



T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**YAN LEVHALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN TEK  
KATLI VE ÇOK AÇIKLIKLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN  
DEPREM DAVRANIŞLARINA KATKILARININ DOĞRUSAL  
OLMAYAN ZAMAN-TANIM ALANINDA ANALİZ  
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

**SERDAR AKÇA**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN  
Prof. Dr. İlker KALKAN**

**KIRIKKALE 2023**









**T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**YAN LEVHALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN TEK  
KATLI VE ÇOK AÇIKLIKLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN  
DEPREM DAVRANIŞLARINA KATKILARININ DOĞRUSAL  
OLMAYAN ZAMAN-TANIM ALANINDA ANALİZ  
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

**SERDAR AKÇA**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN  
Prof. Dr. İlker KALKAN**

**KIRIKKALE 2023**

Serdar AKÇA tarafından hazırlanan “YAN LEVHALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN TEK KATLI VE ÇOK AÇIKLIKLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN DEPREM DAVRANIŞLARINA KATKILARININ DOĞRUSAL OLMAYAN ZAMAN-TANIM ALANINDA ANALİZ YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. İlker KALKAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

İmza

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Doç. Dr. Ceyhun AKSOYLU

İmza

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Saruhan KARTAL

İmza

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 11/02/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Serdar AKÇA

11.02.2023

## ÖZET

### YAN LEVHALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN TEK KATLI VE GENİŞ AÇIKLIKLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN DEPREM DAVRANIŞLARINA KATKILARININ DOĞRUSAL OLMAYAN ZAMAN-TANIM ALANINDA ANALİZ YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,

Yüksek Lisans Tezi

Danışmanı: Prof. Dr. İlker KALKAN

Ocak 2023, 52 sayfa

Bu çalışma, yeni nesil yan levhalı kolon-kiriş birleşimlerinin tek katlı ve bir doğrultuda çok açıklıklı moment-aktaran çelik çerçevelerin deprem davranışlarına etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Klasik guseli ve alın levhalı birleşim detayı ile yan levhalı birleşim detayına sahip iki çerçeve modelinin zaman-tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş üç adet deprem kaydı (1990 Manjil, 1995 Kobe, 1999 Hector Mine) kullanılmıştır. Bu deprem kayıtlarının her birinin şiddetleri ve yapı üzerindeki etkilerinin artırılması için, farklı deprem tekrarlanma periyodu (2475, 4950, 9900, 12375, 14850, 17325, 19800, 22275, 24750, 27225, 29700, 32175 yıl) değerlerine göre düzenlemeler yapılmıştır. Bu sayede, tek katlı depo, antrepo veya üretim tesisi gibi özel çelik yapısal sistemlerin göçmeye ulaşacakları deprem seviyeleri tespit edilmiş ve yan levhalı birleşim detayının çerçeve davranışına etkileri ortaya konulmuştur. Yapının yer aldığı konumdaki zemin sınıfı, ZD olduğu varsayılmıştır.

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ortaya çıkması muhtemel plastik mafsalların tanımlanmasında kolon ucu plastik dönme sınırı, kiriş ucu plastik dönme sınırı ve birleşim dönme sınırı ölçütlerinden tamamı dikkate alınmıştır. Her iki birleşim çeşidi için de birleşim bölgesi dönme sınırı daha kritik sonuçlar verdiği için, birleşimlerdeki kapasite tükenmesinin bu sınırın etkisiyle ortaya çıktığı varsayılmıştır.

Deprem analizleri, tek katlı çerçevelerde ortaya çıkan plastik mafsalların kat seviyesinin altında olmasından dolayı, kolon-kiriş birleşim bölgesinde yapılan



iyileştirmelerin etkisiz kaldığını göstermiştir. Buna göre, her iki birleşim tipine sahip çerçevede de aynı deprem hareketinin birleşim göçmesine neden olan tekrarlanma periyodu değerleri aynıdır. Kolon uçlarında ortaya çıkan plastik mafsallaşmalar, birleşim güçlendirmesinin etkinliğine engel olmuştur. Ayrıca, analizler sonucu, kısa süreli depremlerin, doğal titreşim periyodu değerleri nispeten düşük olan tek katlı çerçeveler üzerinde daha yıkıcı etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Yatay kat ötelenmelerinin zamana bağlı değişimleri incelendiğinde kısa süreli deprem hareketleri ile kısa süreli yapı salınımlarının rezonans benzeri ilişkisinin bu yıkıcı etkiye sebep olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Moment aktaran ereve, doğrusal olmayan analiz, zaman-tanım alanında deprem analizi, moment-dönme ilişkisi, ölçeklendirilmiş deprem kaydı, kolon-kiriş birleşimi.



# ABSTRACT

## INVESTIGATION OF THE CONTRIBUTION OF SIDE-PLATE BEAM-COLUMN CONNECTION TO THE SEISMIC BEHAVIOR OF SINGLE-STORY MULTI-SPAN STEEL FRAMES WITH THE HELP OF NONLINEAR TIME-HISTORY ANALYSIS METHOD

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İlker KALKAN

January 2023, 52 pages

The present study aimed at investigating the contribution of the new side-plated beam-column connection detail to the seismic behavior of single-story moment frames with multiple spans in one direction. Within this respect, a steel moment frame model with conventional end plate and side-plate types of beam-column connections were analyzed with the help of the nonlinear time-history analysis method. In these analyses, three seismic records (Manjil 1990, Kobe 1995, Hector Mine 1999), scaled to match the design acceleration spectrum of the Turkish Building Earthquake Code (TBEC) 2018 were used. The seismic records were adjusted according to the earthquake return period value (2475, 4950, 9900, 12375, 14850, 17325, 19800, 22275, 24750, 27225, 29700, 32175 years) to enhance the intensity and influence of the seismic movements. In this way, the seismic intensities, under which the steel frames are subject to failure, and the contribution of the SidePlate connections to frame behavior were tried to be set forth. The soil type for the location of the analyzed structure was assumed to be ZD.

In the definition of the plastic hinges at the beam-column connections, the plastic rotation limits of the column end, plastic rotation limits at the beam end and the tolerable rotation values of the beam-column connection were taken into account. For both types of connections, the tolerable rotation limits of the connections governed the plastic hinge definitions.

The seismic analyses indicated that the improvements in the beam-column connection regions cease to be effective due to the formation of plastic hinges below the floor level. In this respect, the return period values for the two frames with different types of beam-column connections are identical for each seismic record. The plastic hinging

at the column ends prevented the efficiency of the beam-column connection region strengthening. Furthermore, the seismic records with shorter durations proved to be more influential on the single-story structures, which are known to possess lower natural vibration period values. Examining the variation of the lateral story drift values over time indicates that the short seismic movements become resonant with the frequent natural vibrations of the structure, exacerbating the devastating effects of the seismic movement.

**Key Words:** Moment resisting frame, nonlinear analysis, time-history earthquake analysis, moment-rotation relationship, scaled seismic record, beam-column connection



## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sürecinde desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. İlker Kalkan'a, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım, gösterdiği değerli rehberlik ve yardımları için saygıdeğer hocam Dr. Şamil Şeref Polat'a, çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen arkadaşım İnş. Müh. Yasin Coşku Şentürk'e ve çalışmalarım süresince gerekli tüm kolaylıkları gösteren müdürüm Selçuk Sezer'e teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili eşim Reyhan'a, bitmek bilmeyen çalışmalarım boyunca daha da gelişen sonsuz sabrı, sevgisi ve desteği için minnettarlığımı ifade etmek isterim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....</b>	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>x</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>xi</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Çelik Çerçeve Sistemleri.....	4
1.2. MF Sistem Kolon-Kiriş Bağlantıları.....	8
1.3. Kaynak Özetleri .....	12
1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	14
<b>2. MATERYAL VE METOD.....</b>	<b>15</b>
2.1. Yapısal Model.....	15
2.1.1. Çerçeve Özellikleri.....	15
2.1.2. Birleşim Özellikleri.....	18
2.2. Deprem Kayıtları .....	23
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>32</b>
3.1. Kolon-Kiriş Birleşimlerindeki Dönme Açılı ve Zorlanmalar .....	32
3.2. Kat Yatay Yer Değiştirmeleri .....	42
3.3. Bulgular.....	45
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>47</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>49</b>

# ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
<b>2.1.</b> HC ve SPC birleşimlerde dönme sınırları.....	21
<b>2.2.</b> Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri .....	24
<b>3.1.</b> HC ve SPC birleşimli çerçevelerde birleşim göçmesinin meydana geldiği dönüş periyodu değerleri .....	46



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Elastik ötesi deprem tasarımı esasları .....	5
1.2. (a) OCBF ve SCBF; (b) EBF sistemler için geometrik çapraz düzenlemeleri .....	7
1.3. BRBF sistemler için çapraz düzenleri.....	8
1.4. HC birleşim örneği.....	10
1.5. Farklı kolon-kiriş bağlantı türlerinin moment-dönme ilişkileri .....	10
1.6. SPC kolon-kiriş bağlantısı .....	11
2.1. Analizlerde kullanılan çerçeve modeli.....	16
2.2. Çerçeve kat planı.....	17
2.3. Çerçeve elemanlarının kesitleri.....	18
2.4. Analizlerde kullanılan kolon-kiriş birleşim çeşitleri: (a) HC; (b) SPC.....	19
2.5. HC birleşim boyutları ve özellikleri: (a) boy kesit; (b) en kesit; (c) üst görünüş (AISC, 2016a).....	19
2.6. SPC birleşim boyutları ve özellikleri: (a) boy kesit; (b) en kesit; (c) üst görünüş (AISC, 2016a).....	20
2.7. HC birleşim mafsalları tanımı .....	22
2.8. SPC birleşim mafsalları tanımı.....	23
2.9. 1999 Hector Mine depremine uygulanan ölçeklendirme işlemi .....	25
2.10. 1990 Manjil depremine uygulanan ölçeklendirme işlemi.....	26
2.11. 1995 Kobe depremine uygulanan ölçeklendirme işlemi.....	27
2.12. 1999 Hector Mine depremine ait ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş değerler .....	28
2.13. 1990 Manjil depremine ait ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş değerler ..	29
2.14. 1995 Kobe depremine ait ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş değerler ....	30
2.15. Ölçeklendirme işleminde kullanılan kayıtların tümü.....	31
3.1. 1999 Hector Mine deprem kaydının 2475 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	33

<b>3.2.</b> 1999 Hector Mine deprem kaydının 4950 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	34
<b>3.3.</b> 1999 Hector Mine deprem kaydının 9900 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	34
<b>3.4.</b> 1999 Hector Mine deprem kaydının 12375 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	34
<b>3.5.</b> 1999 Hector Mine deprem kaydının 14850 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	35
<b>3.6.</b> 1999 Hector Mine deprem kaydının 17325 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	35
<b>3.7.</b> 1999 Hector Mine deprem kaydının 19800 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	35
<b>3.8.</b> 1999 Hector Mine deprem kaydının 22275 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	36
<b>3.9.</b> 1990 Manjil deprem kaydının 2475 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	36
<b>3.10.</b> 1990 Manjil deprem kaydının 4950 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	36
<b>3.11.</b> 1990 Manjil deprem kaydının 9900 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	37
<b>3.12.</b> 1990 Manjil deprem kaydının 12375 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	37
<b>3.13.</b> 1990 Manjil deprem kaydının 14850 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	37
<b>3.14.</b> 1990 Manjil deprem kaydının 17325 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	38
<b>3.15.</b> 1990 Manjil deprem kaydının 19800 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	38
<b>3.16.</b> 1990 Manjil deprem kaydının 22275 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	38
<b>3.17.</b> 1990 Manjil deprem kaydının 24750 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	39
<b>3.18.</b> 1990 Manjil deprem kaydının 27225 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	39



<b>3.19.</b> 1995 Kobe deprem kaydının 2475 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	39
<b>3.20.</b> 1995 Kobe deprem kaydının 4950 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	40
<b>3.21.</b> 1995 Kobe deprem kaydının 9900 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	40
<b>3.22.</b> 1995 Kobe deprem kaydının 12375 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	40
<b>3.23.</b> 1995 Kobe deprem kaydının 14850 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	41
<b>3.24.</b> 1995 Kobe deprem kaydının 17325 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	41
<b>3.25.</b> 1995 Kobe deprem kaydının 19800 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu .....	41
<b>3.26.</b> Yanal ötelenmesi incelenen düğüm noktası .....	42
<b>3.27.</b> 1998 Hector Mine depreminin x doğrultusundaki kaydı için (a) 2475 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (b) 2475 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (c) 4950 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (d) 4950 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (e) 9900 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (f) 9900 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (g) 22275 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 22275 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri.....	43
<b>3.28.</b> 1990 Manjil depreminin x doğrultusundaki kaydı için (a) 2475 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (b) 2475 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (c) 4950 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (d) 4950 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (e) 9900 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (f) 9900 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (g) 27225 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 27225 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri .....	44

**3.29.** 1995 Kobe depreminin x doğrultusundaki kaydı için (a) 2475 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (b) 2475 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (c) 4950 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (d) 4950 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (e) 9900 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (f) 9900 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (g) 19800 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 19800 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri ..... 45



# SİMGELER VE KISALTMALAR

## SİMGELER DİZİNİ

$\theta_y$	Kiriş akma dönme açısı
$\delta$	Kat yanal ötelenmesi

## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>BF</b>	Çaprazlı çelik çerçeve
<b>BRBF</b>	Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve
<b>CFST</b>	Beton dolgulu çelik boru profil kolon
<b>DD-1</b>	50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem düzeyi
<b>EBF</b>	Dışmerkezi çaprazlı çelik çerçeve
<b>HC</b>	Geleneksel alın levhalı kolon-kiriş birleşimi
<b>IMF</b>	Süneklik düzeyi orta moment aktaran çelik çerçeve
<b>MF</b>	Moment aktaran çelik çerçeve
<b>OCBF</b>	Süneklik düzeyi sınırlı merkezi çaprazlı çelik çerçeve
<b>OMF</b>	Süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik çerçeve
<b>PGA</b>	En büyük yer ivmesi
<b>SCBF</b>	Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeve
<b>SMF</b>	Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeve
<b>SPC</b>	Yan levhalı kolon-kiriş birleşimi



# 1. GİRİŞ

Çelik, sağlamlığı ve dayanıklılığı nedeniyle çeşitli yapıların taşıyıcı sistemlerinde sıklıkla tercih edilen bir malzemedir. Ancak çelik yapısal sistemler, özellikle uygun şekilde tasarlanmamış ve inşa edilmemişlerse, depremlerde hasar görme olasılıkları yüksek taşıyıcı sistemlerdir. Çelik bir yapının deprem davranışını belirleyen en önemli etkenler, kullanılan sistemin türü, tasarımın doğruluğu ve inşaatın kalitesidir. Depreme dayanıklı bir çelik yapı tasarlamak için aşağıdaki hususların öncelikle göz önüne alınması gerekir:

- Yapının yer aldığı konumun depremselliği: Yapının konumunun aktif faylara yakınlığı ve bu fayların daha önce neden olduğu depremlerin şiddeti, yapı tasarımında dikkate alınması gereken en önemli ölçütlerden biridir. Özellikle, 1. ve 2. deprem bölgelerinde inşa edilecek yapıların taşıyıcı sistem tasarımlarında en belirleyici yükleme, deprem yüklemesidir.
- Yapısal sistem seçimi ve yapı tasarımı: Tasarımda esas alınan yapısal sistem çeşidi, yapının deprem davranışını belirleyen en önemli unsurlardan biridir. Örneğin, yapısal sistemde çaprazların bulunması ve çaprazların yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olması, deprem ve rüzgar yükleri altında daha stabil ve rijit bir yapısal sistem ortaya çıkarır.
- Yapım kalitesi: Bir çelik yapının depreme karşı dayanıklı olmasını sağlamak için uygun inşaat teknikleri ve malzemeleri şarttır. Örneğin, yüksek kaliteli kaynak ve cıvataların kullanılması, yapının farklı bölümleri arasındaki bağlantıların güçlendirilmesine ve yapının genel stabilitesinin artırılmasına yardımcı olabilir.
- Yapısal çelik türü: Farklı çelik türleri, farklı malzeme özelliklerine ve dayanım değerlerine sahiptir ve kullanılan çelik türü bir yapının depreme karşı dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Yüksek mukavemetli çelik, mukavemeti ve dayanıklılığı nedeniyle depreme dayanıklı yapılarda sıklıkla kullanılır.

