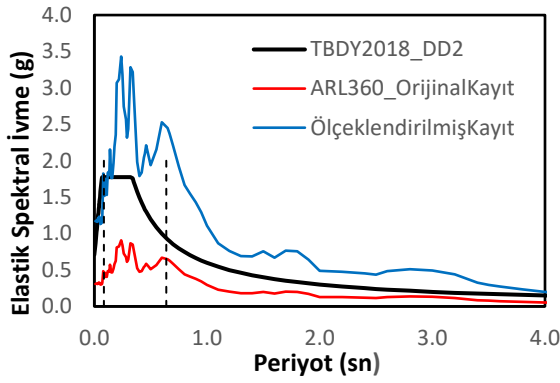
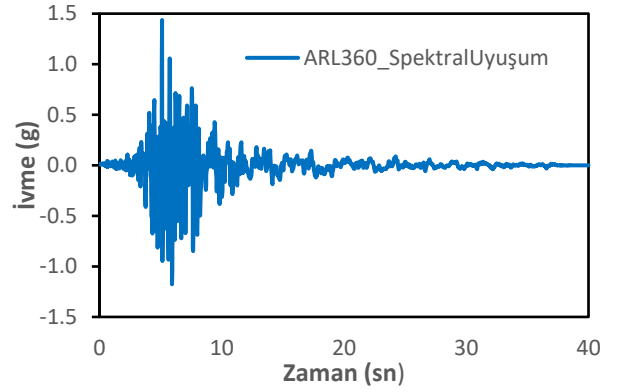
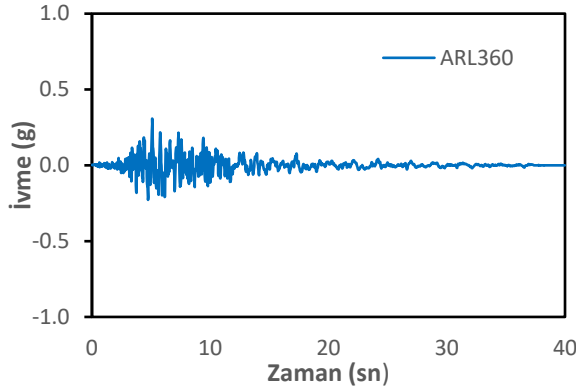
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	42,60	34,43	1,24	50,76	34,43	1,47
2	SHS 200x200x16	66,81	37,15	1,80	0,00	37,15	0,00
1	SHS 220x220x16	187,69	39,48	4,75	109,11	39,48	2,76

Deprem	NORTHRIDGE
Tarih	17.01.1994
İstasyon	ARLETA-NORDHOFF FIRE STA.
Bileşen	ARL360



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	$\Delta_T$ (mm)		Süneklik	$\Delta_T$ (mm)		Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	11,87	82,41	0,14	10,88	82,41	0,13
3	SHS 180x180x14.2	7,90	82,41	0,10	15,18	82,41	0,18
2	SHS 200x200x16	54,52	82,41	0,66	51,59	82,41	0,63
1	SHS 220x220x16	26,54	82,41	0,32	17,36	82,41	0,21

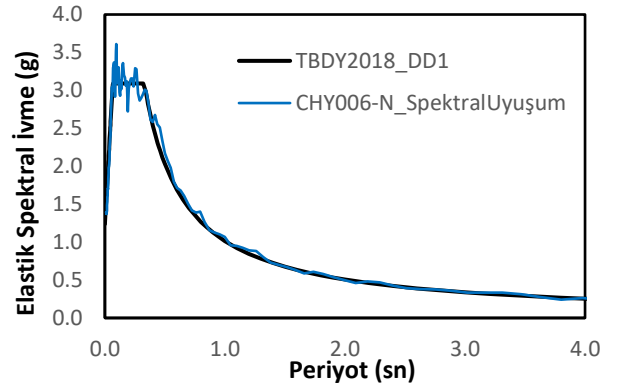
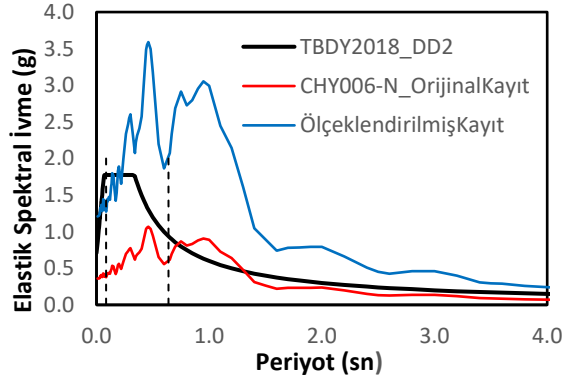
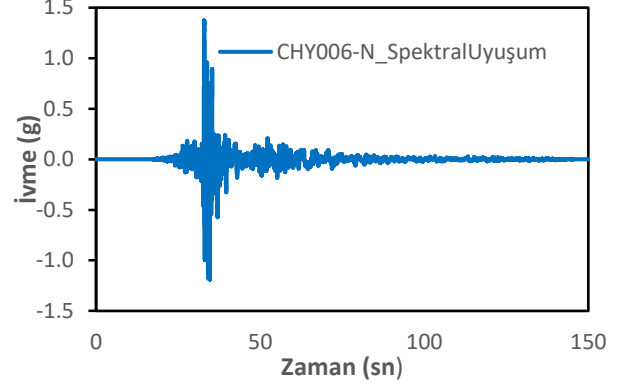
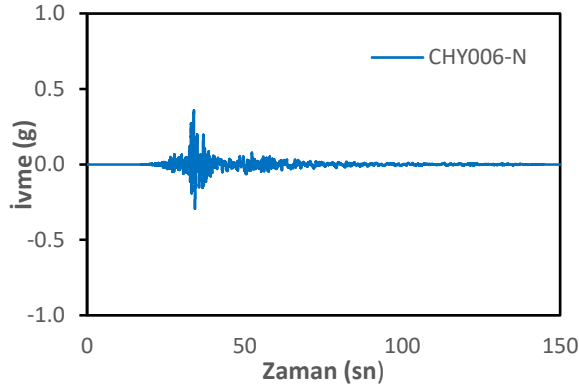
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	$\Delta_c$ (mm)		Süneklik	$\Delta_c$ (mm)		Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	37,07	34,43	1,08	51,72	34,43	1,50
2	SHS 200x200x16	13,75	37,15	0,37	13,88	37,15	0,37
1	SHS 220x220x16	100,15	39,48	2,54	81,52	39,48	2,06

Deprem	CHI-CHI
Tarih	21.09.1999
İstasyon	CHY006
Bileşen	CHY006-N (0)



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	5,11	82,41	0,06	6,59	82,41	0,08
3	SHS 180x180x14.2	11,41	82,41	0,14	1,75	82,41	0,02
2	SHS 200x200x16	248,02	82,41	3,01	73,39	82,41	0,89
1	SHS 220x220x16	60,67	82,41	0,74	55,46	82,41	0,67

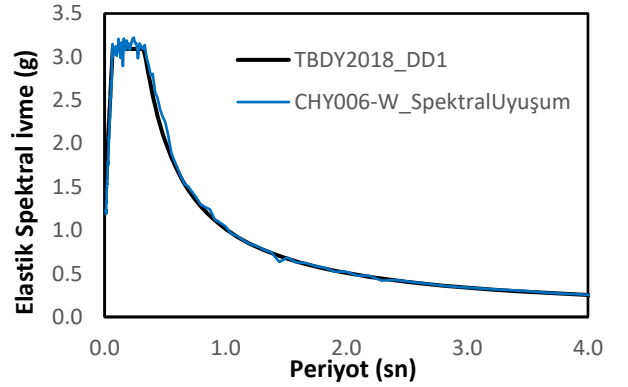
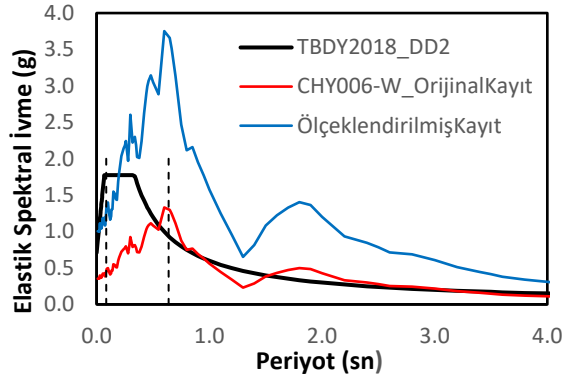
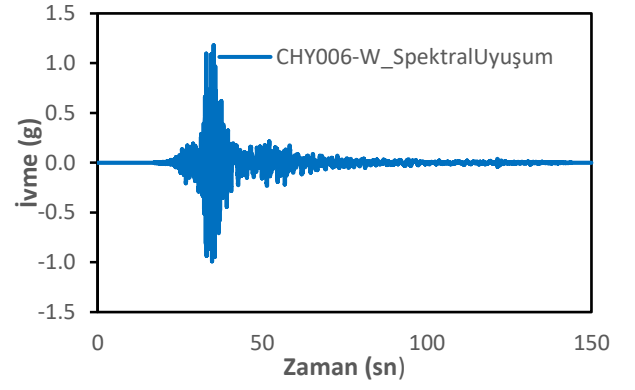
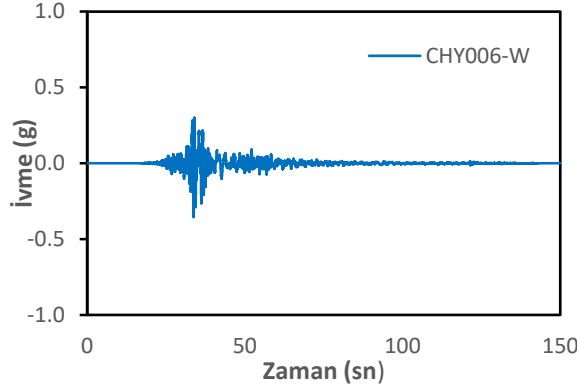
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	43,16	34,43	1,25	31,88	34,43	0,93
2	SHS 200x200x16	0,00	37,15	0,00	0,00	37,15	0,00
1	SHS 220x220x16	222,20	39,48	5,63	142,87	39,48	3,62

Deprem	CHI-CHI
Tarih	21.09.1999
İstasyon	CHY006
Bileşen	CHY006-W (270)



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	$\Delta_T$ (mm)		Süneklik	$\Delta_T$ (mm)		Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	6,47	82,41	0,08	19,07	82,41	0,23
3	SHS 180x180x14.2	10,52	82,41	0,13	0,35	82,41	0,00
2	SHS 200x200x16	268,57	82,41	3,26	22,62	82,41	0,27
1	SHS 220x220x16	71,16	82,41	0,86	6,32	82,41	0,08

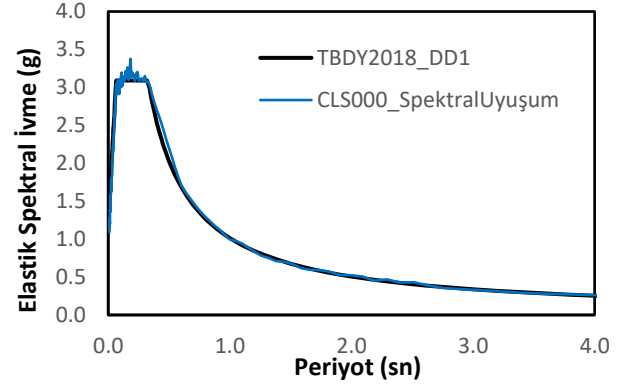
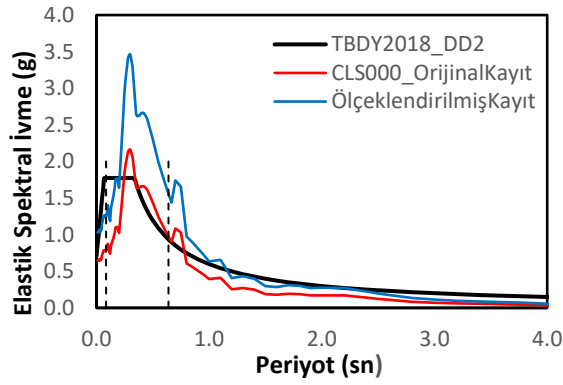
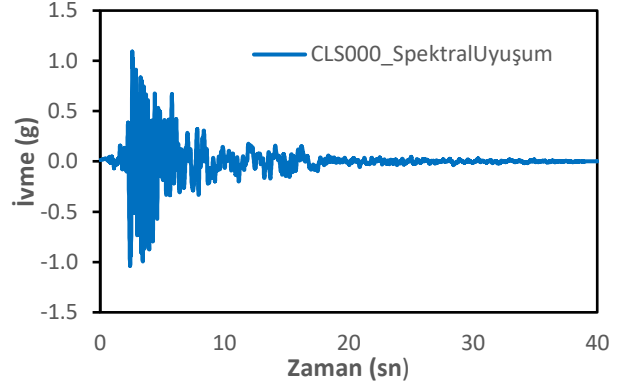
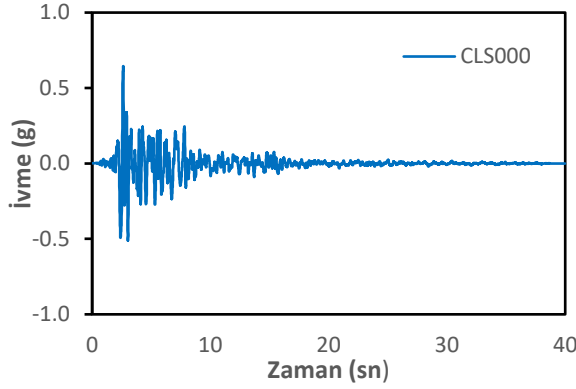
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	$\Delta_c$ (mm)		Süneklik	$\Delta_c$ (mm)		Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	39,68	34,43	1,15	36,11	34,43	1,05
2	SHS 200x200x16	76,04	37,15	2,05	15,82	37,15	0,43
1	SHS 220x220x16	249,16	39,48	6,31	61,20	39,48	1,55

Deprem	LOMA PRIETA
Tarih	17.10.1989
İstasyon	CORRALITOS
Bileşen	CLS000



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	4,46	82,41	0,05	8,11	82,41	0,10
3	SHS 180x180x14.2	17,18	82,41	0,21	13,93	82,41	0,17
2	SHS 200x200x16	44,88	82,41	0,54	50,03	82,41	0,61
1	SHS 220x220x16	22,90	82,41	0,28	28,10	82,41	0,34

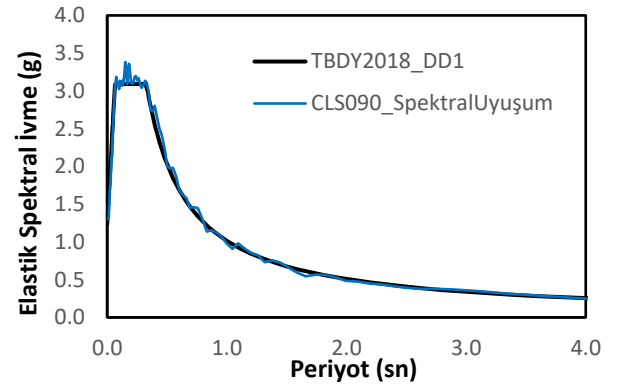
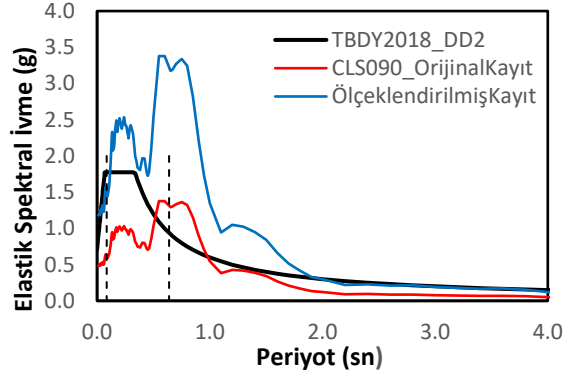
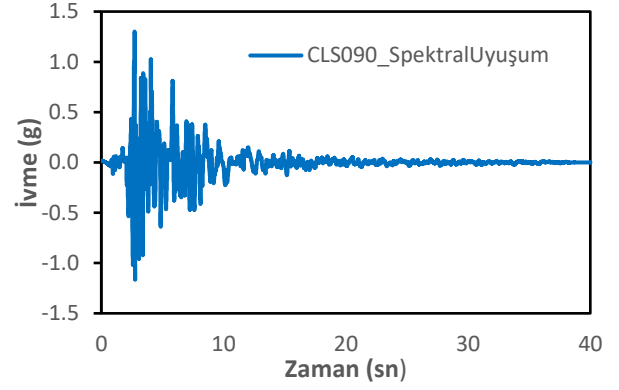
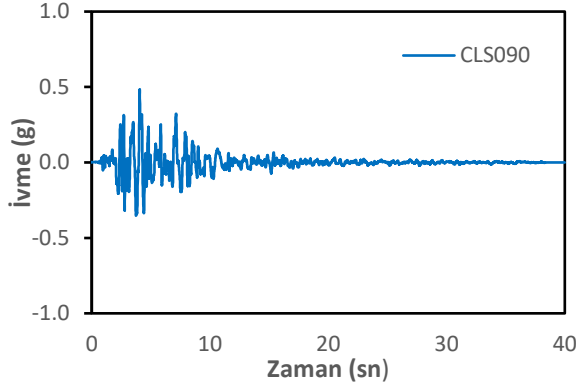
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik	$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	46,19	34,43	1,34	47,90	34,43	1,39
2	SHS 200x200x16	0,00	37,15	0,00	0,00	37,15	0,00
1	SHS 220x220x16	79,95	39,48	2,03	92,85	39,48	2,35

Deprem	LOMA PRIETA
Tarih	17.10.1989
İstasyon	CORRALITOS
Bileşen	CLS090



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	9,02	82,41	0,11	11,92	82,41	0,14
3	SHS 180x180x14.2	21,79	82,41	0,26	13,27	82,41	0,16
2	SHS 200x200x16	52,87	82,41	0,64	36,36	82,41	0,44
1	SHS 220x220x16	33,60	82,41	0,41	22,94	82,41	0,28

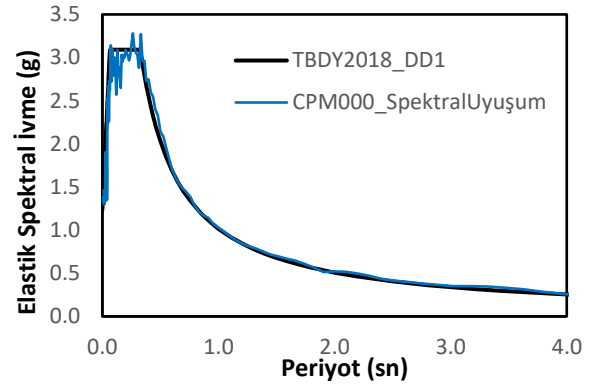
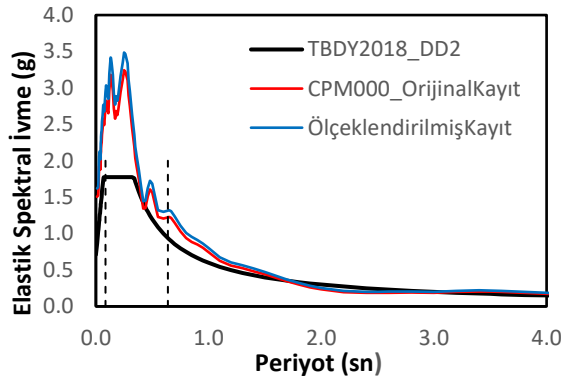
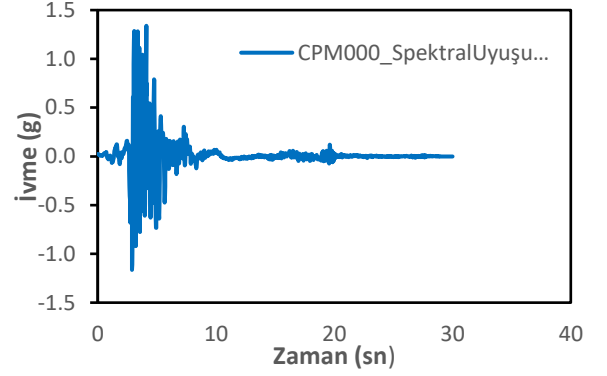
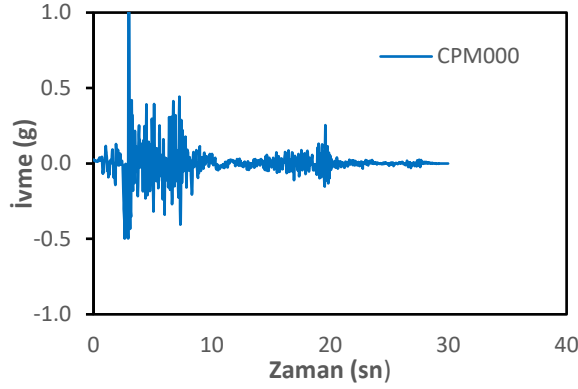
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	57,00	34,43	1,66	49,34	34,43	1,43
2	SHS 200x200x16	0,43	37,15	0,01	0,55	37,15	0,01
1	SHS 220x220x16	112,04	39,48	2,84	81,41	39,48	2,06

Deprem	CAPE MENDOCINO
Tarih	25.04.1992
İstasyon	CAPE MENDOCINO
Bileşen	CPM000



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	5,88	82,41	0,07	9,86	82,41	0,12
3	SHS 180x180x14.2	4,80	82,41	0,06	6,44	82,41	0,08
2	SHS 200x200x16	30,91	82,41	0,38	45,28	82,41	0,55
1	SHS 220x220x16	2,77	82,41	0,03	20,81	82,41	0,25

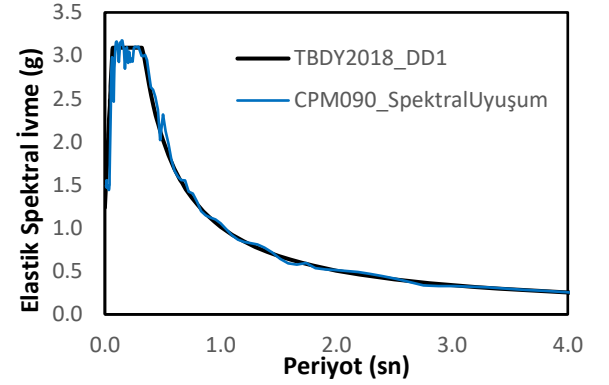
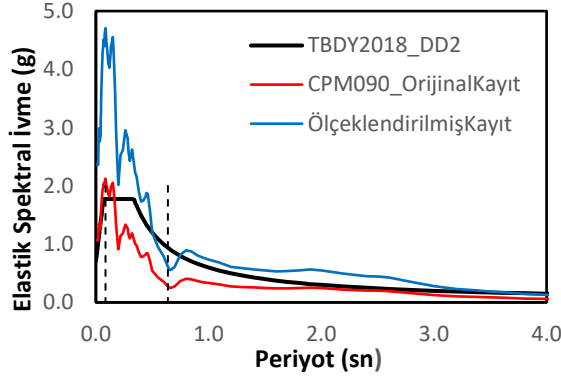
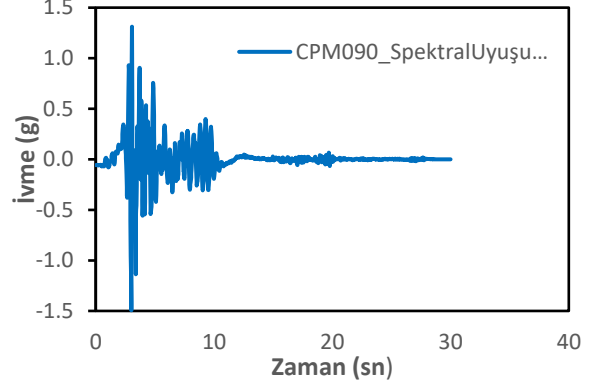
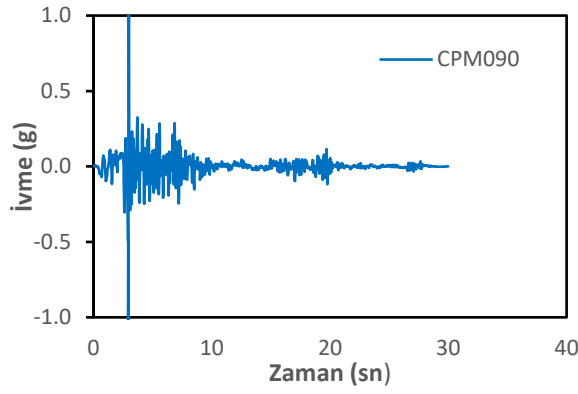
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	34,88	34,43	1,01	43,79	34,43	1,27
2	SHS 200x200x16	0,00	37,15	0,00	1,67	37,15	0,04
1	SHS 220x220x16	53,37	39,48	1,35	80,71	39,48	2,04