Çelik çerçeve sistemleri, iş yeri ve konut tipi yapılarda sıklıkla tercih edilir. Çerçeve iskeleti, düşey taşıyıcılar (kolonlar) ve yatay taşıyıcılardan (kirişlerden) oluşur. Bu elemanlar arasındaki çerçeve boşlukları ise, beton, tuğla ve ahşap gibi diğer yapısal malzemelerle teşkil edilen ikincil sistem elemanları (tabliye) ile yapısal olmayan elemanlarla (dolgu duvar) doldurulur.

Çelik çerçeve sistemlerin depreme karşı dayanıklı hale getirilmesinde başvurulabilecek farklı yapısal detaylandırmalar ve uygulamaları şu şekilde listelemek mümkündür:

- Taban İzolasyonu: Deprem sırasında binanın maruz kaldığı sarsıntı miktarını azaltmaya yardımcı olabilecek esnek bağlantılar veya rulmanlar kullanarak binayı zeminden ayırma işlemidir.
- Yapısal Sönümleme: Yapının deprem sarsıntısını azaltmak ve deprem enerjisini sönümlemek üzere tasarlanmış özel cihazların kullanıldığı bir işlemdir.
- Sistem Destekleme: Sarsıntıya karşı yapı stabilitesini ve direncini artırmak için çelik çerçeveye çapraz destek elemanları ekleme işlemidir.
- Özel Bağlantı Detayları Kullanımı: Çelik çerçevenin farklı parçalarının bağlanma şekli, depreme dayanıklılığı üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir. Yüksek kaliteli kaynak ve cıvataların kullanılması, bağlantıların güçlendirilmesine ve yapının stabilitesinin artırılmasına yardımcı olabilir.
- Malzeme Kalitesini Arttırma: Yüksek kaliteli çelik ve diğer malzemelerin kullanılması da bir çelik çerçeve sisteminin depreme dayanıklılığını arttırmaya yardımcı olabilir. Ayrıca, kolon-kiriş birleşimlerinde hafızalı malzemeler kullanılarak, bu bölgelerdeki enerjinin bağlantılara zarar vermeden sönümlenmesi sağlanabilir.

Hiçbir yapısal sistem deprem hareketine karşı mutlak dirençli ve dayanıklı olmasa da yukarıda belirtilen tasarım unsurlarını ve inşaat tekniklerini bir araya getirerek hasar riskini önemli ölçüde azaltmak ve çelik iskeletli bir binanın depreme dayanma şansını arttırmak mümkündür.

Yapısal sistemlerin deprem davranışlarını belirleyen üç önemli davranış ölçütü vardır:

- Yük Taşıma Kapasitesi: Yapısal sistem, sistem elemanları ve bağlantılar, yapının maruz kalacağı yükleri göçmeye ulaşmadan taşıyabilecek ölçüde dayanıma sahip

olmalıdır.

- Rijitlik: Yapısal sistem, sistem elemanları ve bağlantılar, yük etkileri altında büyük şekil değiştirmelere uğramayacak şekilde tasarlanmalıdır. Yani, şekil değiştirme miktarları sınırlandırılmalıdır.
- Süneklik ve Enerji Sönümlenme Kapasitesi: Yapısal sistem, sistem elemanları ve eleman bağlantıları, yük taşımaya devam ederken deforme olarak deprem enerjisi tüketme yeteneğine sahip olmalıdır.

Bu ölçütleri sağlamasının yanı sıra ekonomik olan çelik yapısal sistemlerin tasarlanması için başvuru en önemli tasarım şekillerinden biri, elasto-plastik tasarımdır. Elasto-plastik tasarım, yapının çelik elemanlarında plastik deformasyonların ortaya çıkmasına izin veren tasarım şeklidir. Yapı elemanlarının plastik deformasyon yapabilme kabiliyeti, yük taşıma kapasitelerini yitirmeden belirli kalıcı deformasyonlara dayanabilecek şekilde tasarlandıkları anlamına gelir. Elasto-plastik tasarım genellikle, depremselliği yüksek bölgelerde yer alan ve tekrarlanan yüklere maruz kalan yapıların tasarımında kullanılır. Elasto-plastik tasarımda çelik elemanlar, plastik şekil değiştirmeleri tolere edecek derecede sünek olarak tasarlanır. Bu bağlamda, elastoplastik tasarım genellikle elastik tasarıma göre daha avantajlı ve ekonomik olarak kabul edilir. Elastoplastik tasarımın başlıca avantajlarını aşağıdaki şekilde listelemek mümkündür:

- Çelik yapı elemanlarının dayanım ve stabiliteyi tamamen yitirmeden, belirli miktarlarda plastik deformasyon yapmasına izin verir. Bu durum, tersinir tekrarlanır deprem yüklerinin etkisindeki yapısal sistemlerin uzun süre ayakta kalarak deforme olabilmesine olanak tanır.
- Plastik mafsallar önemli miktarlarda deprem enerjisi tüketme kabiliyetine sahiptir. Bu durum, deprem enerjisinin sönümlenmesi esnasında yapının göçmeden ayakta kalmasını sağlar.
- Elastik tasarıma göre daha ince ve küçük boyutlu elemanların mümkün kıldığı için, daha geniş bir yapısal sistem yelpazesi ile daha kullanışlı ve estetik mimari tasarımlara imkan tanır.
- Elasto-plastik tasarım, malzeme ve inşaat maliyetlerini artırabilecek özel şartlar gerektirse de, depremden etkilenen yapıların sayısını ve yapısal sistemdeki

malzeme miktarlarını azalttığı için ülke ekonomisine katkılarda bulunur.

Elasto-plastik tasarımdaki en temel kavram plastik mafsaldır. Plastik mafsal, bir yapı elemanının (kiriş veya kolon gibi) eğilme momenti kapasitesinin aşıldığı noktalarda ortaya çıktığı varsayılan ve dönmeyi serbest bırakan kalıcı deformasyon bölgelerine verilen isimdir. Plastik bir mafsalın oluşması, elemanın akma noktasına (elemanın plastik olarak deforme olmaya başladığı nokta) ulaştığını ve yük kaldırıldığında ilk şekline geri dönmeyeceğini gösterir. Plastik mafsallar, depreme dayanıklı çelik yapısal sistem tasarımda sıklıkla kullanılır, çünkü yapının bozulmadan deforme olmasına ve enerjiyi sönmülmesine izin verirler. Bir çelik yapıdaki plastik mafsalların konumlarını ve sayısını dikkatlice kontrol ederek, yapının yük altındaki performansını optimize etmek ve sismik direncini artırmak mümkündür.

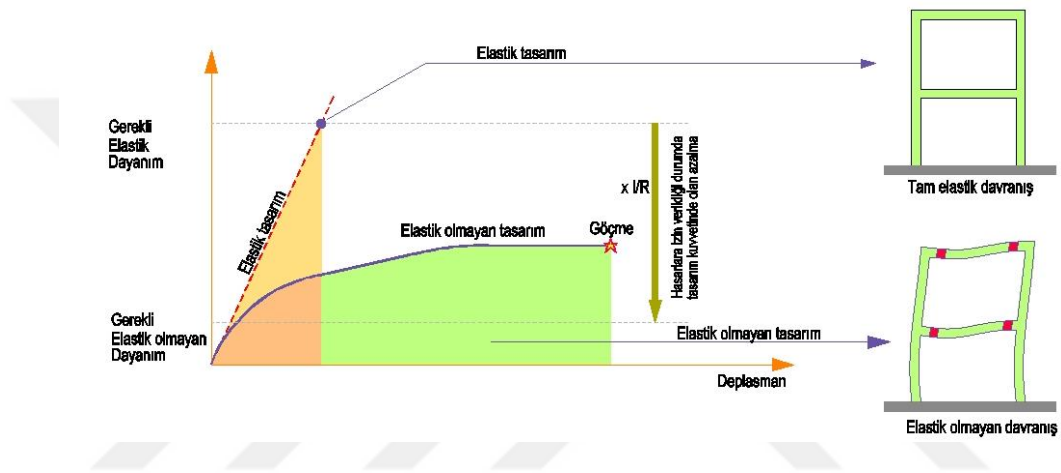
Çelik elemanlarda plastik mafsalların oluşması, çelik bir yapının davranışı üzerinde bir dizi etkiye sahip olabilir. Örneğin, plastik mafsallar yapının enerji sönmülmesine ve göçmeden deforme olmasına izin verir. Bu sayede, yapıların sismik performansı önemli ölçüde atar. Elasto-plastik tasarım ilkelerinin ve plastik mafsal oluşumlarının doğru bir şekilde anlaşılabilmesi için, çelik çerçeve sistemlerinin ve bu sistemlerdeki kolon-kiriş bağlantılarının doğru bir şekilde anlaşılması büyük önem taşır.

## 1.1. Çelik Çerçeve Sistemleri

Çelik yapısal sistemlerin yanal yükler altındaki davranışları, deprem ve rüzgar etkileriyle ortaya çıkan kesme kuvvetleri ve eğilme momentlerinin yapı içerisindeki iletim mekanizması ile yakından ilişkilidir. Bu bağlamda, çelik çerçeveleri moment-aktaran (MF) ve çaprazlı çerçeveler (BF) olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür. Amerikan Çelik Yapı Enstitüsü (American Institute of Steel Construction) tarafından hazırlanmış ANSI/AISC 341-16 (AISC, 2016b) standardı, MF çerçeveleri süneklik düzeyi yüksek (SMF), orta (IMF) ve sınırlı (OMF) olarak üç gruba ayırmaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (ÇŞB, 2018) ise yalnızca SMF ve OMF sistem detayları mevcuttur. sadece süneklik düzeyi sınırlı ve yüksek moment aktaran çelik çerçeveleri içermektedir. MF sistemlerde kat seviyelerine etki eden deprem kuvvetleri, moment aktaran kiriş-kolon bağlantıları yardımıyla kolonlara ve kirişlere aktarılır. Yapısal sistemin deprem davranışları, düşey taşıyıcıların (kolonların) rijitlikleri ve dayanımları ile yakından ilintilidir. Ayrıca, deprem tesirleri



altında yapının şekil değiştirme ve ötelenme kapasitesi, kolon-kiriş birleşimlerinin süneklikleri ile ilişkilidir. Bu sebeple, süneklik düzeyi farklı MF çerçeveleri birbirinden ayıran en önemli ölçüt ve tasarım esası, kolon-kiriş birleşimlerin plastik dönme yapabilme kabiliyeti ve kapasitesidir. Bu kabiliyet ve kapasite, yapının deprem enerjisi sönümlenme kapasitesini de belirleyen en önemli ölçüttür. Bu birleşimler plastik deformasyonlara hangi ölçüde izin veriyorsa, yapısal sistem doğrusal ve elastik ötesi davranış ve deformasyonları o ölçüde tolere eder. Bu tolerans, deprem yüküne elastik ötesi davranış sayesinde hangi ölçüde azaltma uygulanabileceğini de ortaya koyar (Şekil 1.1).



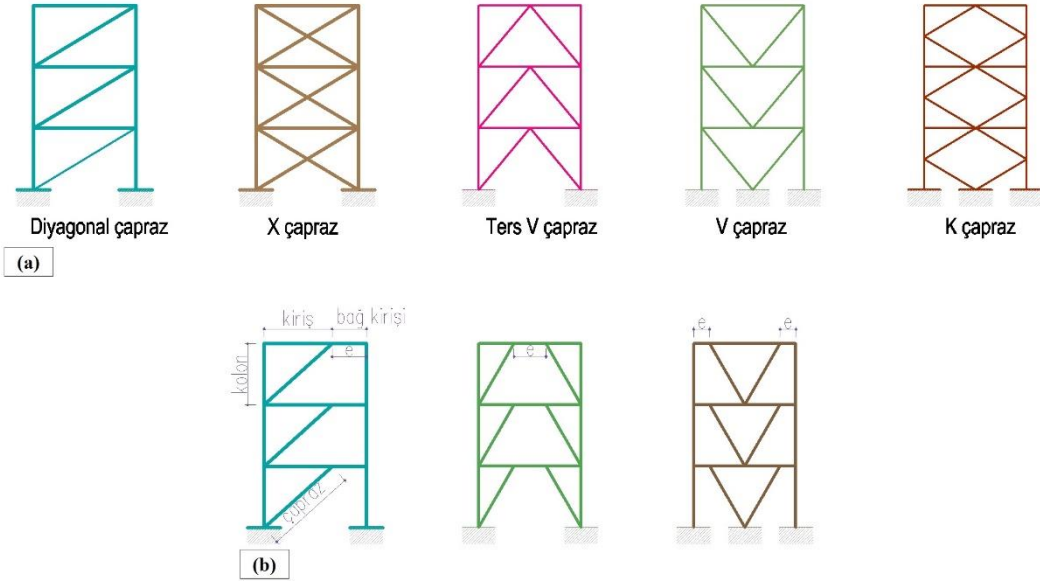
Şekil 1.1. Elastik ötesi deprem tasarımı esasları

Kolonlarının ve kolon-kiriş birleşimlerinin sınırlı şekil değiştirmelerine izin verilen OMF sistemlerin aksine, IMF ve SMF sistemlerin önemli oranda şekil değiştirme kapasitesine ve kabiliyetine sahip olması gerekir. OMF sistemlerde kolon-kiriş bağlantı bölgelerinin tamamen elastik davranış bölgesinde kalması ve elastik olmayan bölgeye geçmemesi gerekir. Bu davranışı mümkün kılmak için güçlü moment bağlantılarına sahip bir çerçeve tasarlamak gerekir (AISC, 2016b). IMF ve SMF sistemlerin tasarım esası ise, plastik mafsalların kiriş açıklığında oluşması ve bu sayede kiriş-kolon bağlantı bölgelerinin elastik ötesi davranış bölgesine geçmesinin engellenmesidir. Yapının ayakta kalmasını sağlayan düşey taşıyıcılarda plastik mafsalların oluşmasını engellemek ve serbest deprem enerjisinin kirişlerde tüketilmesini sağlamak için güçlü kolon-zayıf kiriş birleşimlerinin teşkil edilmesi elzemdir. Yapısal çerçeveleri tamamen elastik davranış bölgesinde kalacak şekilde tasarlamak ekonomik ve uygulanabilir olmadığı için, elastik ötesi davranışların, yapının daha az kritik olan elemanlarında ortaya çıktığı tasarımlara başvurulmaktadır. Elasto-plastik tasarımlara genellikle IMF ve SMF çerçevelerde izin verilir.