Deprem	CAPE MENDOCINO
Tarih	25.04.1992
İstasyon	CAPE MENDOCINO
Bileşen	CPM090



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	2,78	82,41	0,03	7,34	82,41	0,09
3	SHS 180x180x14.2	9,56	82,41	0,12	12,04	82,41	0,15
2	SHS 200x200x16	28,42	82,41	0,34	63,62	82,41	0,77
1	SHS 220x220x16	6,19	82,41	0,08	29,92	82,41	0,36

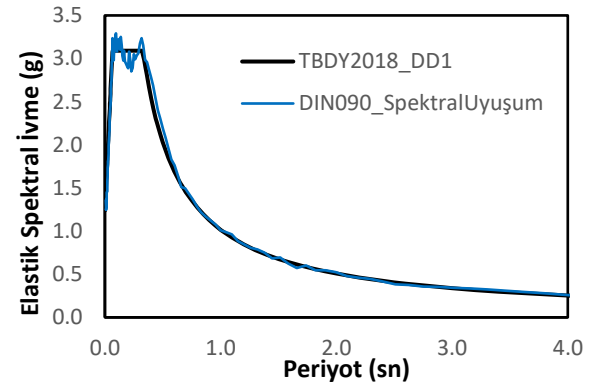
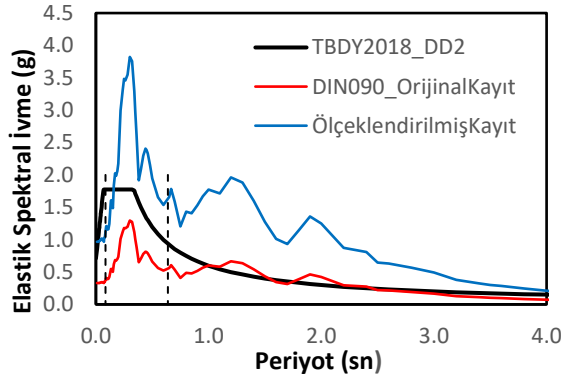
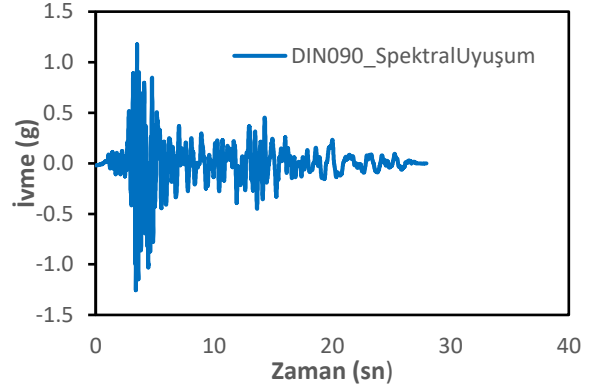
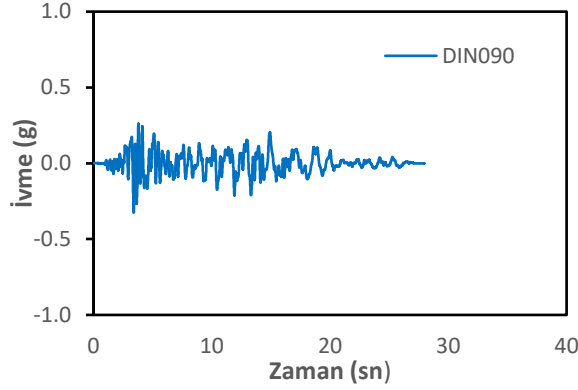
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	36,56	34,43	1,06	43,84	34,43	1,27
2	SHS 200x200x16	0,64	37,15	0,02	0,00	37,15	0,00
1	SHS 220x220x16	62,30	39,48	1,58	111,31	39,48	2,82

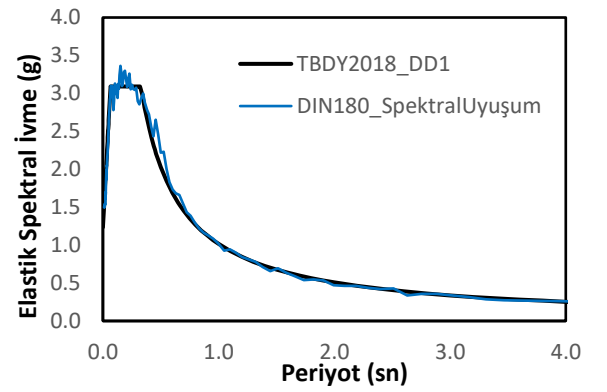
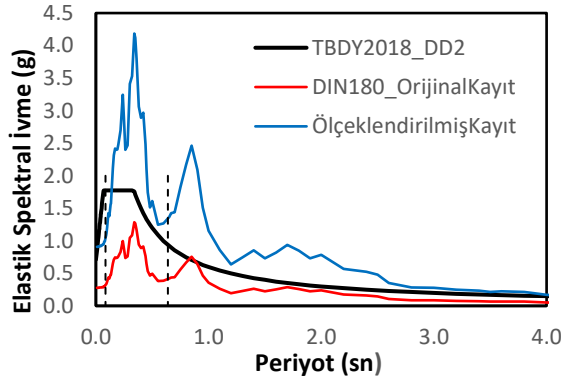
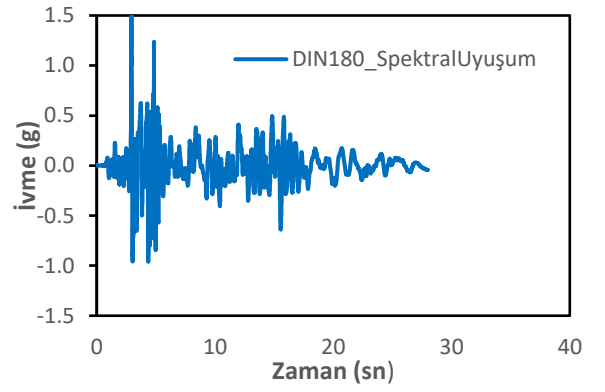
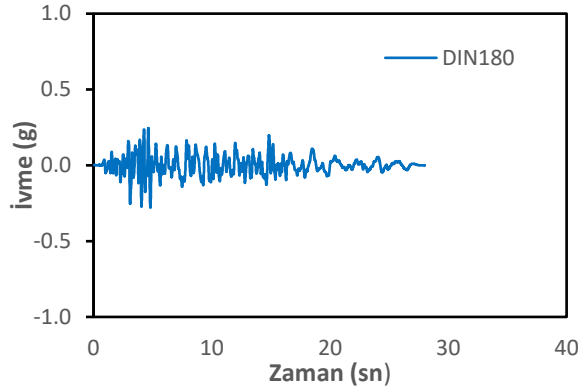
Deprem	DINAR
Tarih	1.10.1995
İstasyon	DINAR
Bileşen	DIN090



Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	3,65	82,41	0,04	8,27	82,41	0,10
3	SHS 180x180x14.2	19,87	82,41	0,24	11,99	82,41	0,15
2	SHS 200x200x16	40,27	82,41	0,49	57,53	82,41	0,70
1	SHS 220x220x16	24,61	82,41	0,30	19,25	82,41	0,23

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik	$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	47,97	34,43	1,39	48,54	34,43	1,41
2	SHS 200x200x16	13,59	37,15	0,37	0,00	37,15	0,00
1	SHS 220x220x16	84,47	39,48	2,14	100,36	39,48	2,54

Deprem	DINAR
Tarih	1.10.1995
İstasyon	DINAR
Bileşen	DIN180



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	12,95	82,41	0,16	14,36	82,41	0,17
3	SHS 180x180x14.2	18,49	82,41	0,22	13,08	82,41	0,16
2	SHS 200x200x16	54,26	82,41	0,66	50,61	82,41	0,61
1	SHS 220x220x16	25,16	82,41	0,31	25,50	82,41	0,31

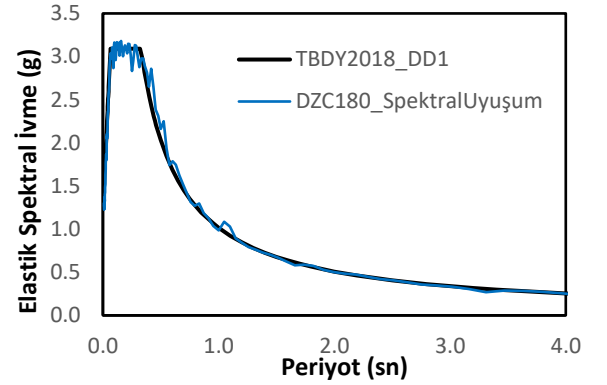
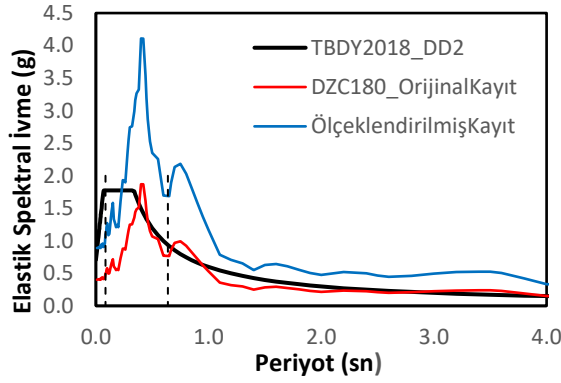
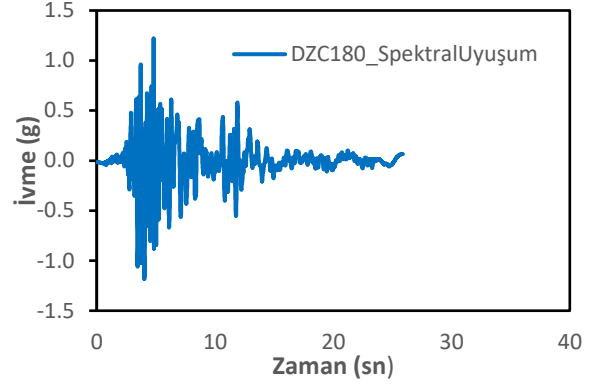
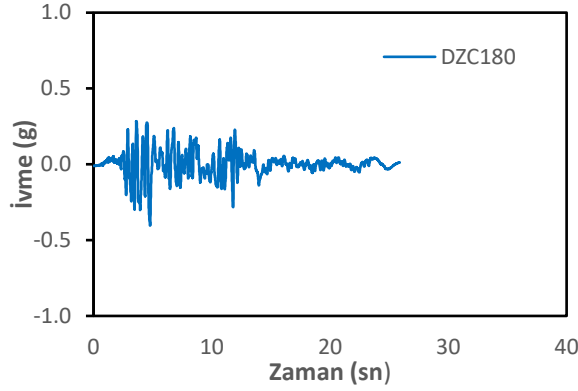
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik	$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	47,56	34,43	1,38	47,76	34,43	1,39
2	SHS 200x200x16	21,26	37,15	0,57	2,06	37,15	0,06
1	SHS 220x220x16	105,87	39,48	2,68	92,55	39,48	2,34

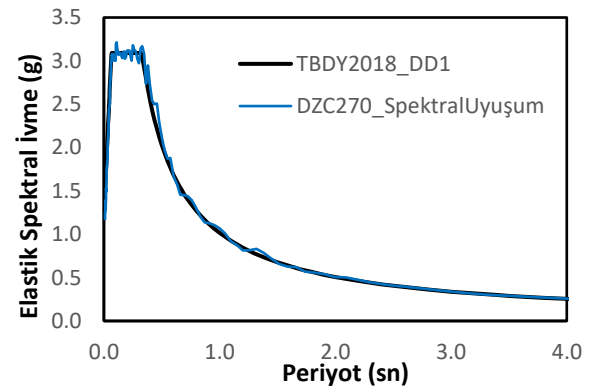
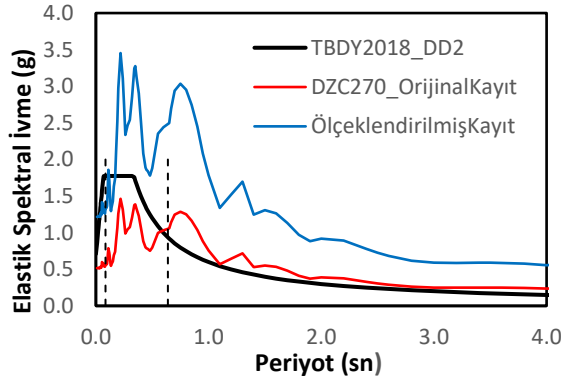
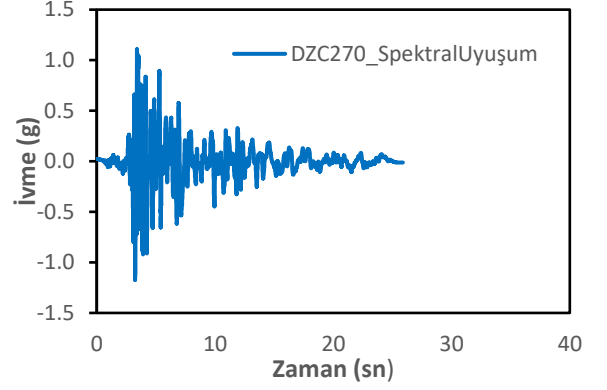
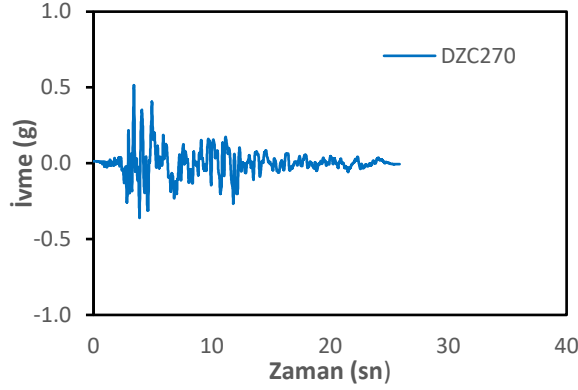
Deprem	DÜZCE
Tarih	12.11.1999
İstasyon	DÜZCE
Bileşen	DZC180



Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	5,55	82,41	0,07	21,31	82,41	0,26
3	SHS 180x180x14.2	14,63	82,41	0,18	22,71	82,41	0,28
2	SHS 200x200x16	189,77	82,41	2,30	45,31	82,41	0,55
1	SHS 220x220x16	57,08	82,41	0,69	17,34	82,41	0,21

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik	$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	46,24	34,43	1,34	55,01	34,43	1,60
2	SHS 200x200x16	23,81	37,15	0,64	42,00	37,15	1,13
1	SHS 220x220x16	173,65	39,48	4,40	80,37	39,48	2,04

Deprem	DÜZCE
Tarih	12.11.1999
İstasyon	DÜZCE
Bileşen	DZC270



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	7,92	82,41	0,10	15,89	82,41	0,19
3	SHS 180x180x14.2	22,36	82,41	0,27	17,23	82,41	0,21
2	SHS 200x200x16	234,50	82,41	2,85	27,94	82,41	0,34
1	SHS 220x220x16	64,12	82,41	0,78	18,16	82,41	0,22

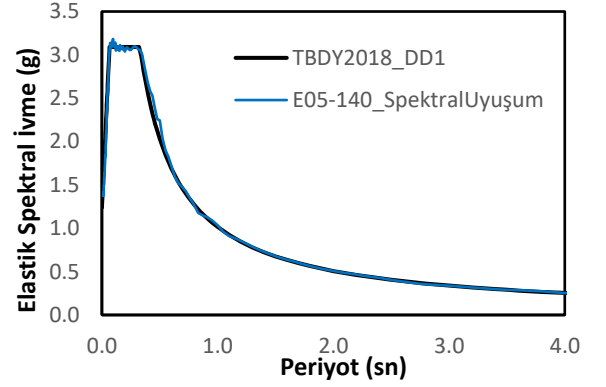
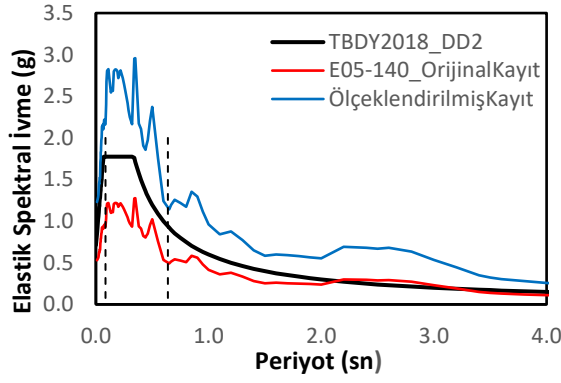
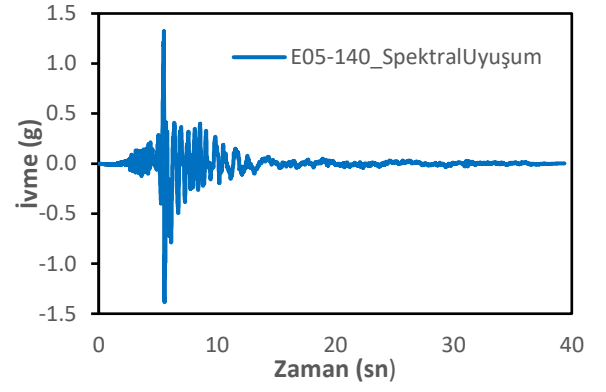
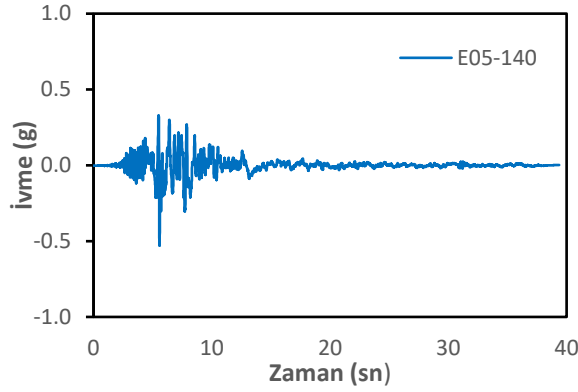
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik	$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	54,38	34,43	1,58	51,92	34,43	1,51
2	SHS 200x200x16	0,14	37,15	0,00	16,47	37,15	0,44
1	SHS 220x220x16	261,57	39,48	6,63	68,66	39,48	1,74

Deprem	IMPERIAL VALLEY
Tarih	15.10.1979
İstasyon	EL CENTRO ARRAY #5
Bileşen	E05-140



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	9,40	82,41	0,11	4,42	82,41	0,05
3	SHS 180x180x14.2	13,15	82,41	0,16	4,67	82,41	0,06
2	SHS 200x200x16	55,57	82,41	0,67	33,21	82,41	0,40
1	SHS 220x220x16	41,21	82,41	0,50	14,71	82,41	0,18

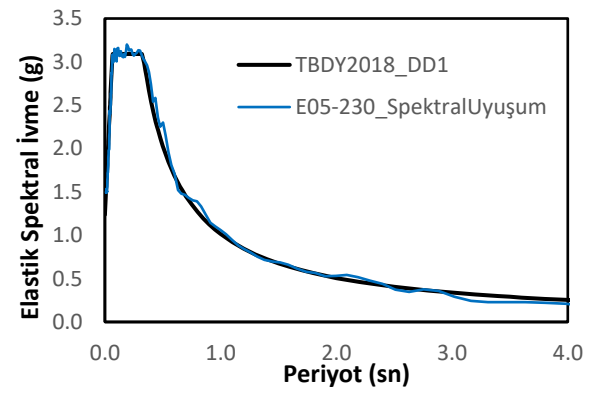
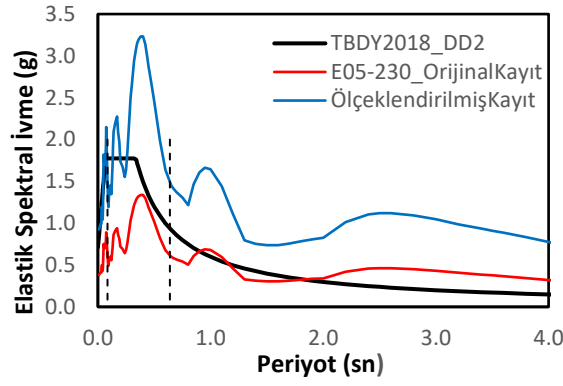
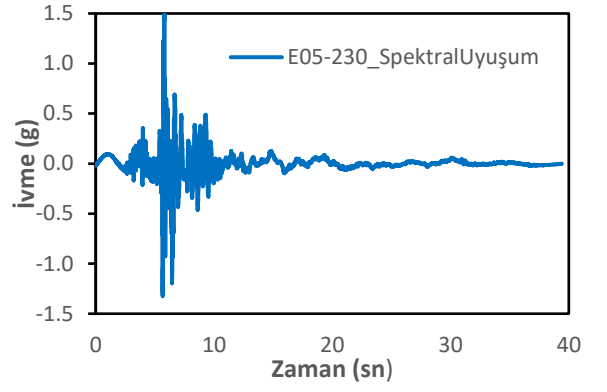
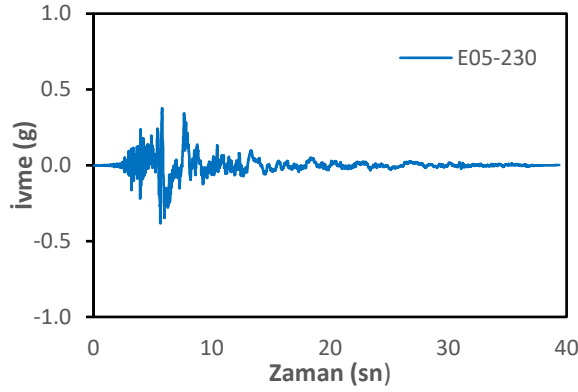
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik	$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	46,41	34,43	1,35	29,90	34,43	0,87
2	SHS 200x200x16	0,24	37,15	0,01	11,72	37,15	0,32
1	SHS 220x220x16	124,66	39,48	3,16	55,35	39,48	1,40

Deprem	IMPERIAL VALLEY
Tarih	15.10.1979
İstasyon	EL CENTRO ARRAY #5
Bileşen	E05-230



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	3,80	82,41	0,05	10,04	82,41	0,12
3	SHS 180x180x14.2	12,46	82,41	0,15	14,92	82,41	0,18
2	SHS 200x200x16	66,26	82,41	0,80	25,69	82,41	0,31
1	SHS 220x220x16	48,34	82,41	0,59	9,54	82,41	0,12

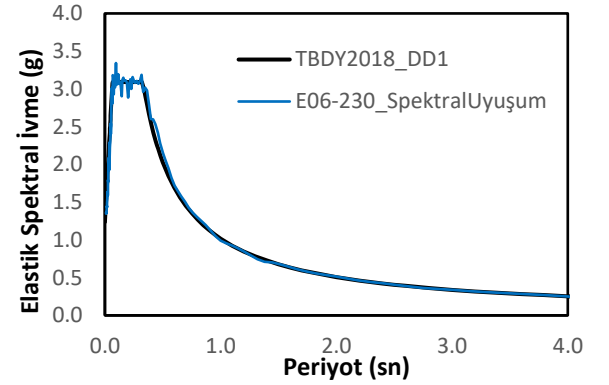
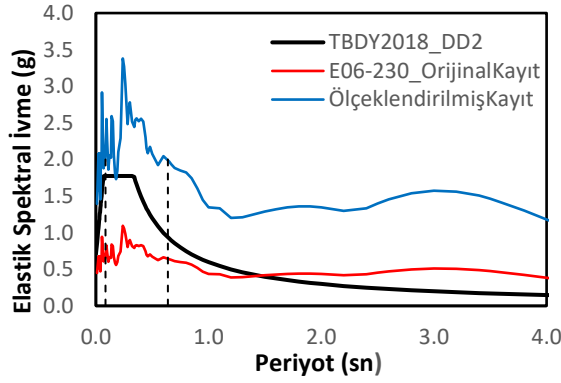
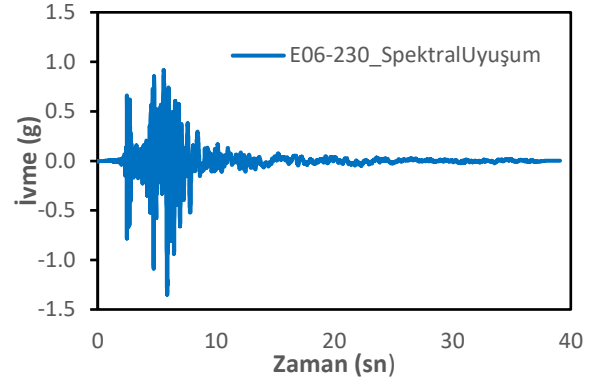
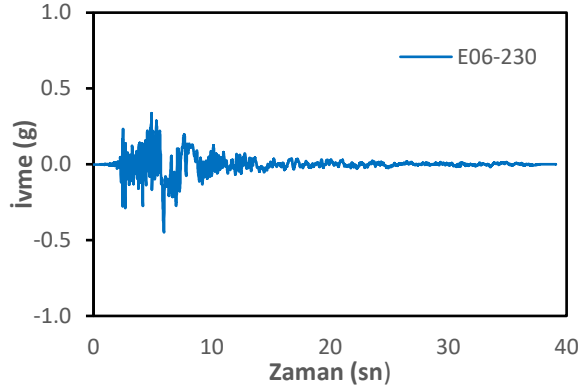
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	41,52	34,43	1,21	48,27	34,43	1,40
2	SHS 200x200x16	0,86	37,15	0,02	41,22	37,15	1,11
1	SHS 220x220x16	142,24	39,48	3,60	48,99	39,48	1,24