Yatay yüklerin kolon-kiriş birleşimlerinde ortaya çıkardığı önemli zorlamaları azaltmak ve yapıların yanal dayanım ve rijitliklerini arttırmak için çaprazlı çelik çerçeve (BF) sistemleri kullanılmaktadır. Çelik çaprazlar, kolon ve kiriş kesit boyutlarının küçültülmesine imkan tanıyarak daha ekonomik çelik çerçeve sistemlerinin ortaya çıkmasını sağlar. Çaprazlar, yapının yanal rijitliğini artırarak, yanal yükler altındaki ötelenme ve dönmeleri de azaltır. Bu sayede, yapısal olmayan elemanlarda ortaya çıkan deprem hasarları ve ikincil mertebe etkilerinin neden olduğu ilave zorlanmalar da azalır.

BF sistemler, çaprazların çerçeveye bağlanma şekline göre merkezi ve dış merkezli olarak ikiye ayrılır. Merkezi çerçevelerde, çaprazlar, kolonlar ve kirişlerin merkez çizgilerinin çakışık olduğu bir yapısal düzenlemeye başvurulur. Bu merkezi düzenleme, elemanlarda ortaya çıkacak ilave momentleri engeller. Merkezi çaprazlar, çerçeve sistem eleman boyutlarının azalmasına ve mimari olarak daha rahat ve estetik tasarımların ortaya çıkmasına olanak sağlar. ANSI/AISC 341-16 standardı (AISC, 2016b), çaprazlı çelik çerçeve sistemlerini, sınırlı sünek merkezi (Ordinary Concentrically Braced Frame – OCBF), yüksek sünek merkezi (Special Concentrically Braced Frame – SCBF), dışmerkez çaprazlı (Eccentrically Braced Frame – EBF) ve burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve (Buckling-Restrained Braced Frame – BRBF) olarak sınıflandırır. Bu sistem çeşitlerinin tamamı, TBDY (ÇŞB, 2018) yönetmeliğinde de yer almaktadır. OCBF, SCBF ve EBF sistemlerde kullanılan diyagonal, X, V, ters V ve K gibi farklı çapraz düzenlemeleri, Şekil 1.2a'da gösterilmektedir. EBF çerçevelerde kullanılan diyagonal, V ve ters V şeklindeki geometrik çapraz düzenlemeleri de Şekil 1.2b'de gösterilmektedir.

SCBF sistemlerin çapraz elemanlarında ortaya çıkan plastik mafsallar, çerçeve sistem elemanlarını koruyarak bu elemanların elastik davranış bölgesinde kalmasına yardımcı olur. OCBF sistemlerin aksine, SCBF sistemlerde çapraz elemanların plastik deformasyonlarına imkan tanımak için çapraz elemanların diğer çerçeve elemanlarına bağlantılarında özel detaylara ihtiyaç duyulur. Bu ek detaylar sayesinde, SCBF sistemler daha düşük deprem yüklerini elastik olmayan davranış bölgesinde karşılayacak şekilde tasarlanabilir (Şekil 1.1). Bu bağlamda, SCBF sistemler büyük yanal ötelenmelere uğrarken dayanımda önemli bir kayıp yaşamayacak şekilde tasarlanır (Roeder, Lumpkin ve Lehman, 2011).

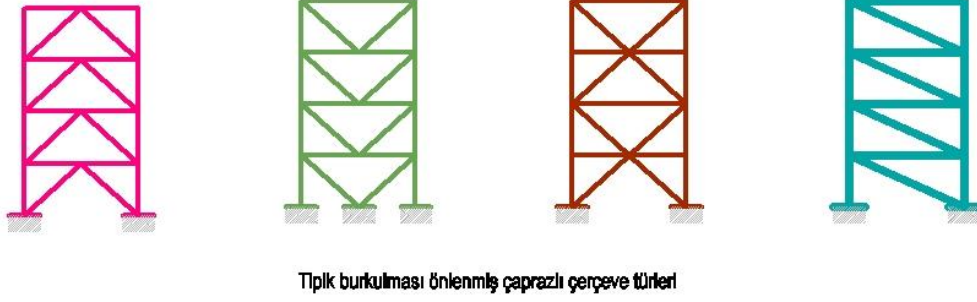


**Şekil 1.2.** (a) OCBF ve SCBF; (b) EBF sistemler için geometrik çapraz düzenlemeleri

OCBF sistemlerin deprem detaylandırmaları, SCBF sistemler kadar kapsamlı değildir. Bu sebeple, OCBF sistemler deprem riskinin daha düşük olduğu, yani depremselliği baskın olmayan bölgelerde daha çok tercih edilir.

EBF sistemler, çaprazların çerçeve sistemine dış merkezli olarak bağlandığı ve bu dış merkezliğin etkisiyle bağ kirişi adı verilen yapısal elemanların teşkil edildiği BF sistemleridir. EBF sistemlerin tasarımındaki temel prensip, bağ kirişlerindeki elastik ötesi deformasyonlar ve akma sayesinde çerçeve elemanlarının elastik bölgede kalmasını sağlamaktır (ÇŞB 2018). Bağ kirişlerinin varlığı, hem daha esnek ve estetik mimari tasarımlara olanak tanır hem de yapının sünekliliğine önemli katkılarda bulunur.

Diğer BF sistemlerde tasarıma esas olan basınç çaprazlarının burkulması problemi aşmak için BRBF sistemler kullanılır. BRBF sistemlerde tercih edilen geometrik çapraz düzenlemeleri, Şekil 1.3'te gösterilmektedir. Köşebent plakalarına civatalı veya pimli olarak bağlanan burkulması önlenmiş çaprazlar, olası deprem hasarlarından sonra değiştirilebilir (Shuhaibar, López ve Sabelli, 2002). Bu çaprazlar, diğer sistem elemanlarını etkin bir şekilde korur ve diğer BF sistemlere göre daha güvenli ve ekonomik tasarımlara imkan sağlar. Her ne kadar hasar görmüş çaprazların değişimi ile yapısal sistemlerin yeniden kullanımı mümkün olsa da hasarlı çaprazların tespiti ve değiştirilmesi için ölçütler oluşturulmalıdır. (Bruneau, Uang ve Sabelli, 2011).



**Şekil 1.3.** BRBF sistemler için çapraz düzenleri

MF ve BF sistemlerin hibrit kullanımı da mümkündür. Bu çalışma kapsamında incelenen MF sistemlerin en önemli sistem elemanları bağlantı bölgeleridir. Bu bölgelerin davranışlarının anlaşılması, sistem davranışının anlaşılması açısından çok önemlidir.

## 1.2. MF Sistem Kolon-Kiriş Bağlantıları

MF sistemleri (OMF, IMF, SMF) birbirinden ayıran en önemli farklardan biri, kolon-kiriş bağlantı bölgelerinde izin verilen dönme açılarıdır. Plastik mafsallaşmanın önemli ölçüde tolere edilebildiği IMF ve SMF sistemlerde mafsallaşma bölgelerinin kiriş açıklığında yer alması öngörülmüştür. ANSI/AISC 341-16 standardına göre (AISC, 2016b), IMF ve SMF çerçevelerin görece kat ötelenme açıları (görece kat ötelenmesi/kat yüksekliği) 0,02 ve 0,04 radyan ile sınırlıdır. Bu görece kat ötelenmelerine ulaşırken, deprem hasarının kirişte ortaya çıkması ve kiriş-kolon bağlantılarının elastik davranış bölgesinde kalmasının garanti altına alınması önem taşır.

Kiriş uçlarında yer alan mafsallaşma bölgelerinde enerji tüketimi devam ederken, kolon-kiriş birleşimlerinde herhangi bir gevrek göçmenin ortaya çıkmaması için özel detaylandırmalar yapılır. MF çerçevelerin kolon-kiriş bağlantılarının önemi, 1994 Northridge depreminde yapılan gözlemlerle de tescillenmiştir. Bu depremde yapılan gözlemlerin sonucu olarak ortaya çıkan ‘SAC Steel Project’ adı verilen çalışmalarla, ön onaylı (prequalified) olarak nitelenen, yani deneysel veya analitik yöntemlerle geçerliliği kanıtlanmış, birleşim çeşitleri ortaya çıkmıştır. Bu birleşimlere ait teknik detaylar, Amerikan ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016a) standardında yer almaktadır. . Bu standartta yer alan 10 adet ön-onaylı MF kolon-kiriş birleşim çeşidi, özellikle IMF ve SMF çerçevelerde sıklıkla kullanılır. TBDY yönetmeliği (ÇŞB, 2018) Ek 9B’de de bu ön onaylı birleşim çeşitlerinden dört tanesine yer verilmiştir. Bu çalışma

kapsamında incelenen guseli alın levhalı birleşim (HC), TBDY (ÇŞB, 2018) Ek 9B’de detaylarına yer verilen tam dayanımlı bulonlu alın levhalı birleşimdir.

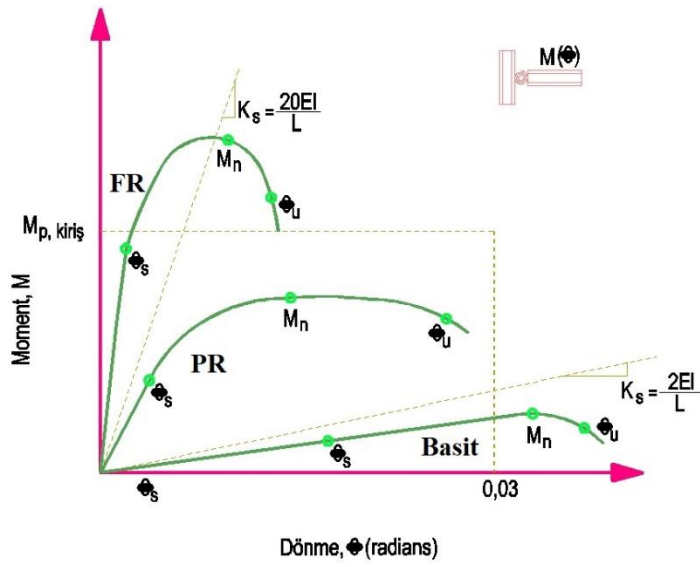
HC birleşimler, ülkemizde de sıklıkla tercih edilir (Şekil 1.4). Kirişlerin kolona bir alın levhası yardımıyla bağlandığı bu birleşim çeşidinde, çapraz bir guse yardımıyla kiriş alt başlığı desteklenir. Genellikle üst başlık aynı şekilde desteklenmediği için simetrik olmayan bir birleşim davranışı söz konusudur. Bu durum, tersinir tekrarlanır yükleme koşullarına sahip deprem hareketleri esnasında istenmeyen zayıflıklar ortaya çıkarır. HC birleşim, dönmesi tamamen kısıtlanmış (Fully Restrained-FR) kolon-kiriş birleşimi kategorisinde yer almaktadır. Amerikan çelik yönetmeliği AISC 360’da (AISC, 2016c), kolon-kiriş birleşimlerini, FR ve kısmen kısıtlanmış (Partially Restrained-PR) olarak ikiye ayırır. FR ve PR sayılan bağlantı çeşitleri, Amerikan ASCE 41-17 standardı (ASCE, 2017) Çizelge 9.5’te detaylı olarak gösterilmektedir. Bu çizelgeye göre de, HC tipi birleşim FR kategorisinde yer almaktadır.

Yapısal analizlerde, FR bağlantıların modellere katılmasına ihtiyaç yoktur. Analiz sonuçları elde edildikten sonra, bağlantı bölgelerine gelen moment ve kuvvet tesirlerini FR bağlantıların karşılaması esasına göre bağlantı bölgesi tasarımı yapılır. PR bağlantılar ise, bağlantı bölgelerinde kısmen dönmeye izin verecek şekilde tasarlandıkları için (AISC, 2016c), bu bağlantıların dönme kapasitesi ve rijitlik değerlerinin yapısal modellere yansıtılması gereklidir. PR bağlantıların rijitlik değerleri değişikçe yapısal tasarım tümünden değişeceği için, PR bağlantılı sistem tasarımlarında yinelemeli bir analiz süreci gereklidir. Bu döngüsel tasarım süreci, PR bağlantının yeterliliği gösterilene kadar devam eder.

Bağlantıların davranışlarına belirleyen en önemli ölçüt,  $(M-\theta)$  eğrisidir (Şekil 1.5). FR, PR ve mafsallı bağlantı çeşitlerini ayıran en önemli ölçüt, bu elemanların başlangıç dönme rijitlikleridir.