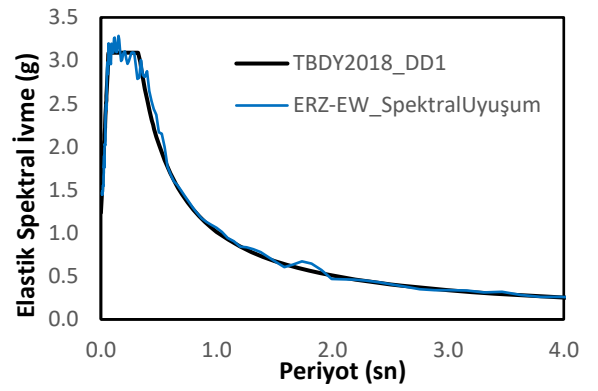
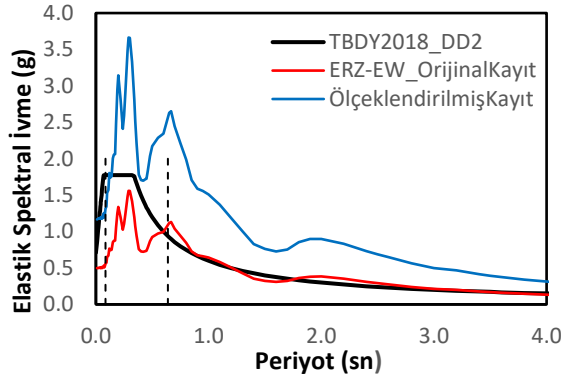
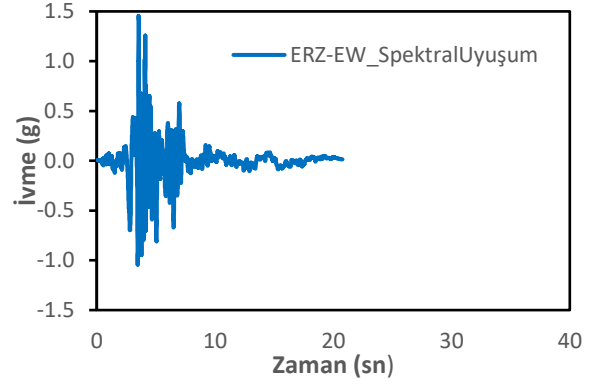
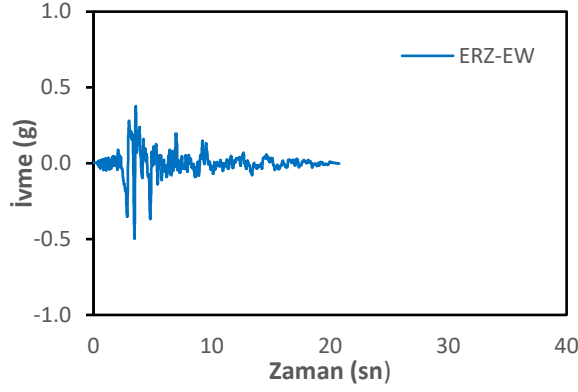
Deprem	IMPERIAL VALLEY
Tarih	15.10.1979
İstasyon	EL CENTRO ARRAY #6
Bileşen	E06-230



Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	2,67	82,41	0,03	0,95	82,41	0,01
3	SHS 180x180x14.2	12,14	82,41	0,15	5,41	82,41	0,07
2	SHS 200x200x16	304,30	82,41	3,69	43,72	82,41	0,53
1	SHS 220x220x16	76,13	82,41	0,92	46,66	82,41	0,57

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik	$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	38,75	34,43	1,13	29,56	34,43	0,86
2	SHS 200x200x16	82,84	37,15	2,23	67,60	37,15	1,82
1	SHS 220x220x16	308,33	39,48	7,81	50,91	39,48	1,29

Deprem	ERZINCAN
Tarih	13.03.1992
İstasyon	ERZINCAN
Bileşen	ERZ-EW



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	9,57	82,41	0,12	11,41	82,41	0,14
3	SHS 180x180x14.2	14,83	82,41	0,18	20,11	82,41	0,24
2	SHS 200x200x16	34,92	82,41	0,42	36,32	82,41	0,44
1	SHS 220x220x16	14,21	82,41	0,17	19,76	82,41	0,24

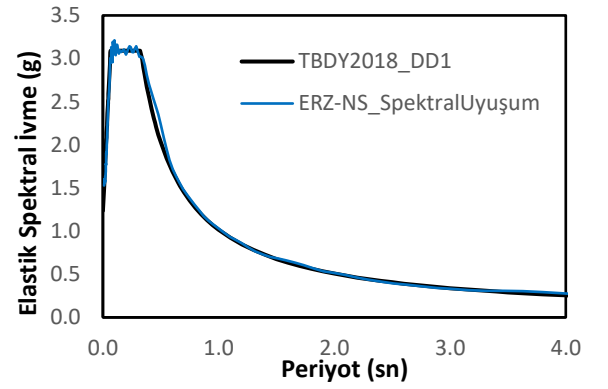
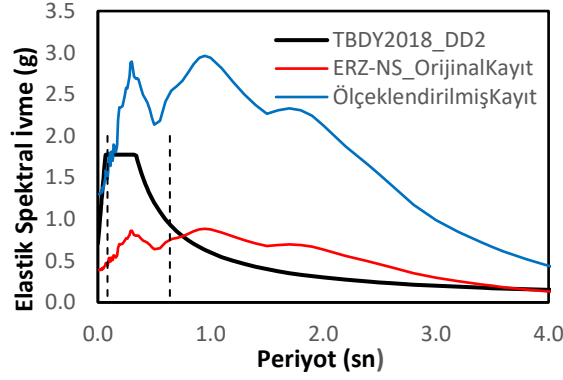
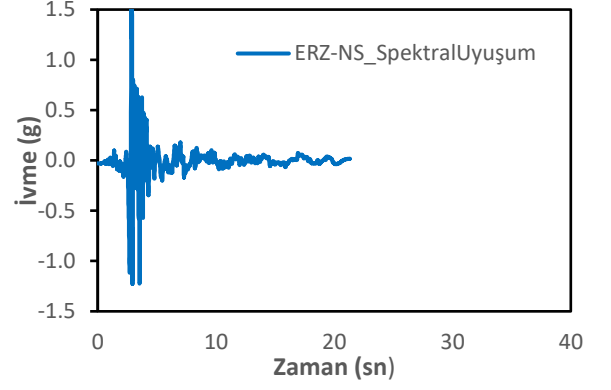
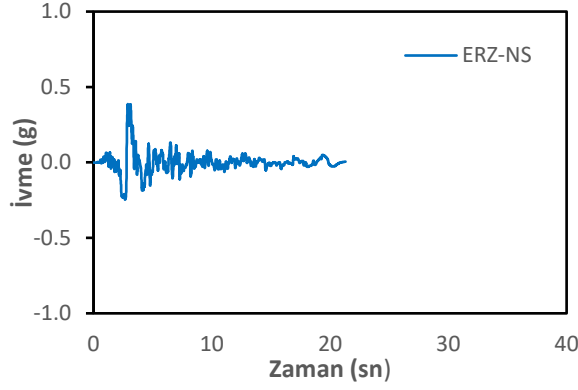
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik	$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	41,90	34,43	1,22	53,19	34,43	1,54
2	SHS 200x200x16	0,00	37,15	0,00	1,92	37,15	0,05
1	SHS 220x220x16	61,82	39,48	1,57	51,66	39,48	1,31

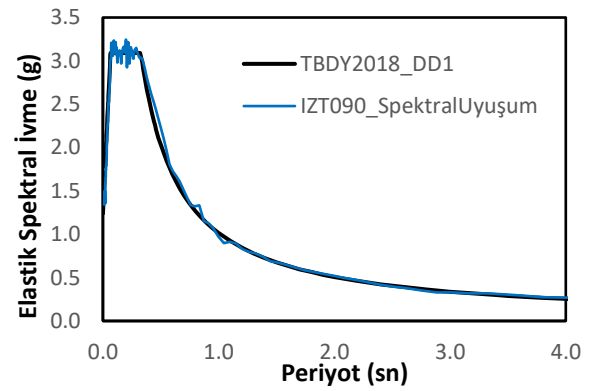
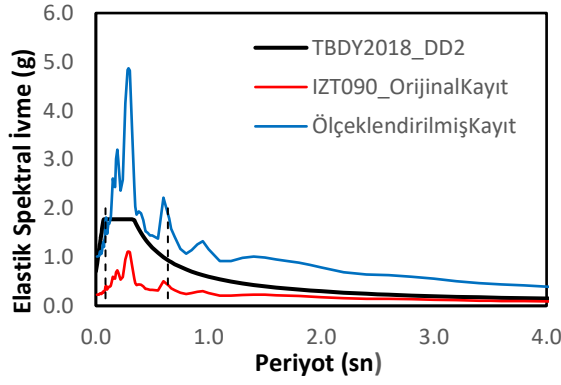
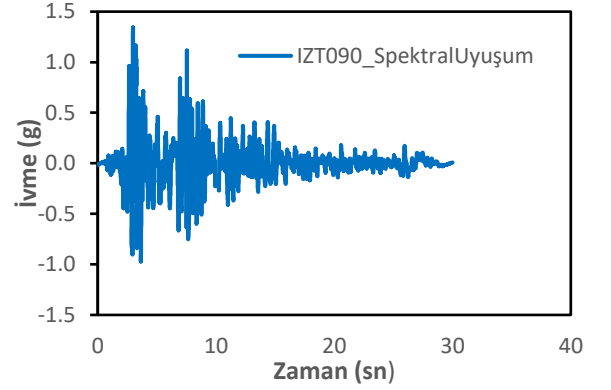
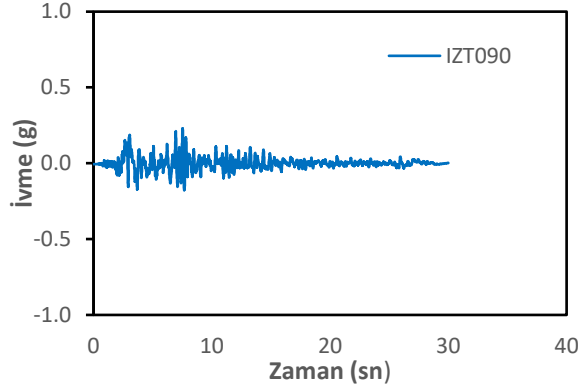
Deprem	ERZINCAN
Tarih	13.03.1992
İstasyon	ERZINCAN
Bileşen	ERZ-NS



Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	1,28	82,41	0,02	5,08	82,41	0,06
3	SHS 180x180x14.2	0,00	82,41	0,00	2,57	82,41	0,03
2	SHS 200x200x16	415,85	82,41	5,05	43,44	82,41	0,53
1	SHS 220x220x16	68,71	82,41	0,83	34,90	82,41	0,42

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	1,82	30,54	0,06	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	21,96	34,43	0,64	31,83	34,43	0,92
2	SHS 200x200x16	102,56	37,15	2,76	0,00	37,15	0,00
1	SHS 220x220x16	414,16	39,48	10,49	93,41	39,48	2,37

Deprem	KOCAELİ
Tarih	17.08.1999
İstasyon	İZMİT
Bileşen	IZT090



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	5,52	82,41	0,07	16,53	82,41	0,20
3	SHS 180x180x14.2	10,68	82,41	0,13	26,01	82,41	0,32
2	SHS 200x200x16	49,18	82,41	0,60	60,57	82,41	0,74
1	SHS 220x220x16	20,01	82,41	0,24	45,70	82,41	0,55

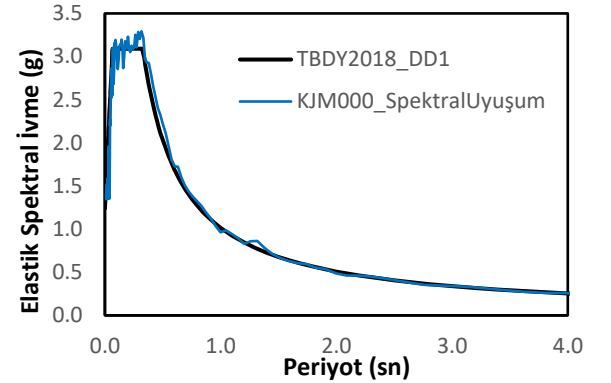
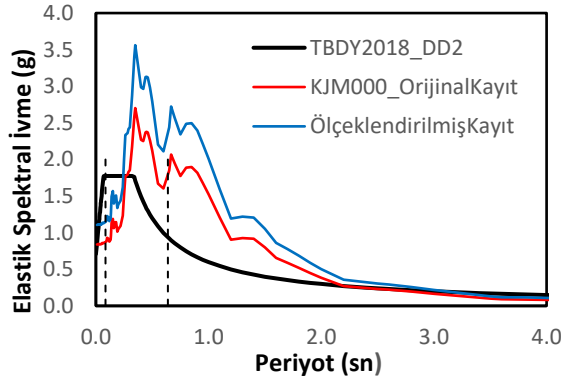
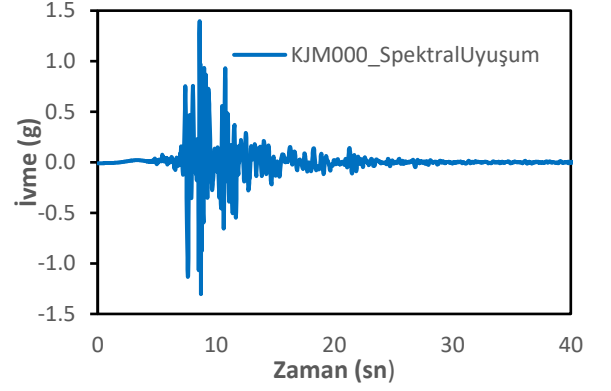
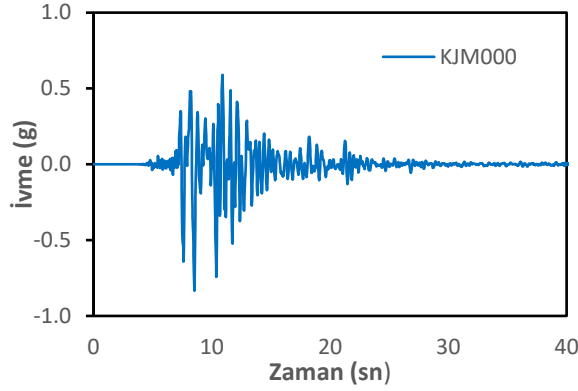
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	40,16	34,43	1,17	67,76	34,43	1,97
2	SHS 200x200x16	7,77	37,15	0,21	0,41	37,15	0,01
1	SHS 220x220x16	83,04	39,48	2,10	123,31	39,48	3,12

Deprem	KOBE
Tarih	17.01.1995
İstasyon	KJMA
Bileşen	KJM000



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	8,92	82,41	0,11	10,30	82,41	0,13
3	SHS 180x180x14.2	24,68	82,41	0,30	4,12	82,41	0,05
2	SHS 200x200x16	328,73	82,41	3,99	43,22	82,41	0,52
1	SHS 220x220x16	63,47	82,41	0,77	37,24	82,41	0,45

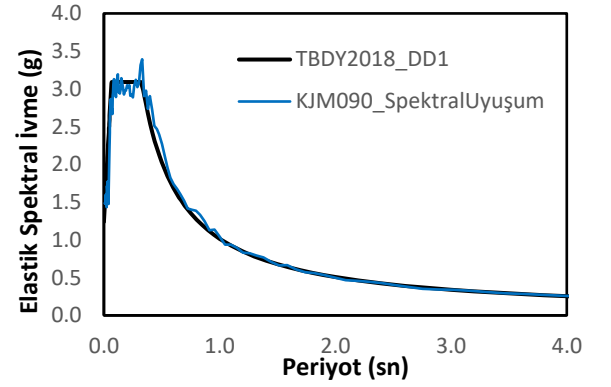
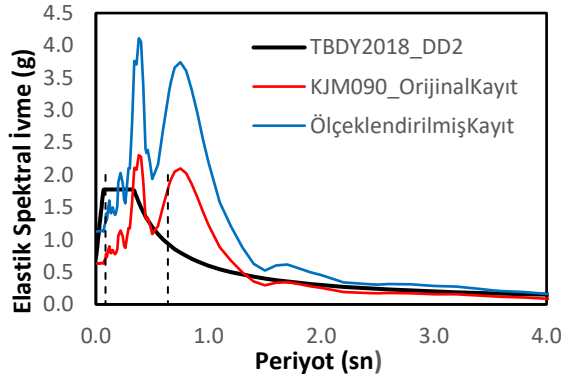
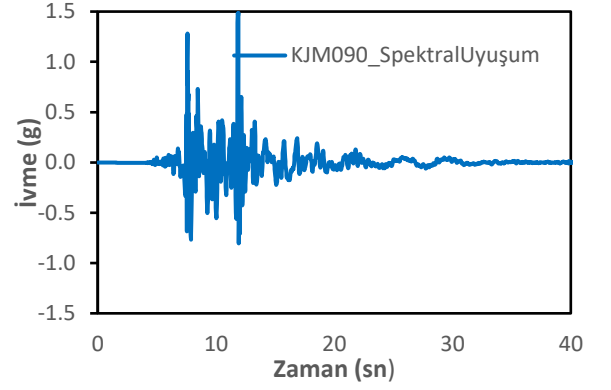
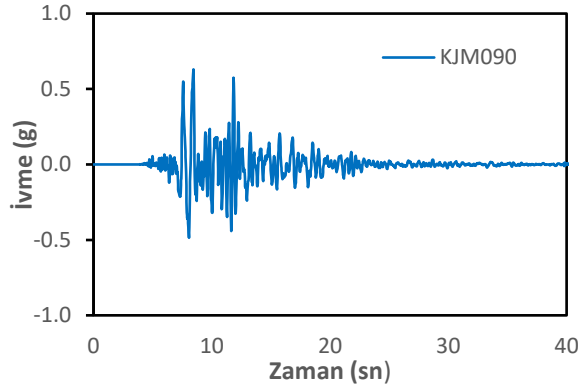
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	57,14	34,43	1,66	39,93	34,43	1,16
2	SHS 200x200x16	0,56	37,15	0,02	59,34	37,15	1,60
1	SHS 220x220x16	326,58	39,48	8,27	59,44	39,48	1,51

Deprem	KOBE
Tarih	17.01.1995
İstasyon	KJMA
Bileşen	KJM090



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	20,34	82,41	0,25	8,93	82,41	0,11
3	SHS 180x180x14.2	23,36	82,41	0,28	25,03	82,41	0,30
2	SHS 200x200x16	62,16	82,41	0,75	41,83	82,41	0,51
1	SHS 220x220x16	40,71	82,41	0,49	20,79	82,41	0,25

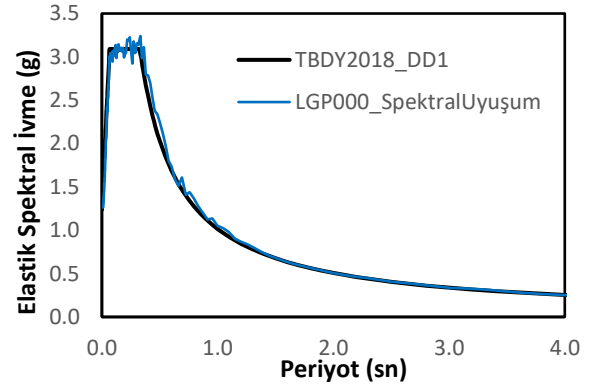
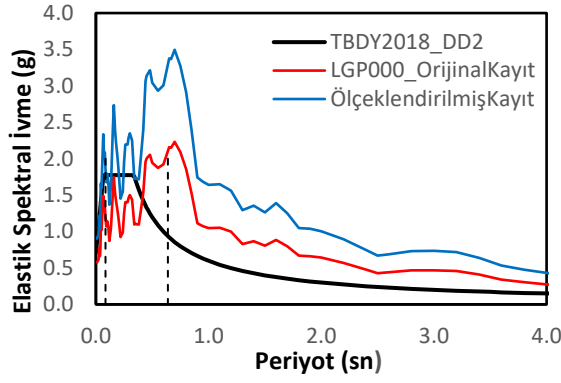
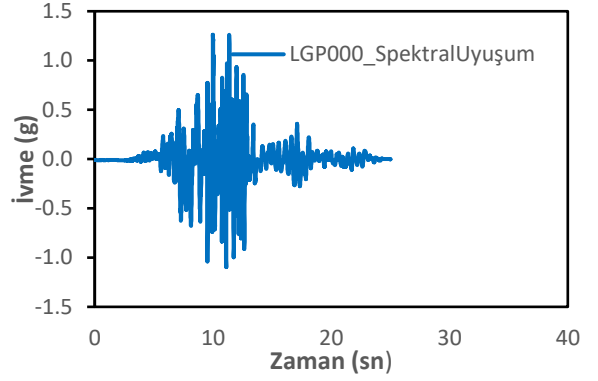
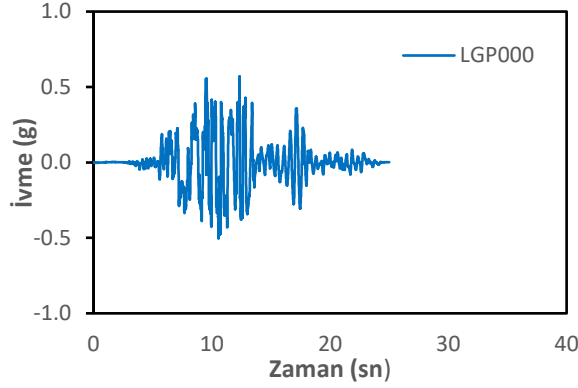
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik	$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	55,96	34,43	1,63	58,44	34,43	1,70
2	SHS 200x200x16	14,37	37,15	0,39	0,00	37,15	0,00
1	SHS 220x220x16	122,60	39,48	3,11	81,54	39,48	2,07

Deprem	LOMA PRIETA
Tarih	17.10.1989
İstasyon	LGPC
Bileşen	LGP000



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	14,53	82,41	0,18	19,71	82,41	0,24
3	SHS 180x180x14.2	12,62	82,41	0,15	19,38	82,41	0,24
2	SHS 200x200x16	60,53	82,41	0,73	44,63	82,41	0,54
1	SHS 220x220x16	46,79	82,41	0,57	18,63	82,41	0,23

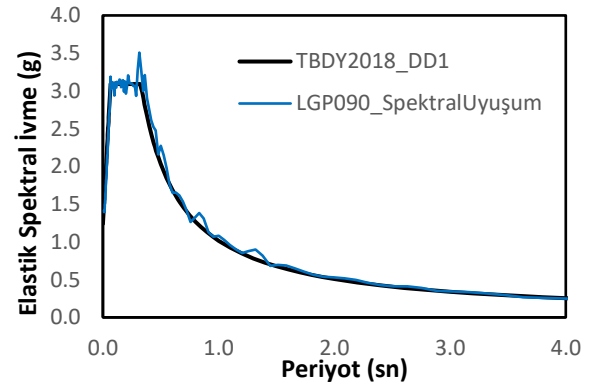
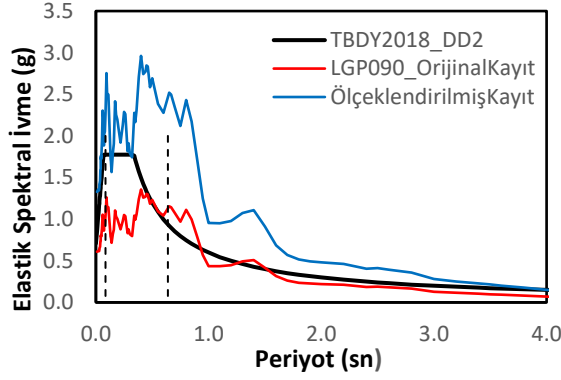
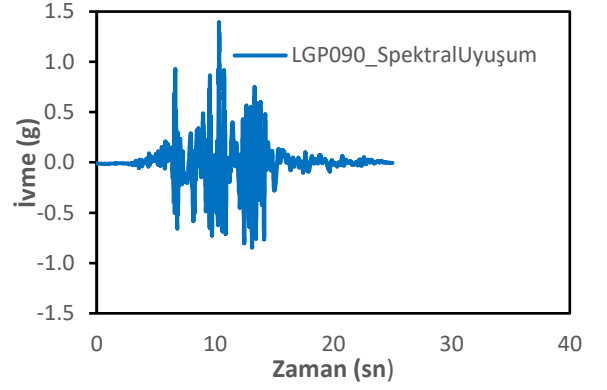
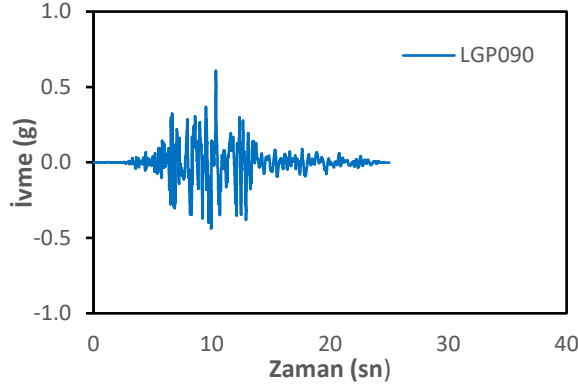
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	42,60	34,43	1,24	51,58	34,43	1,50
2	SHS 200x200x16	58,65	37,15	1,58	31,64	37,15	0,85
1	SHS 220x220x16	123,18	39,48	3,12	70,35	39,48	1,78