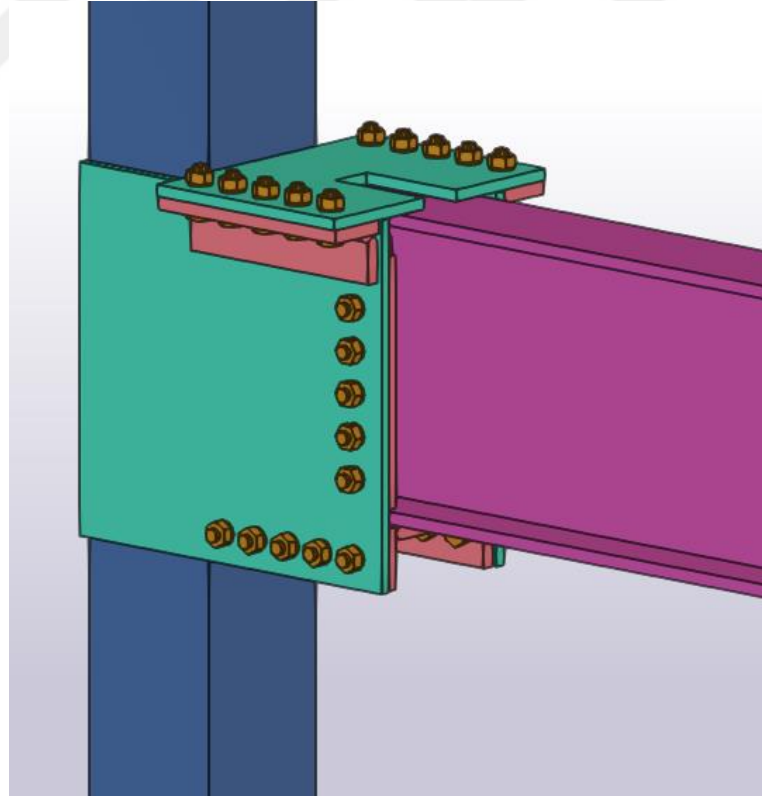


Şekil 1.4. HC birleşim örneği



Şekil 1.5. Farklı kolon-kiriş bağlantı türlerinin moment-dönme ilişkileri

Bu çalışma kapsamında, geleneksel HC kolon-kiriş birleşimlerine ek olarak yeni nesil yan levhalı (SPC) birleşimlerin (MiTEK, 2022) (Şekil 1.6), tek katlı ve bir doğrultuda çok açıklıklı çelik yapısal sistem davranışına etkileri incelenmiştir. SPC kolon-kiriş birleşimi, kolondan uzanan yan levhaların kirişe bağlanmasıyla kolonla kiriş arasında doğrudan bir temasın engellendiği ve bu sayede kolonun ve birleşimin deprem hasarından korunduğu özel bir birleşim çeşididir. Bu birleşim, panel bölgesini güçlendirir ve plastik mafsallaşma bölgesinin kolon yüzünden uzaklaşmasını sağlar. Ayrıca, profillerle levhalar arasında yer alan paralel kaynaklar, birleşim bölgesinin sünekliğini artırır. Yan levha uzantılarının kirişe bağlandığı bölgenin uzunluğu sebebiyle, enerji sönmüleme ve gerilmelerin kirişe aktarıldığı uzunluk artar ve lokal gerilme birikmelerinin önüne geçilmiş olur. SPC detayları, birleşim bölgesinde üç eksenli gerilme durumu ve çentik etkisinin ortaya çıkmasının engellenmesinde de etkindir.



**Şekil 1.6.** SPC kolon-kiriş bağlantısı

### 1.3. Kaynak Özetleri

Yapılan literatür araştırması, yan levhali kolon-kiriş birleşim detayının, tek katlı ve çok açıklıklı moment-aktaran yapısal çelik sistemlerin deprem davranışlarına etkilerinin doğrusal olmayan analizler yardımıyla ortaya konulduğu çalışmaların bulunmadığını göstermiştir. Bu nedenle, bu bölümde SPC birleşimlerin, çok katlı moment aktaran çelik çerçeve sistemlerin deprem davranışları üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmaların özetleri sunulmuştur. Bu tez çalışması, SPC birleşimli tek katlı MF sistemlerin zaman-tanım alanında doğrusal olmayan analizlerini içermesi yönüyle literatüre bir ilk olma özelliği taşımaktadır. Plastik mafsal tanımlarının yönetmelik esaslarına uygun bir şekilde yapılması ve çerçevelerin göçmeye kadar yüklenmesine olanak tanıyacak analizlerin gerçekleştirilmiş olması da, bu tez çalışmasının geçmiş çalışmalardan önemli farkları olarak nitelenmelidir.

Sünek yan levhali çelik birleşim detaylarını belirlemeyi amaçlayan Engelhardt ve Sabol (1998), 12 adet çelik çerçeve numunesi test etmiştir. Bu deneyler, kiriş alt ve üst başlıklarını örten kapak levhalarının birleşim sünekliğine önemli derecede katkılar sağladığını göstermiştir. Yine SPC birleşimlerin enerji sönümlenme kapasiteleri ve süneklikleri üzerine parametrik bir çalışma gerçekleştiren Deylami ve Ashraf (2004), kapak levhalarının, yan levhaların ve kesme levhalarının kalınlıklarını değiştirerek sonlu eleman analizleri gerçekleştirmiştir. Bu analizlerde ulaşılan en önemli sonuç, yan levha kalınlıklarının optimize edilmesi ile SPC birleşimlerin davranışlarının iyileştirilebileceği ve bu sayede çerçevenin enerji sönümlenme kapasitesinin arttırılabileceği olmuştur.

Önceki çalışmalardan farklı olarak Chou, Tsai, Wang ve Jao (2010), mevcut çelik kolon-kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesinde yan levhalar kullanmıştır. Kiriş başlıklarında kaynak ve kiriş gövdesinde bulonların tercih edildiği kolon-kiriş birleşimlerinde kullanılan yan levhalar, özellikle kiriş alt başlıklarındaki gerilme yığılmalarını ve birim deformasyonları ciddi oranda azaltmıştır.

Shiravand ve Deylami (2010), SPC birleşim çeşidinin, I enkesitli kirişlerle çift I profilden teşkil edilmiş çok parçalı kolonların birleşimlerindeki etkinliğini araştırmıştır. Alın levhasına kaynaklı birleşimlerin aksine, SPC birleşimlerin FR olarak tanımlanabileceği ve SPC kullanımının, birleşim sünekliğine önemli katkıları olduğu belirlenmiştir.



SPC birleşimlerin modellenmesinde Jalali, Banazadeh, Abolmaali ve Tafakori (2012), elastik panel bölgesine bağlı döner yaylar kullanmıştır. Farklı kiriş yüksekliklerine sahip SPC birleşimli çerçevelerin analiz sonuçları kullanılarak, deprem tehlike grafikleri oluşturulmuştur. Bu eğrilerin oluşturulmasında olasılıksal deprem analiz yöntemlerinden faydalanılmıştır.

SPC kolon-kiriş birleşimler üzerine yapılan bazı çalışmalarda, kirişlerde ortaya çıkan katener (zincir) etkisinin yardımıyla kolon kayıpları durumunda dahi çerçeve göçmelerinin önüne geçilebileceği belirlenmiştir. Faridmehr, Osman, Tahir, Nejad ve Hodjati (2015), bu katener etkisi sayesinde SPC birleşimli çerçevelerde plastik kapasiteye ulaşılmasının mümkün olduğunu ortaya koymuştur.

Çelik kirişler ile beton dolgulu çelik boru profil (CFST) kolonların birleştirilmesinde de SPC birleşim çeşidi sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanda birçok araştırma yapılmıştır. Huang, Hao, Bai, Fan ve Xue (2020), yan levhaların uzantılarını, kolon gövdesi ve başlıklarının panel bölgesi içinde kalan kısımlarının boyutlarını deney değişkenleri olarak değerlendirerek, tam ölçekli duvarlı kolon-H kiriş birleşim numuneleri test etmiştir. Kiriş açıklığı üzerinde plastik mafsallaşma, kiriş başlığı-yan levha birleşim kaynaklarında gevrek kırılma ve yan levhanın eğilmesi göçme modları göz önüne alınarak teorik eşitlikler de geliştirilmiştir. Kirişte plastik mafsallaşmanın, diğer iki göçme moduna göre çok daha sünek olduğu belirlenmiş ve kiriş açıklığında plastik mafsallaşma ile panel bölgesinde elastik davranışa ulaşılması durumunda çerçeve sünekliklerinin optimize edileceği görülmüştür. Zhang vd. (2021), CFST kolonlar ile kirişler arasındaki birleşimlerin daha sünek hale getirilmesi amacıyla kavisli kapak levhası ile güçlendirilmiş yan levhalı (ACPSP) ve oluklu yan levhalı (GSPCP) birleşimler tasarlamıştır. Ortaya konulan bu yeni detaylar sayesinde çerçevelerde kolonların devre dışı kaldığı durumlarda dahi katener etkisinin ortaya çıkarılabileceği ve çerçevelerde sünek eğilme davranışlarına ulaşılabilceği görülmüştür. Benzer olarak, Liu, Hao, Xue ve Sun (2021), CFST kolon ile I-kiriş arasındaki birleşimlerde SPC birleşim çeşidinin etkinliğini araştırmak amacıyla tersinir tekrarlanır yük deneyleri ve sonlu eleman analizleri gerçekleştirmiştir. Bu deney ve analizler, birleşim bölgesinin etkinliğinin önemli oranda kolonun eksenel yük düzeyi ile yan levhaların boyutlarından etkilendiğini göstermiştir. Yetersiz yan levha yükseklikleri sebebiyle, SPC birleşimlerinin etkinliklerini yitirdiği ve kiriş ile kolon arasında kalan boşluk bölgelerinde erken göçmeler ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Benzer deneyler gerçekleştiren Liu, Hao, Xue, ve Huang (2021), CFST kolon-çelik kiriş birleşimlerinde momentlerin yan levhanın başlıkları boyunca oluşan iç kuvvetler tarafından karşılandığını ortaya koymuştur. Bu momentlerin, kolon gövdesine ve birleşimin karşı tarafındaki kirişin alt başlığına aktarıldığı belirlenmiştir.

#### **1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Amerikan ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016a) standardında yer alan ve moment aktaran (MF) çelik çerçevelerde kullanım alanı bulan yan levhalı birleşim (SPC) türünün, tek katlı ve geniş yapısal sistemlerde kullanımı ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, SPC birleşim kullanımının, tek katlı ve bir doğrultuda çok açıklıklı yapısal sistemlerin deprem davranışlarına katkılarının ortaya konulmasıdır. Bu bağlamda, TBDY (ÇŞB, 2018) Ek 9B’de verilen boyut ve özelliklere göre teşkile edilen klasik alın levhalı (HC) birleşimli bir çerçeve modeli ile SPC birleşimli bir çerçeve modelinin deprem performansları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada gerçek deprem kayıtları kullanılmış ve plastik mafsallaşmaya izin veren doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. SPC birleşimin detaylandırılmasında ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016a) Bölüm 11’de verilen özellikler kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde, deprem kayıtlarının şiddetlerini arttırmak için tekrarlanma periyodu ölçütünden faydalanılmıştır. Her deprem hareketinin farklı tekrarlanma periyodu değerlerine göre yapılan analizler sonucu birleşimlerin göçmeye ulaştığı deprem şiddetleri ortaya konulmuştur. Farklı tekrarlanma periyodu değerlerine ait spektral ivme değerlerinin elde edilmesinde, Türkiye Hava Meydanı Yapıları Deprem Yönetmeliği (UAB, 2020) Ek 2A’da verilen logaritmik orantılama yöntemi kullanılmıştır. Plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanmasında, kolon ucu plastik dönme sınırı, kiriş ucu plastik dönme sınırı ve birleşim dönme sınırı ölçütlerinin tamamı dikkat alınmıştır. Bu tez çalışması, tek katlı fabrika tipi yapılarda SPC birleşim kullanımının deprem davranışı üzerindeki etkilerinin doğrusal olmayan yöntemlerle incelendiği ilk çalışma özelliği olma niteliği taşımaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOD

Bu bölüm kapsamında, analizlerde kullanılan yapısal modelin özellikleri, iki farklı analiz modeli oluşturmak için kullanılan HC ve SPC birleşimlerin özellikleri ve deprem analizlerinde kullanılan deprem kayıtları ile bunlar ölçeklendirilmesi kapsamlı olarak anlatılmıştır.

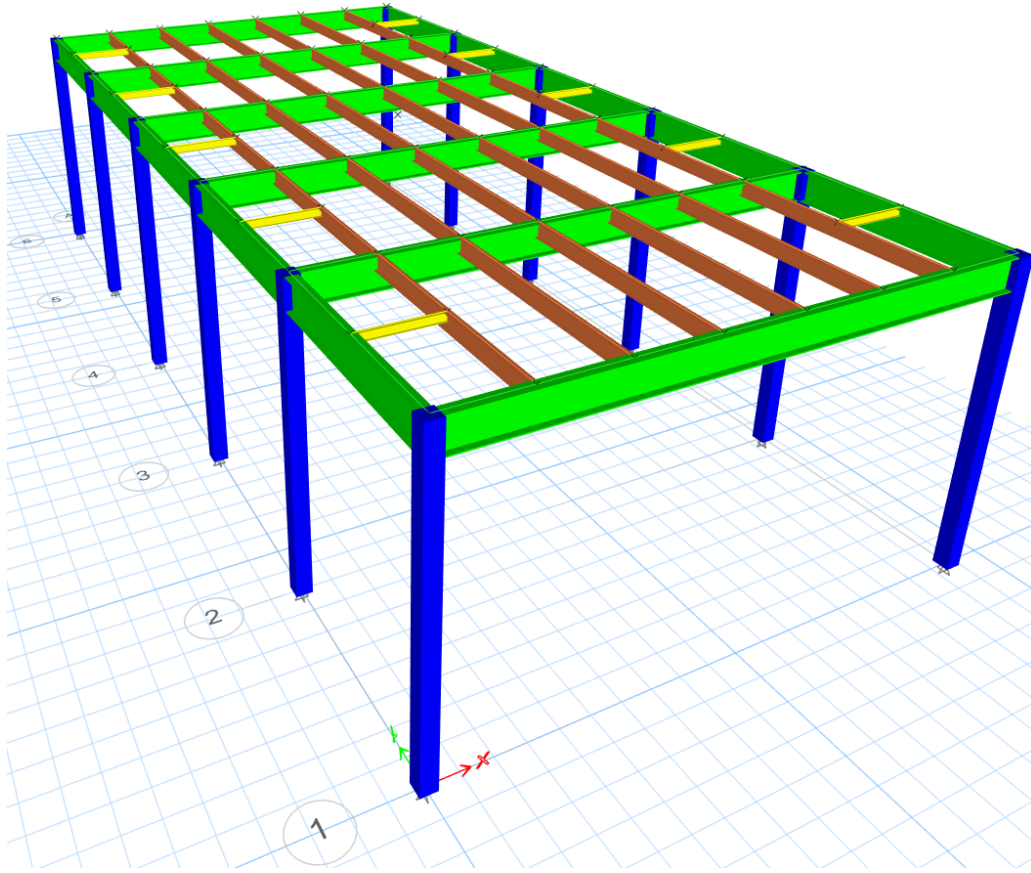
### 2.1. Yapısal Model

#### 2.1.1. Çerçeve Özellikleri

x doğrultusunda bir, y doğrultusunda beş açıklıklı ve tek katlı bir çelik çerçeve modeli oluşturulmuştur (Şekil 2.1). Bu çerçeve modeli yüksek sünek (SMF) olarak tasarlanırsa da çerçevenin göçmesi kolonlardaki mekanizmalama kaynaklı olduğu için, yüksek süneklik derecesinin analizlere etkisi olmamıştır. Bu çerçeve, ETABS (CSI 2022) matris yapı analizi yazılımında modellenmiştir. x ve y doğrultularında çerçeve açıklıkları sırasıyla 14 ve 6 metredir (Çizelge 2.2). Ayrıca, çerçevenin kat yüksekliği 8 metredir. Çerçevenin düzlemde herhangi bir düzensizliği yoktur ve döşeme sistemi kendi düzleminde sonsuz rijit olarak modellenmiştir. Yapıda herhangi bir döşeme boşluğu bulunmamaktadır. Çerçeve boşluklarını dolduran duvarlar, analizlerde tamamen göz ardı edilmiştir.

Kolonlar zemine x ve y eksenlerine göre basit mesnet şartlarına sahip olacak şekilde bağlanmıştır (Şekil 2.3). Çerçeve elemanları, S275JR çelik malzeme kalitesine sahiptir. Kiriş ve kolon kesitleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Kolonların tamamı RHS 400.30 kare kutu kesit, deprem yüklerini taşıyan dış çerçeve kirişleri HE800B, iç kirişler de IPE 360 kesite sahiptir. Tek katlı yapılarda, her düğüm noktasına en fazla bir kolon bağlanabilir. Düğüm noktasına bağlanan düzlem içi kirişlerin sayısı kolon sayısından her halükarda fazla olduğu için güçlü kolon-zayıf kiriş şartının sağlanması genellikle mümkün olmamaktadır. Bu şartın sağlanması için kolon kesitlerinin ekonomik olmayacak bir şekilde büyütülmesi gerekir ve bu durum yapısal sistem maliyetlerini çok arttırır. Bu sebeple, tek katlı antrepo, depo ve üretim tesisi gibi yapılarda güçlü

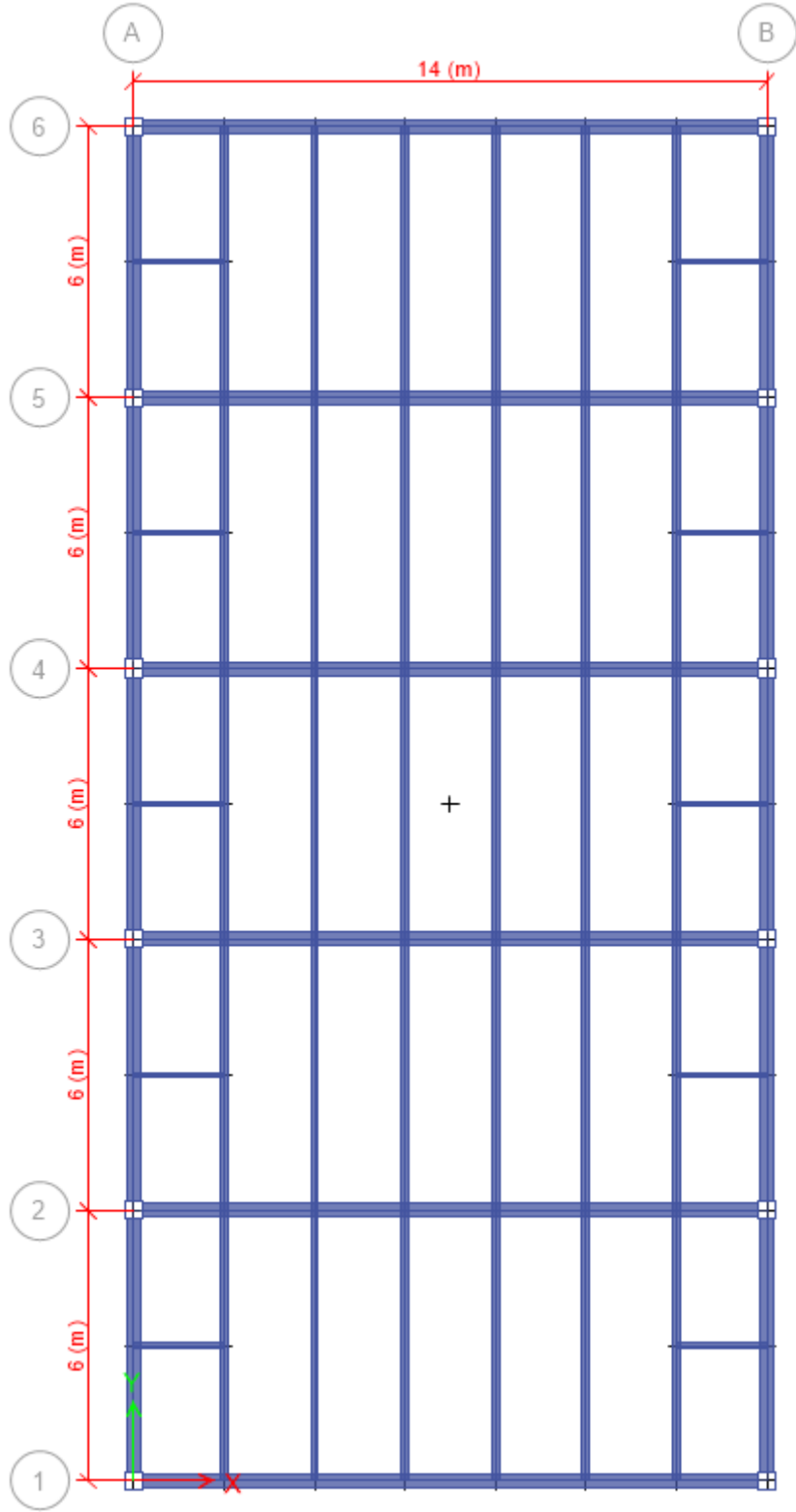
kolon-zayıf kiriş şartı aranmaz ve bu şartın sağlanmaması yapı sistemin, süneklik derecesi sınırlı sistem kategorisine düşmesine neden olmaz.



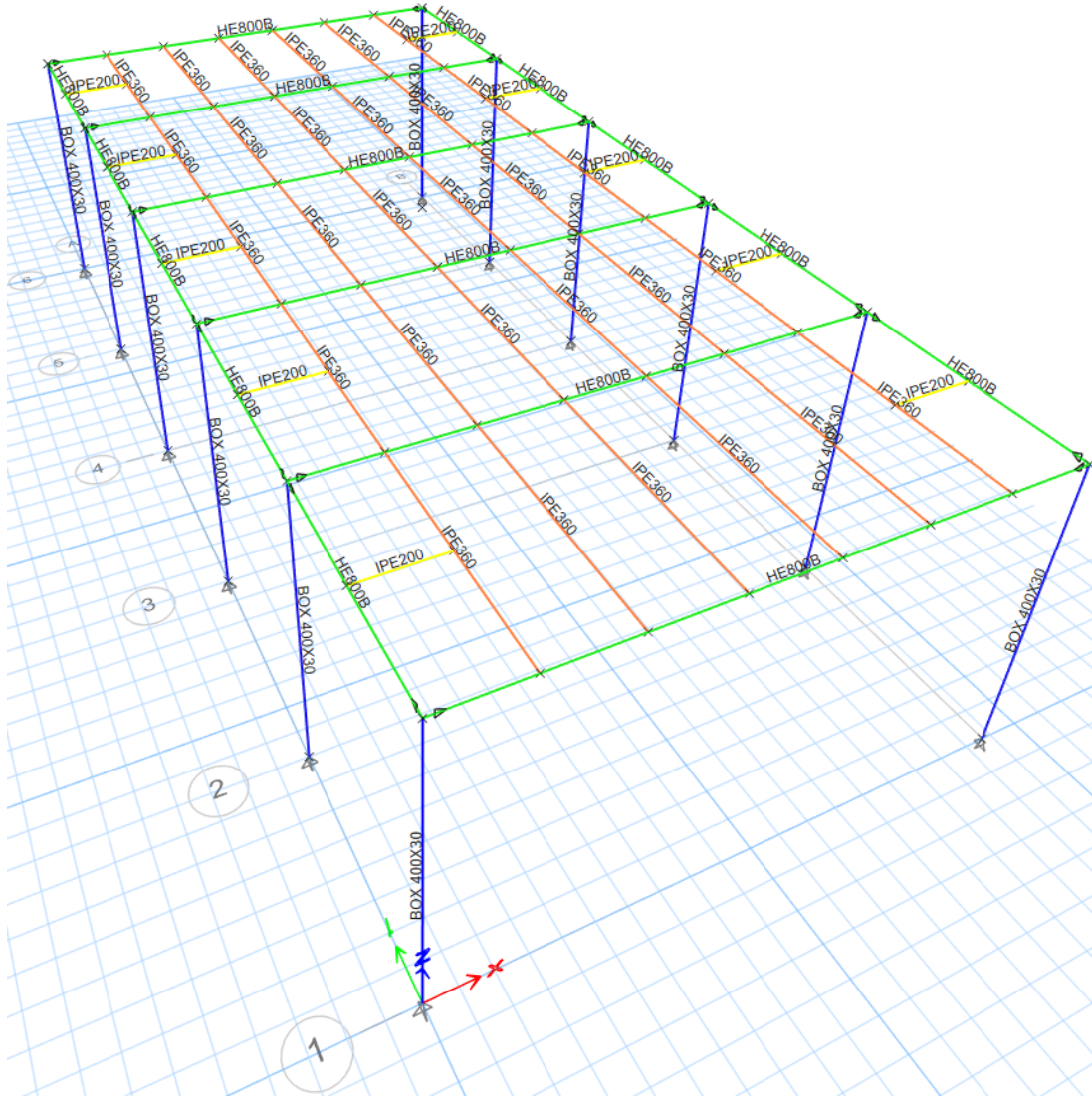
**Şekil 2.1.** Analizlerde kullanılan çerçeve modeli

TBDY (ÇŞB, 2018), Bölüm 9.3.3'te tek katlı yapılar ile çok katlı yapıların en üst kat kolonlarında kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulunun aranmayacağı belirtilmiştir. Bu sebeple, çalışma kapsamında analiz edilen çerçeve SMF olarak nitelenebilir. Yapısal sistemde kullanılan kolon ve kirişlerin başlık ve gövdeleri kompaktlık şartını sağlamaktadır. Dış çerçeveler haricindeki elemanlar (IPE 200 ve IPE 360 kirişler), sadece düşey yük taşıyan eleman (gravity member) olarak modellenmiştir. Kolonlar temele basit mesnetli olarak bağlanmıştır (Şekil 2.3).

Fabrika yapılarında kat seviyesinde olması muhtemel mekanik yükler ve depolanmış malzeme ile teçhizat ağırlığı hesaba katılarak, döşemelere  $1125 \text{ kgf/m}^2$  sabit yük uygulanmıştır. Bu yük haricinde,  $200 \text{ kgf/m}^2$  hareketli yük ile  $75 \text{ kgf/m}^2$  kar yükü de döşemelere etki ettirilmiştir. Yapısal yönetmeliklerin öngördüğü şekilde, yapısal sistemin aynı anda deprem yükü ile rüzgar yüküne maruz kalmayacağı kabulünden hareketle yapısal modele rüzgar yükleri uygulanmamıştır.



Şekil 2.2. Çerçeve kat planı

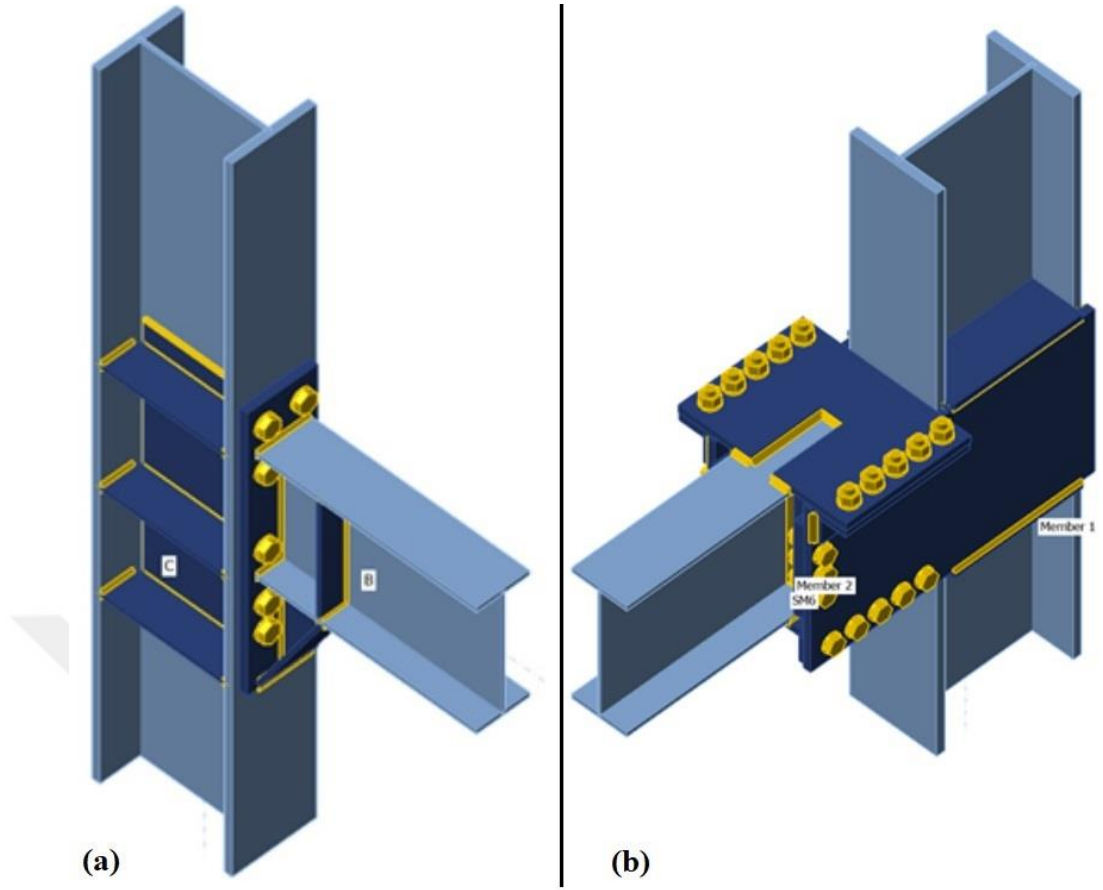


**Şekil 2.3.** Çerçeve elemanlarının kesitleri

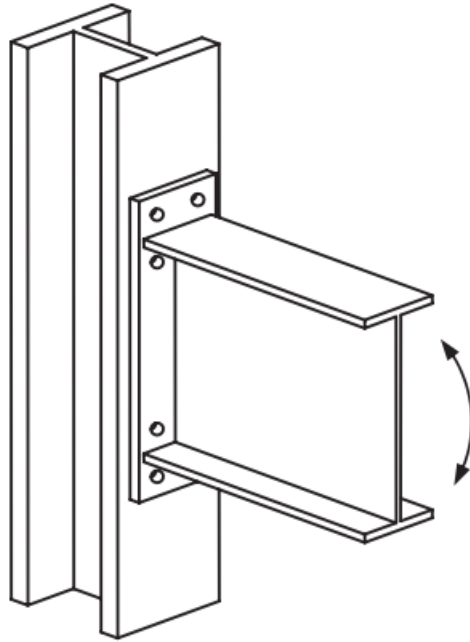
Zaman tanım alanında deprem analizi metoduna uygun olarak, yapıya gerçek deprem kayıtları uygulanmıştır. Yani yer değiştirme ve yer ivmesi tabanlı bir deprem analizi yapılmıştır. TBDY (ÇŞB, 2018) Çizelge 4.1'e uygun olarak, deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeveler tarafından karşılandığı ilgili çelik yapının (Madde C11) taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ ) ve dayanım fazlalığı katsayısı ( $D$ ) sırasıyla 8 ve 3 alınmıştır.