Deprem	LOMA PRIETA
Tarih	17.10.1989
İstasyon	LGPC
Bileşen	LGP090



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	7,35	82,41	0,09	11,76	82,41	0,14
3	SHS 180x180x14.2	13,34	82,41	0,16	15,29	82,41	0,19
2	SHS 200x200x16	57,04	82,41	0,69	40,32	82,41	0,49
1	SHS 220x220x16	28,43	82,41	0,34	26,46	82,41	0,32

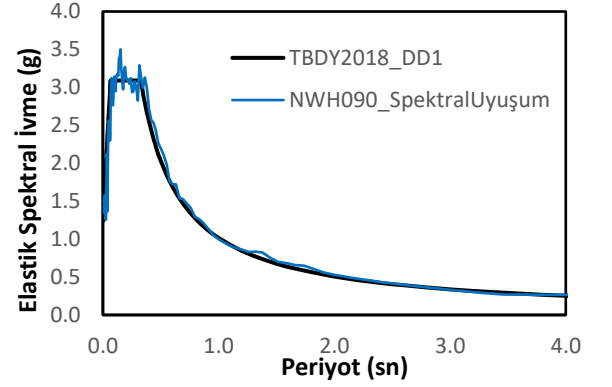
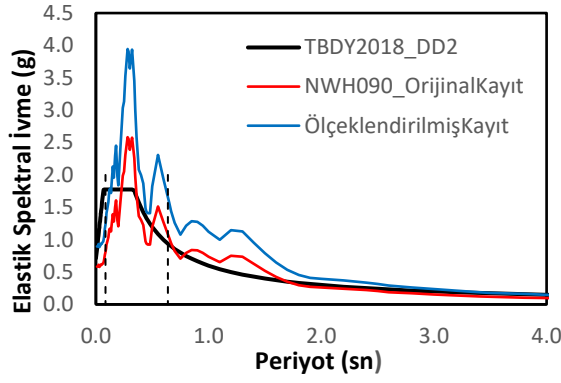
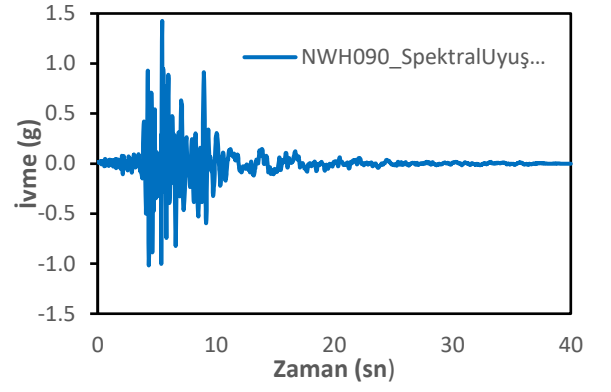
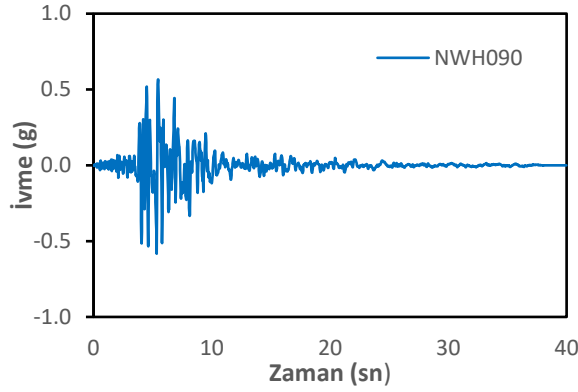
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik	$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	47,83	34,43	1,39	43,09	34,43	1,25
2	SHS 200x200x16	15,57	37,15	0,42	0,44	37,15	0,01
1	SHS 220x220x16	100,92	39,48	2,56	80,54	39,48	2,04

Deprem	NORTHRIDGE
Tarih	17.01.1994
İstasyon	NEWHALL FIRE STA.
Bileşen	NWH090



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	10,93	82,41	0,13	8,73	82,41	0,11
3	SHS 180x180x14.2	15,83	82,41	0,19	13,38	82,41	0,16
2	SHS 200x200x16	47,34	82,41	0,57	70,71	82,41	0,86
1	SHS 220x220x16	22,60	82,41	0,27	39,54	82,41	0,48

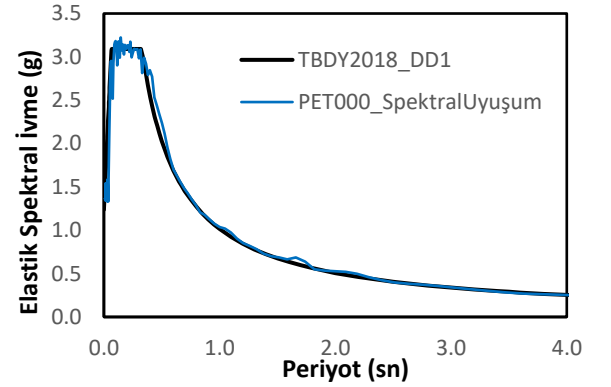
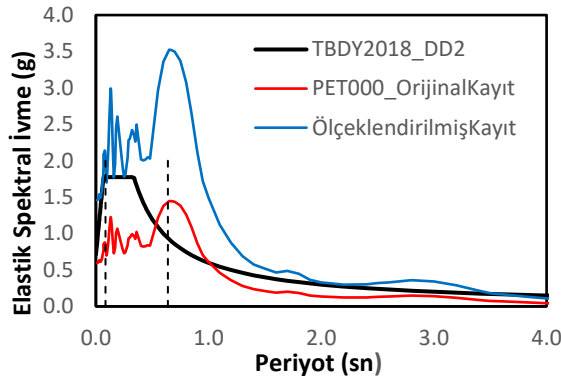
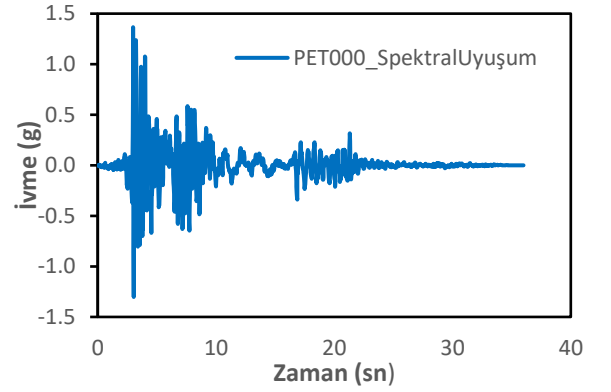
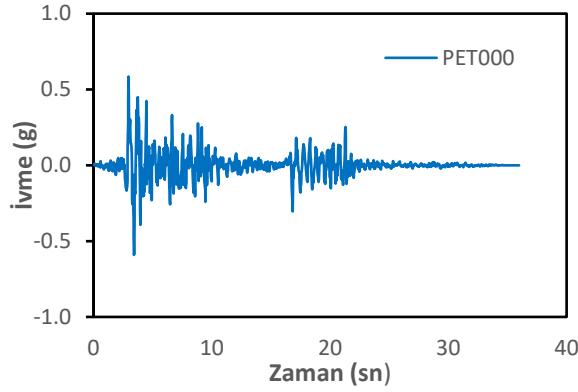
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	44,27	34,43	1,29	49,09	34,43	1,43
2	SHS 200x200x16	0,82	37,15	0,02	1,58	37,15	0,04
1	SHS 220x220x16	97,80	39,48	2,48	130,04	39,48	3,29

Deprem	CAPE MENDOCINO
Tarih	25.04.1992
İstasyon	PETROLIA
Bileşen	PET000



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	5,19	82,41	0,06	6,83	82,41	0,08
3	SHS 180x180x14.2	18,87	82,41	0,23	10,50	82,41	0,13
2	SHS 200x200x16	378,47	82,41	4,59	47,12	82,41	0,57
1	SHS 220x220x16	57,42	82,41	0,70	25,05	82,41	0,30

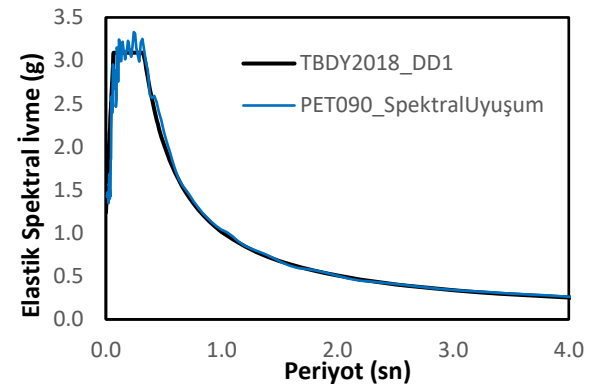
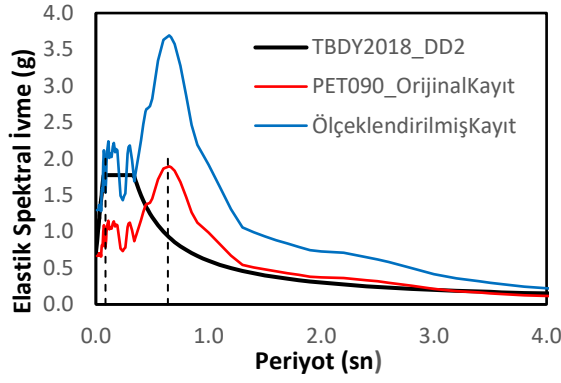
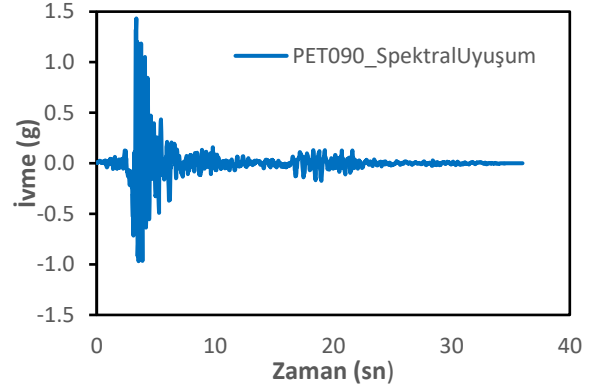
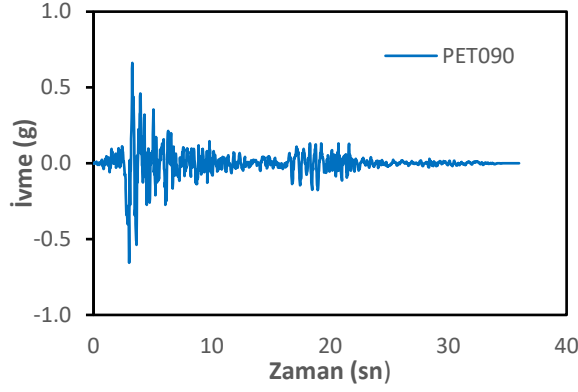
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik	$\Delta_C$ (mm)	$\Delta_C$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	2,24	30,54	0,07
3	SHS 180x180x14.2	48,72	34,43	1,42	40,24	34,43	1,17
2	SHS 200x200x16	0,00	37,15	0,00	0,00	37,15	0,00
1	SHS 220x220x16	348,48	39,48	8,83	91,43	39,48	2,32