### 2.1.2. Birleşim Özellikleri

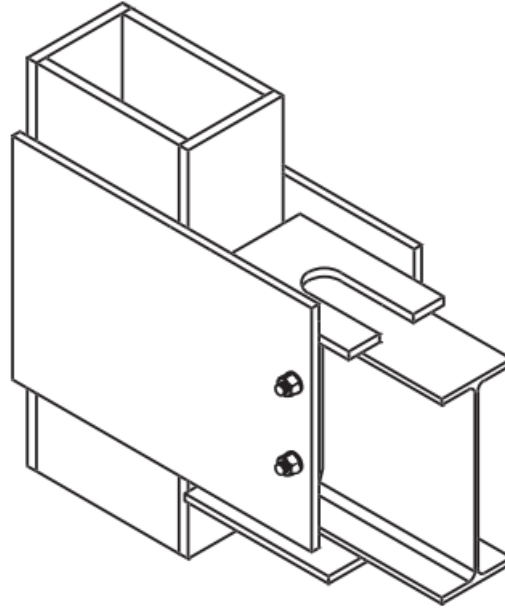
Analizlerde kullanılan HC ve SPC birleşimlerin (Şekil 2.4) ölçüleri ve detayları sırasıyla Şekil 2.5 ve 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Analizlerde kullanılan kolon-kiriş birleşim çeşitleri: (a) HC; (b) SPC



Şekil 2.5. HC birleşim boyutları ve özellikleri: (a) boy kesit; (b) en kesit; (c) üst görünüş (AISC, 2016a)



**Şekil 2.6.** SPC birleşim boyutları ve özellikleri: (a) boy kesit; (b) en kesit; (c) üst görünüş (AISC, 2016a)

HC birleşimlerin boyutlandırılmasında ve birleşim elemanlarının (bulonların) belirlenmesinde, TBDY (ÇŞB, 2018) Ek 9B’de gösterilen tam dayanımlı bulonlu alın levhalı birleşim detayları kullanılmıştır. Plastik mafsallarda dönme kapasitesinin aşılması ile birleşimlerin göçmeye ulaştığı kabul edilmiştir. Plastik mafsalların dönme kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan üç farklı sınır durumu vardır:

1. Kiriş ucu plastik dönme sınırı (GÖ performans seviyesinin üst sınırı)
2. Kolon ucu plastik dönme sınırı (GÖ performans seviyesinin üst sınırı)
3. Kolon-kiriş birleşim bölgesinin plastik dönme sınırı

HC birleşim bölgelerinin plastik dönme sınırı, TBDY (ÇŞB, 2018) Tablo 5C.3’e göre 0,04 radyandır. SPC birleşim bölgelerinin plastik dönme sınırı ise ANSI/AISC 358-16 (AISC 2016a) Bölüm 11.3’te 0,06 radyan olarak belirtilmektedir. SMF çerçevelerde yer alan kirişler için plastik dönme sınır açısı değeri, TBDY (ÇŞB, 2018) Tablo 5C.2’de  $9\theta_y$  olarak verilmektedir. Kirişlerde akmanın başladığı dönme açısı ( $\theta_y$ ) değerinin hesaplanması için TBDY (ÇŞB, 2018) Bölüm 5C.1.1’de yer alan formül kullanılmaktadır:

$$\theta_y = \frac{W_p \cdot F_{ye} \cdot l_b}{6 \cdot E \cdot I_b} \quad (2.1)$$



Bu formülde,  $W_p$  kiriş kesitinin plastik mukavemet momentini,  $F_{ye}$  yapı çeliğinin beklenen akma gerilmesini,  $I_b$  kiriş uzunluğunu,  $E$  yapı çeliğinin elastisite modülünü,  $I_b$  kiriş kesitinin eylemsizlik momentini göstermektedir.

Kolon uçlarındaki plastik dönme sınırının belirlenmesinde kolona etki eden eksenel basınç yükünün düzeyi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada analiz edilen kolonların, maksimum plastik dönme açısı değerlerine karşılık gelen eksenel basınç yükü seviyeleri, kolon eksenel basınç dayanımının %8.7'si mertebesindedir. TBDY (ÇŞB, 2018) Tablo 5C.2'de, SMF çerçeve kolonlarının bu eksenel yük seviyesi için plastik dönme sınırı değerinin  $9\theta_y$  olduğu görülmektedir. Kolonların  $\theta_y$  değerleri ise aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$\theta_y = \frac{W_p \cdot F_{ye} \cdot l_k}{6 \cdot E \cdot I_k} \cdot \left(1 - \frac{P}{P_{ye}}\right) \quad (2.2)$$

Bu formülde verilen  $l_k$  kolon boyunu,  $I_k$  kolon eylemsizlik momentini,  $P$  kolonun plastik dönme sınırına tekabül eden eksenel basınç kuvvetini ve  $P_{ye}$  kolon eksenel basınç yükü kapasitesini göstermektedir. Yukarıdaki denklemler yardımıyla HE 800B kiriş ve RHS 400.30 kolon için hesaplanan uç plastik dönme sınır değerleri ile HC ve SPC birleşimlerde izin verilen maksimum plastik dönme açısı değerleri Çizelge 2.1'de sunulmaktadır.

**Çizelge 2.1.** HC ve SPC birleşimlerde dönme sınırları

Eleman		Dönme Sınırı (rad)
Eleman Ucu Plastik Dönme Sınırı ( $9\theta_y$ )	HE 800B Kiriş	0,102
	RHS 400.30 Kolon	0,090
Birleşim Dönme Sınırı	HC	<b>0,040</b>
	SPC	<b>0,060</b>

Bu çizelgede sunulan değerlerden de anlaşılacağı üzere, her iki birleşim tipi için de birleşimin kendi dönme açısı sınır değeri, eleman ucu dönme açısı sınır değerlerinden daha kritiktir. Yani birleşim bölgelerindeki plastik mafsalların tanımlanmasında birleşim dönme sınırlarının kullanılması gerekir. Ayrıca, kolon ucundaki plastik dönme sınırı, kiriş ucu sınır değerinden daha küçük olduğu için plastik mafsalların kolon uçlarında oluşacağı açıktır. Bu nedenle, her iki modelde de plastik mafsallar kolon uçlarında tanımlanmıştır. HC birleşimli çerçevede, mafsalda göçmenin başladığı birleşim dönme açısına 0,04 radyan değeri atandıktan sonra, diğer performans

seviyelerini (sınırlı hasar, kontrollü hasar, göçme öncesi) ayıran dönme açılarına da rastgele değerler atanmıştır (Şekil 2.7). Bu çalışmada çerçevelerin göçmeye ulaştığı deprem seviyeleri incelendiği için, sınırlı hasar ve kontrollü hasar performans bölgeleri sınır açısı değerlerinin fiziksel bir önemi yoktur. Birleşimlerin elastik davranış bölgesindeki dönme açıları ihmal edilmiştir.

Yan levhali (SPC) birleşim türünün detaylandırılmasında ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016a)'de verilen ölçü ve detaylar kullanılmıştır. Bu birleşim türü için plastik mafsalları tanımlanırken, göçme sınır açısına 0,06 radyan değeri verildikten sonra diğer performans seviyelerini ayıran sınırlara rastgele değerler atanmıştır (Şekil 2.8).

Hinge Property Data for ENDPLATE - Moment M3

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.6	-0.041
D-	-0.6	-0.041
C-	-1	-0.04
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	0.04
D	0.6	0.041
E	0.6	0.041

Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length:

Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis:

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment

Moment SF:  Positive  Negative kN-mm

Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Rotation SF:  Positive  Negative

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

Immediate Occupancy

Positive:  Negative:

Life Safety

Positive:  Negative:

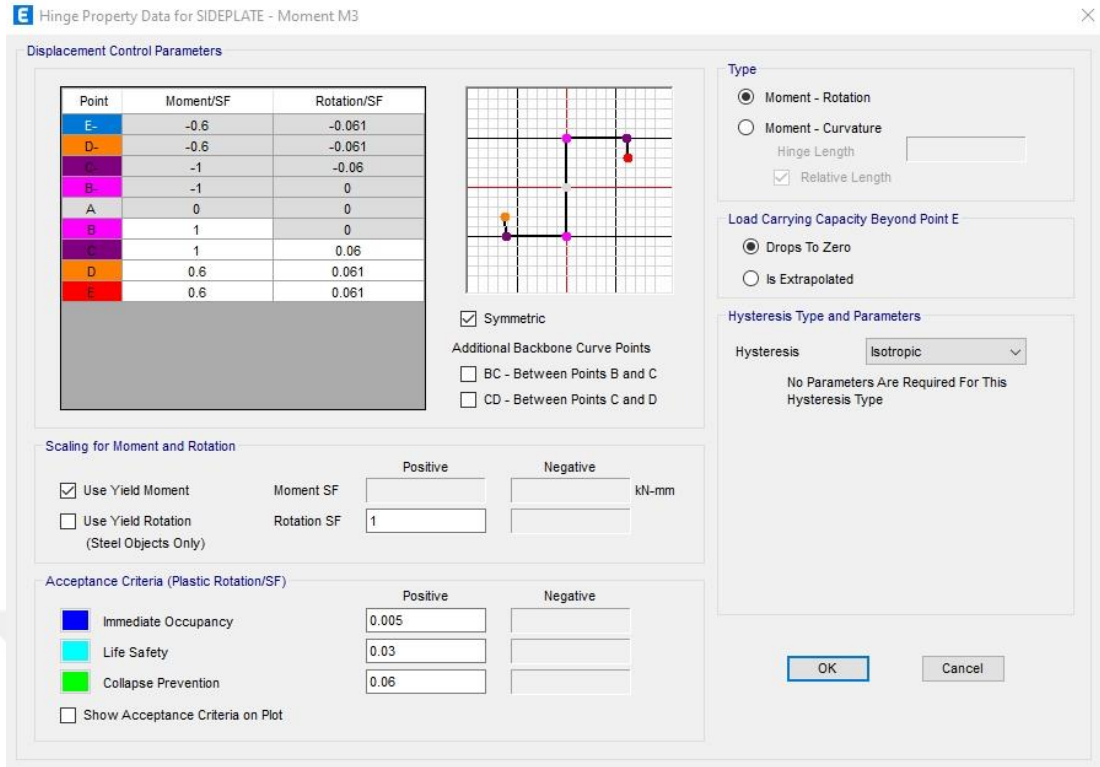
Collapse Prevention

Positive:  Negative:

Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 2.7. HC birleşim mafsalları tanımlama ekranı



Şekil 2.8. SPC birleşim mafsalsal tanımı

## 2.2. Deprem Kayıtları

Bu çalışma kapsamında, gerçek deprem kayıtları kullanılarak zaman-tanım alanında deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının seçiminde TBDY (ÇŞB, 2018) Bölüm 2.5.1’de belirtilen esaslar kullanılmıştır. Buna göre, seçilen deprem kayıtlarının maksimum ivme değerleri, kaynak mekanizmaları, faya uzaklıkları ve zemin koşulları, yapının yer aldığı varsayılan konumdaki ilgili ölçütlerle uyumludur.

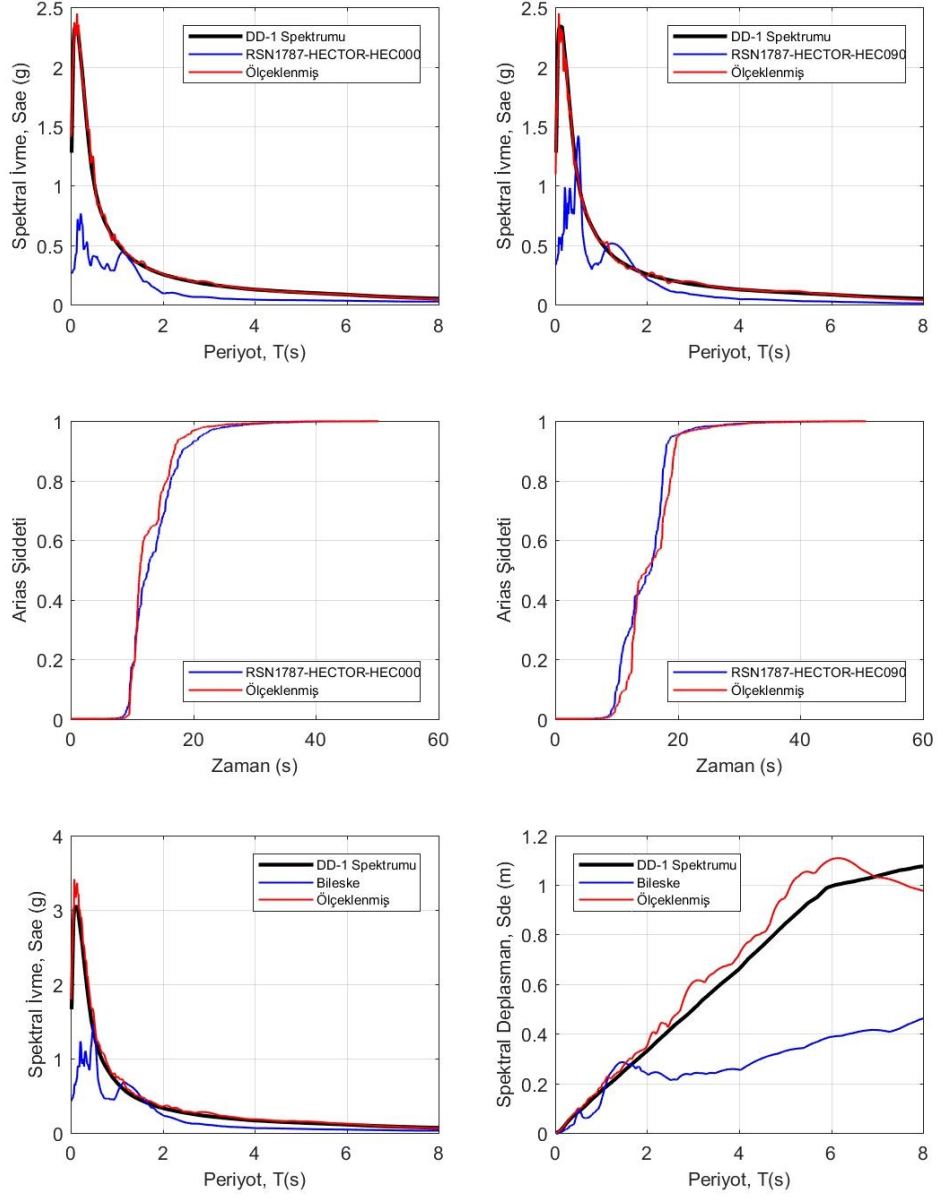
Modellenen yapının, İzmir İli Halkapınar semtinde bulunan bir konumda ( $38.43237^{\circ}$  enlem ve  $27.174225^{\circ}$  boylam) yer aldığı varsayılmıştır. Bu konumda en büyük yer ivmesi değerinin yüksek olması ve zemin tipinin etütler yardımıyla belirlenmiş olması, ilgili konumun seçilmesini sağlamıştır. Analizlerde kullanılan 1990 Manjil, 1995 Kobe ve 1999 Hector Mine deprem kayıtları, bu konumun deprenselliğini doğru olarak yansıtmaktadır. İlgili konumdaki zemin sınıfı ZD, kısa periyot ve 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayıları ( $S_S$  ve  $S_I$ )  $2.144g$  ve  $0.549g$  ve maksimum yer ivmesi (PGA)  $0.851g$ ’dir. Bu özelliklerin ve değerlerin belirlenmesinde, AFAD Türkiye Deprem Haritaları (AFAD, 2018) kullanılmıştır.