Deprem	CAPE MENDOCINO
Tarih	25.04.1992
İstasyon	PETROLIA
Bileşen	PET090



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	6,10	82,41	0,07	8,44	82,41	0,10
3	SHS 180x180x14.2	5,93	82,41	0,07	7,22	82,41	0,09
2	SHS 200x200x16	61,68	82,41	0,75	67,22	82,41	0,82
1	SHS 220x220x16	43,90	82,41	0,53	39,70	82,41	0,48

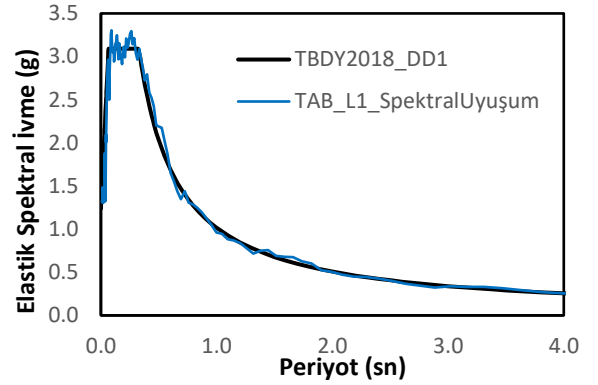
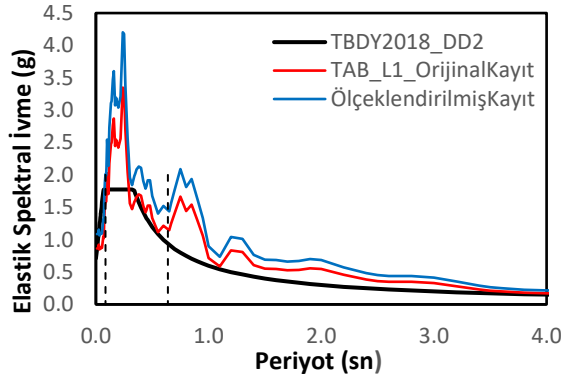
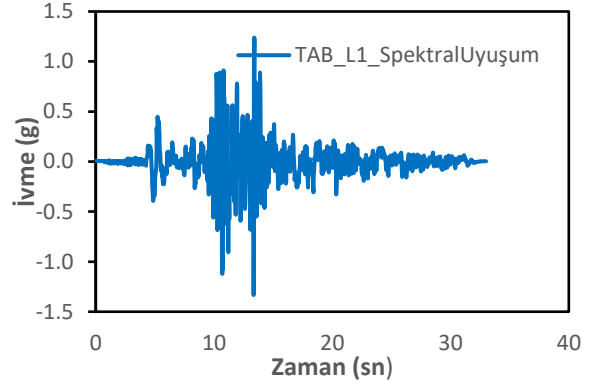
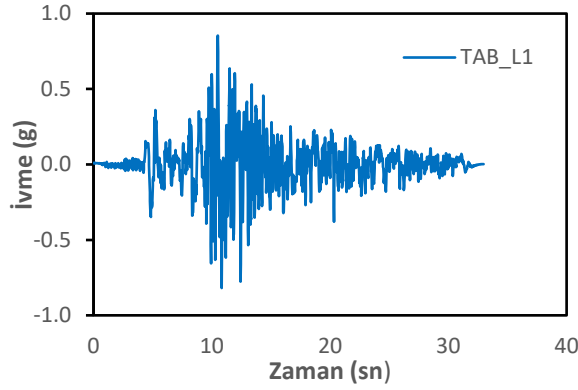
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	35,76	34,43	1,04	40,87	34,43	1,19
2	SHS 200x200x16	7,86	37,15	0,21	0,00	37,15	0,00
1	SHS 220x220x16	124,83	39,48	3,16	126,59	39,48	3,21

Deprem	TABAS
Tarih	16.09.1978
İstasyon	TABAS
Bileşen	TAB_L1 (TAB74)



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	15,28	82,41	0,19	13,81	82,41	0,17
3	SHS 180x180x14.2	12,62	82,41	0,15	9,49	82,41	0,12
2	SHS 200x200x16	24,96	82,41	0,30	35,63	82,41	0,43
1	SHS 220x220x16	21,54	82,41	0,26	23,27	82,41	0,28

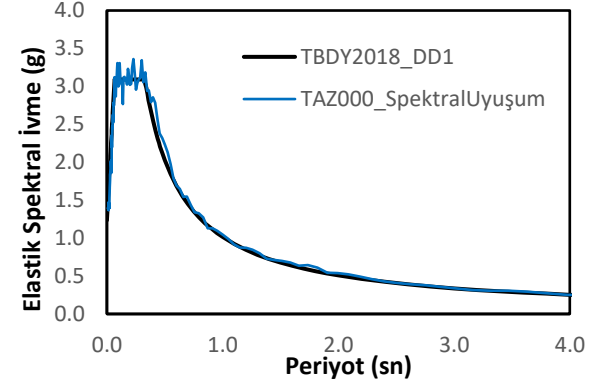
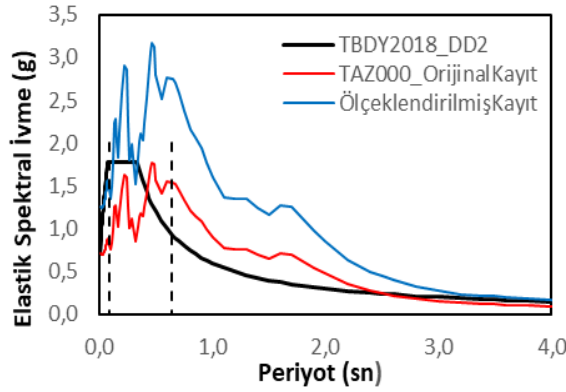
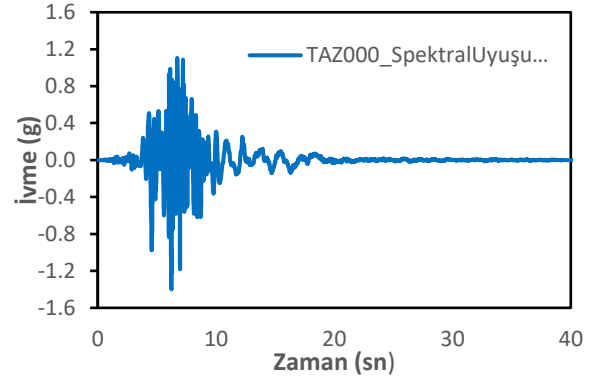
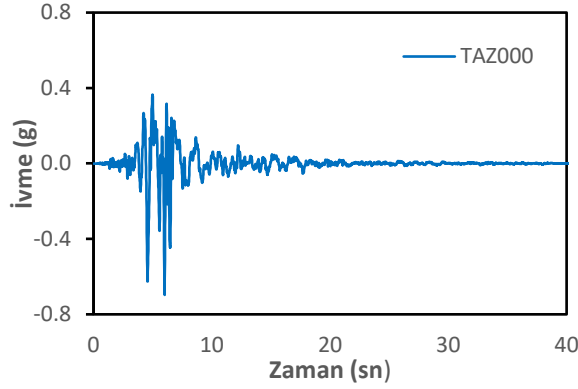
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	48,17	34,43	1,40	46,31	34,43	1,35
2	SHS 200x200x16	38,37	37,15	1,03	45,19	37,15	1,22
1	SHS 220x220x16	47,48	39,48	1,20	45,67	39,48	1,16

Deprem	KOBE
Tarih	17.01.1995
İstasyon	TAKARAZUKA
Bileşen	TAZ000



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	$\Delta_T$ (mm)			Süneklik Talebi	$\Delta_T$ (mm)		
		SAP2000	TBDY2018			SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	1,53	82,41	0,02	10,69	82,41	0,13	
3	SHS 180x180x14.2	2,72	82,41	0,03	10,50	82,41	0,13	
2	SHS 200x200x16	132,90	82,41	1,61	20,21	82,41	0,25	
1	SHS 220x220x16	50,03	82,41	0,61	13,69	82,41	0,17	

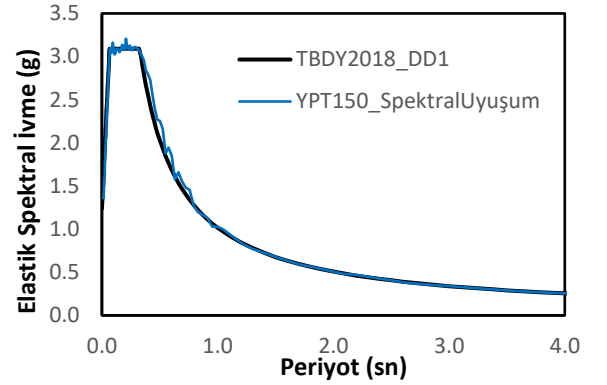
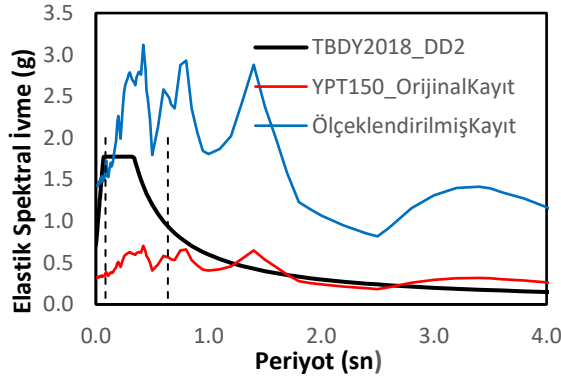
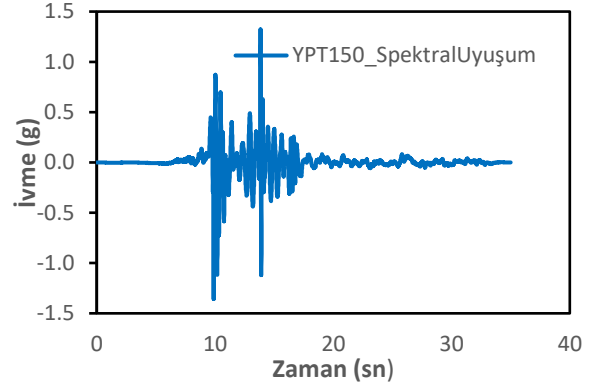
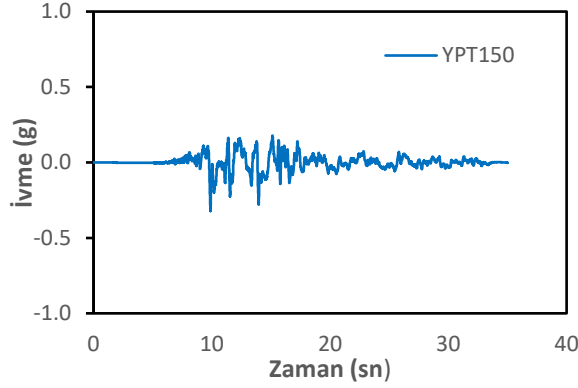
#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	$\Delta_c$ (mm)			Süneklik Talebi	$\Delta_c$ (mm)		
		SAP2000	TBDY2018			SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00	
3	SHS 180x180x14.2	30,17	34,43	0,88	40,95	34,43	1,19	
2	SHS 200x200x16	38,43	37,15	1,03	42,49	37,15	1,14	
1	SHS 220x220x16	140,78	39,48	3,57	48,07	39,48	1,22	

Deprem	KOCAELİ
Tarih	17.08.1999
İstasyon	YARIMCA
Bileşen	YPT150



#### Çekme Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik	$\Delta_T$ (mm)	$\Delta_T$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	5,09	82,41	0,06	11,20	82,41	0,14
3	SHS 180x180x14.2	11,04	82,41	0,13	24,50	82,41	0,30
2	SHS 200x200x16	584,77	82,41	7,10	69,32	82,41	0,84
1	SHS 220x220x16	62,28	82,41	0,76	33,51	82,41	0,41

#### Basınç Altında

#### Basit Ölçeklendirme

#### Spektral Uyuşum

Kat	Çapraz Kesiti	Basit Ölçeklendirme			Spektral Uyuşum		
		$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik	$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_c$ (mm)	Süneklik
		SAP2000	TBDY2018	Talebi	SAP2000	TBDY2018	Talebi
4	SHS 160x160x14.2	0,00	30,54	0,00	0,00	30,54	0,00
3	SHS 180x180x14.2	39,72	34,43	1,15	59,69	34,43	1,73
2	SHS 200x200x16	0,00	37,15	0,00	0,00	37,15	0,00
1	SHS 220x220x16	548,43	39,48	13,89	124,19	39,48	3,15