Analizlerde kullanılan üç deprem kaydının şiddetleri, yüzeye uzaklıkları, maksimum yer ivmesi değerleri ve süreleri, Çizelge 2.2’de sunulmaktadır. Çizelgede sunulan değerler incelendiğinde, 1995 Kobe depreminin en büyük yer ivmesine sahip olduğu ve süresinin diğer depremlere göre kısa olduğu görülmektedir. Yani 1995 Kobe depreminde maksimum ivme değerlerine çok kısa sürelerde ulaşılmış ve hareket uzun sürmemiştir. Bu bağlamda, 1995 Kobe deprem kaydının en kısa hareket periyoduna (en büyük frekansa) sahip olduğu söylenebilir. Üç deprem kaydı arasında en uzun hareket süresi ile en küçük ivme değerlerine sahip olan 1990 Manjil depreminin, diğer deprem kayıtlarına göre daha uzun periyotlara sahip olduğu söylenebilir.

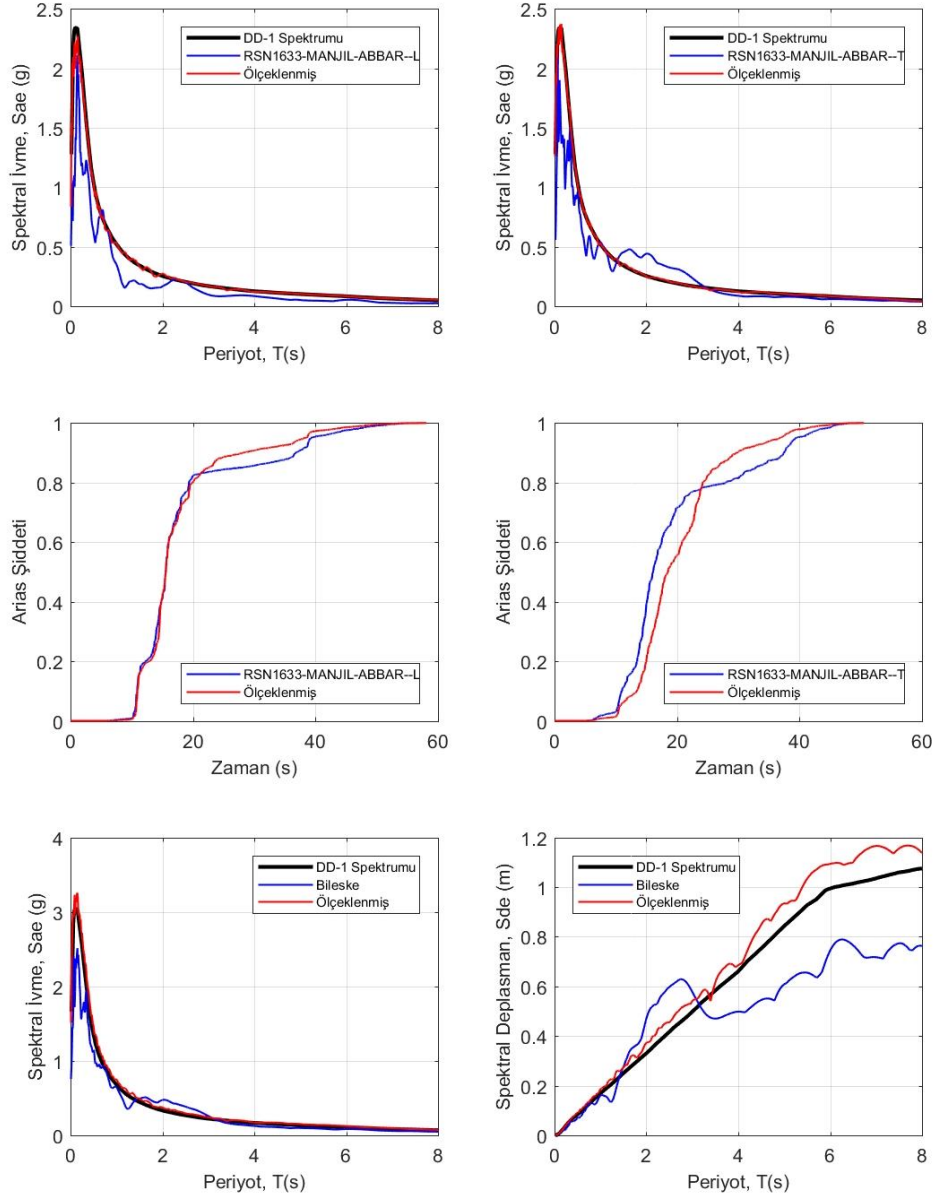
**Çizelge 2.2.** Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri

Deprem	Konum	Şiddet	Yüzeye Uzaklık (km)	Maksimum Yer İvmesi (g)	Maksimum Yer Hızı (cm/sn)	Süre (sn)
1990 Manjil	Abhar	7,3	18,5	0,209	55,44	53
1995 Kobe	JMA	6,9	21,9	0,833	90,77	20
1998 Hector Mine	Hector	7,1	27,0	0,330	44,50	22

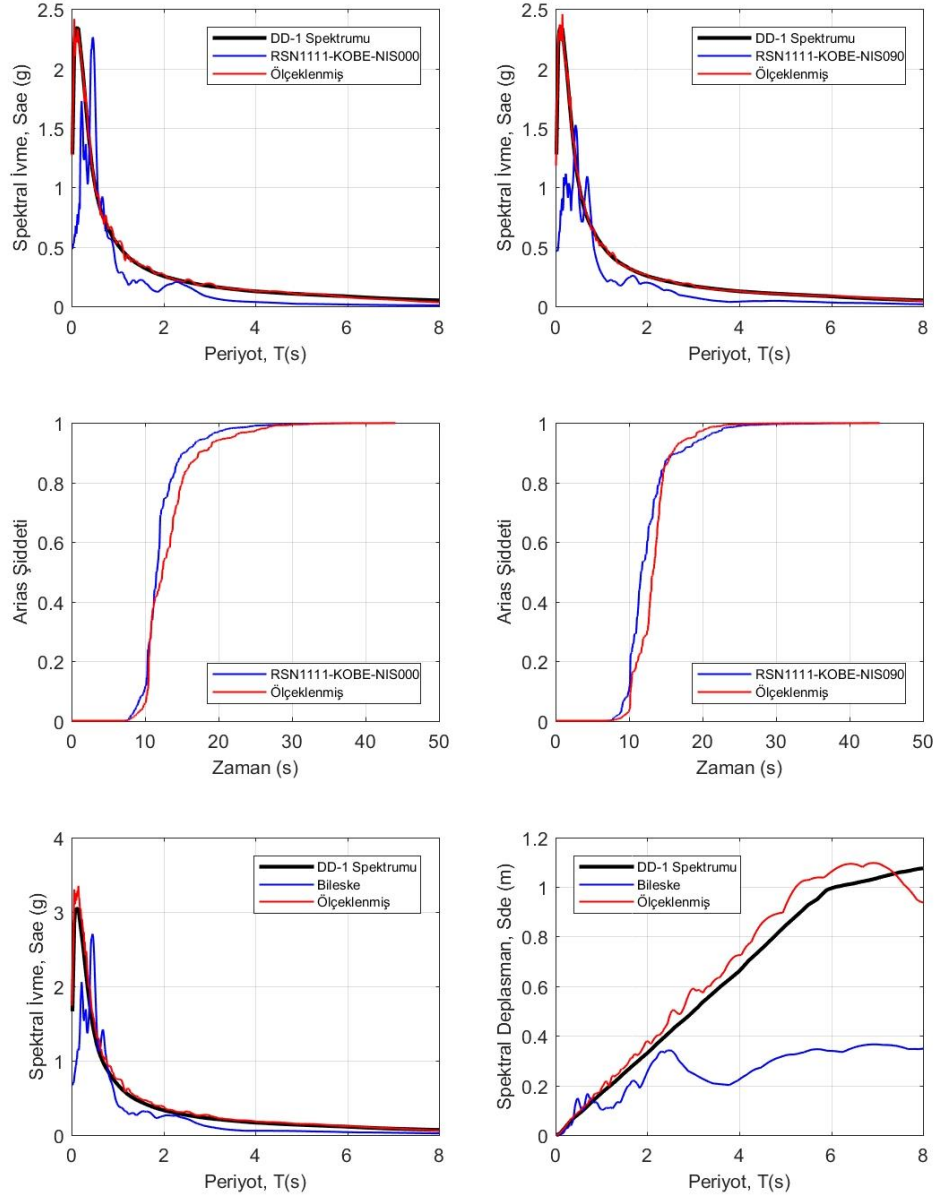
Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde, TBDY (ÇŞB, 2018) Bölüm 2.3.4’te verilen yatay elastik tasarım spektrumu kullanılmıştır. Üç deprem kaydının x ve y doğrultularındaki bileşenleri ile bu iki doğrultudaki ötelenmelerin bileşkelerine uygulanan ölçeklendirme işlemi ile ilgili detaylar, Şekil 2.9-2.11’de sunulmaktadır. Bu işlemler sonucu elde edilen ölçeklenmiş ivme, hız ve deplasman değerlerinin zamana bağlı değişimleri, Şekil 2.12-2.14’te gösterilmektedir. TBDY (ÇŞB, 2018) Bölüm 2.5.1 uyarınca, bu üç depreme ait toplam 11 kayıt analizlerde kullanılmıştır (Şekil 2.15).



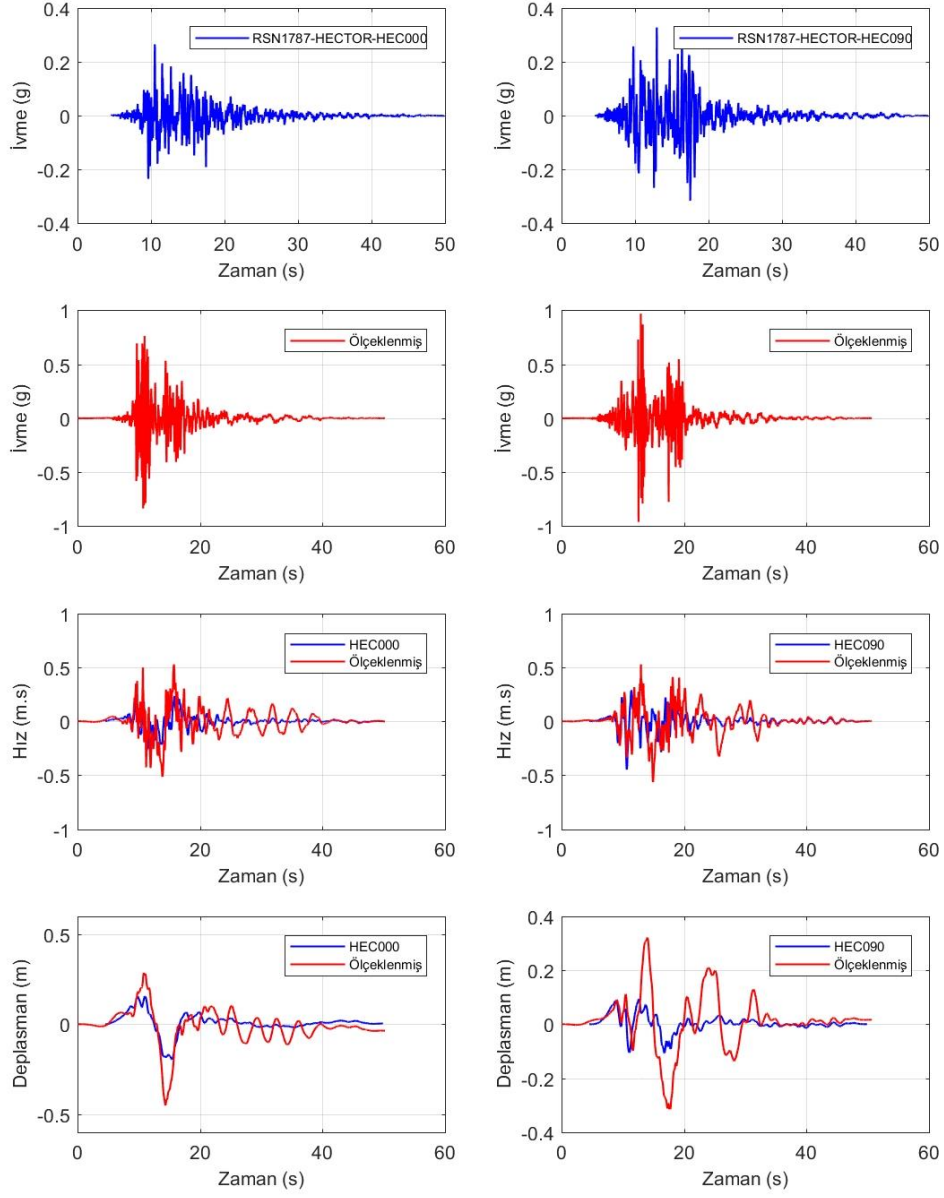
Şekil 2.9. 1999 Hector Mine depremine uygulanan ölçeklendirme işlemi



**Şekil 2.10.** 1990 Manjil depremine uygulanan ölçeklendirme işlemi

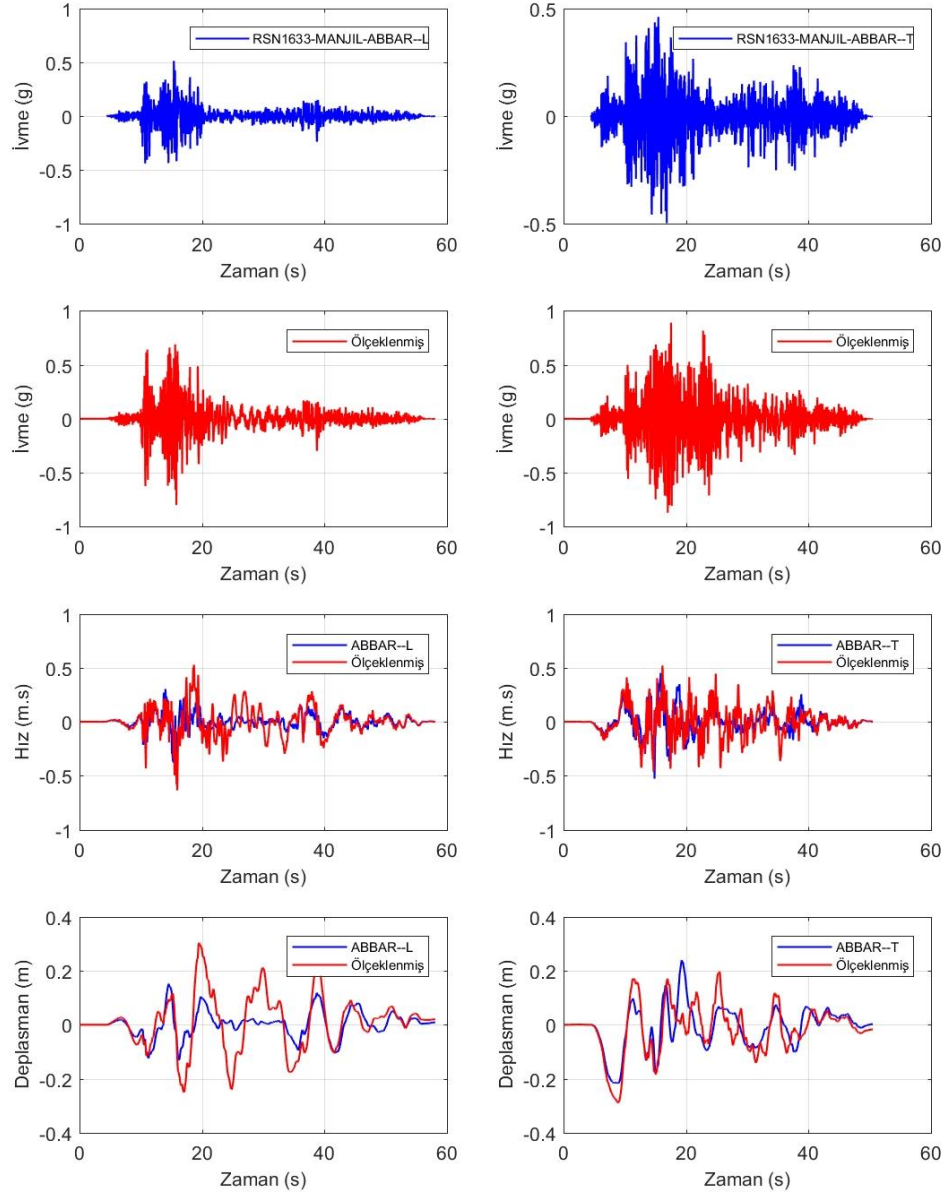


**Şekil 2.11.** 1995 Kobe depremine uygulanan ölçeklendirme işlemi

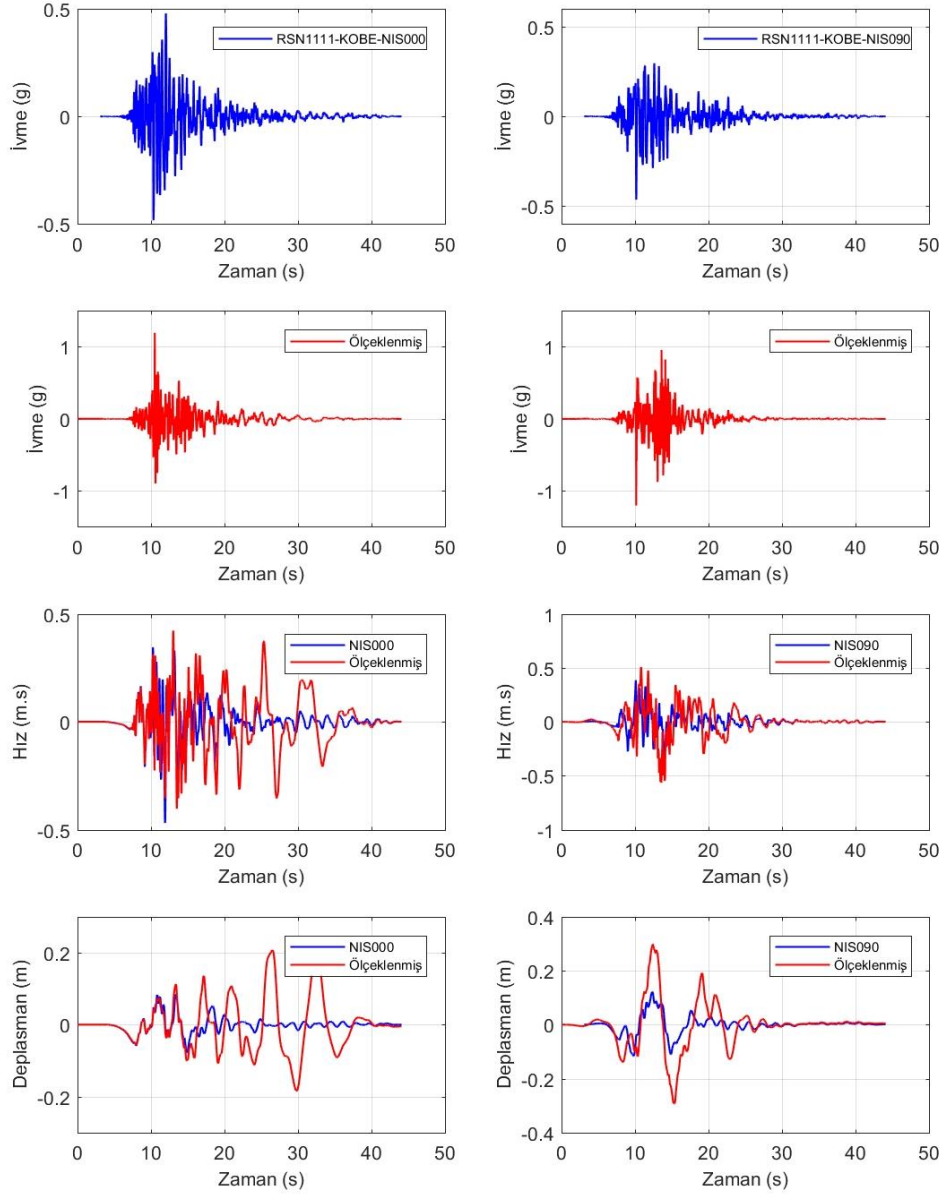


**Şekil 2.12.** 1999 Hector Mine depremine ait ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş değerler

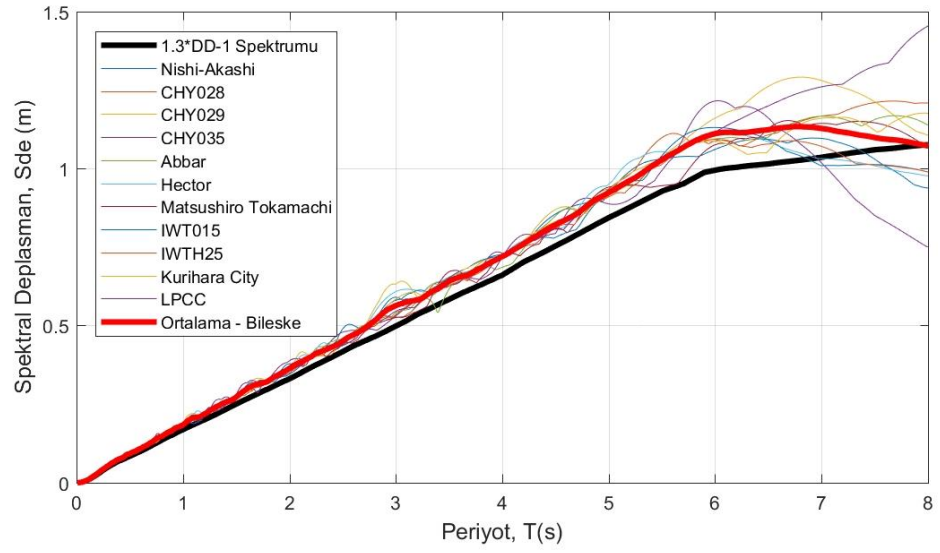
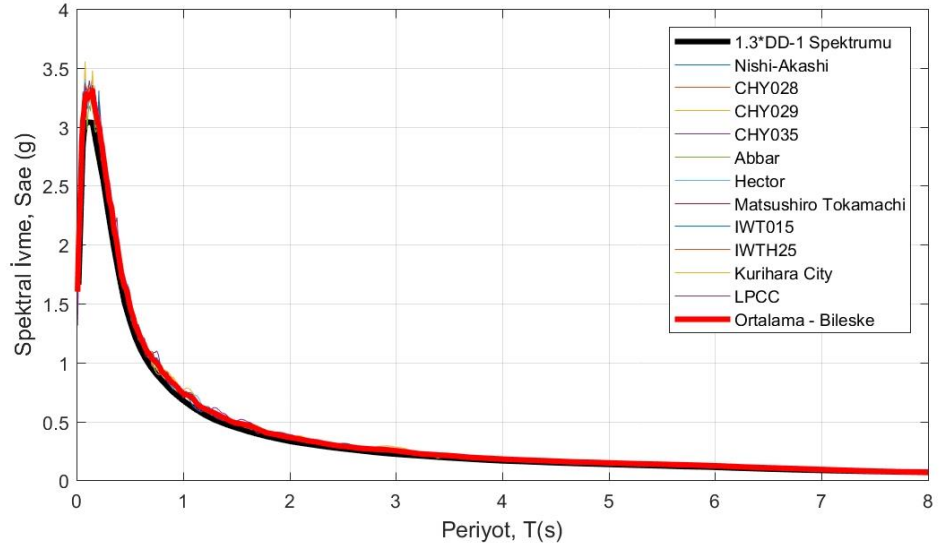




**Şekil 2.13.** 1990 Manjil depremine ait ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş değerler



**Şekil 2.14.** 1995 Kobe depremine ait ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş değerler



Şekil 2.15. Ölçeklendirme işleminde kullanılan kayıtların tümü

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

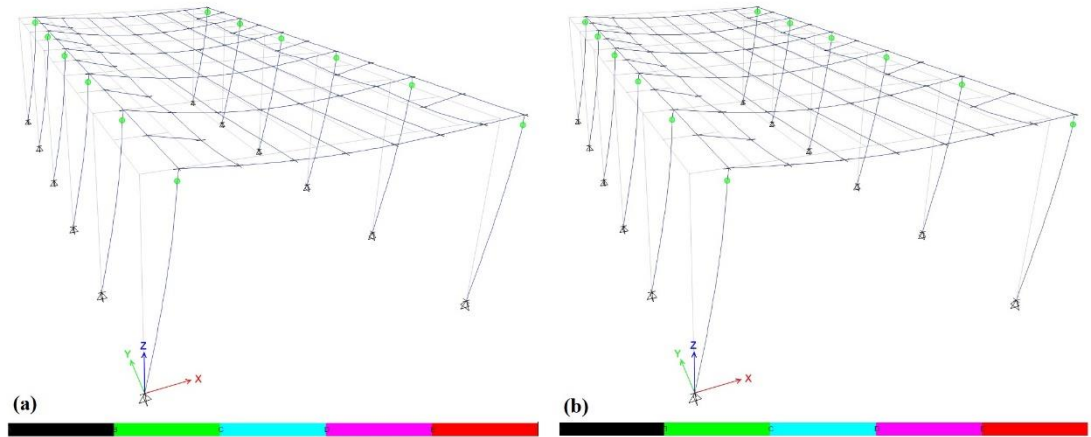
İki farklı birleşim tipinin, tek katlı ve geniş açıklıklı sanayi tipi yapıların deprem davranışlarına etkilerinin karşılaştırılmasında yapısal sistemde ortaya çıkan plastik mafsalların dönme kapasitelerinin aşılması ölçütü kullanılmıştır. Bu bölümün ilk alt bölümünde, farklı tekrarlanma periyodu değerlerine sahip deprem hareketleri altında (2475, 4950, 9900, 12375, 14850, 17325, 19800, 22225, 24750, 27225 yıl) HC ve SPC birleşimli yapı modellerinin birleşimlerinin durumlarını gösteren görsellerden faydalanılarak çerçeve davranışları karşılaştırılmıştır. Deprem hareketleri altındaki kat ötelenmeleri, çerçevelerin deprem davranışları hakkında çok sağlıklı bir fikir vermediği için karşılaştırmada yanal ötelenme ölçütü kullanılmamıştır. Ancak, gelecek çalışmalara ışık tutması ve araştırmacılara bilgi vermesi açısından yanal ötelenme grafikleri de bu tez çalışması kapsamında sunulmuştur.

#### 3.1. Kolon-Kiriş Birleşimlerindeki Dönme Açıları ve Zorlanmalar

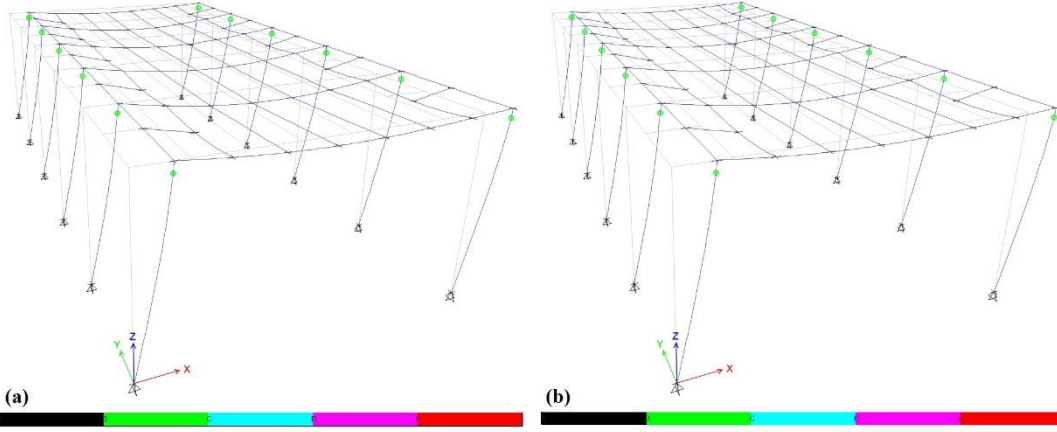
1999 Hector Mine yer hareketinin 2475, 4950, 9900, 12375, 14850, 17325, 19800 ve 22275 yıl tekrarlanma periyodu değerleri için yapılan analizlerin sonuçları Şekil 3.1-3.8'de gösterilmektedir. Her iki çerçeve modelindeki birleşimler de bu yer hareketinin 22275 yıl tekrarlanma periyodu altında göçmeye ulaştıkları için daha yüksek tekrarlanma periyodu değerlerine göre analizler yapılmamıştır. HC ve SPC birleşimli çerçeve modellerinin 1990 Manjil depreminin 2475, 4950, 9900, 12375, 14850, 17325, 19800, 22275, 24750 ve 27225 yıl tekrarlanma periyodu değerlerine göre yapılan doğrusal olmayan deprem analizi sonuçları Şekil 3.9-3.18'de gösterilmiştir. Her iki birleşim tipi de 27225 yıl dönüş periyotlu deprem hareketi altında göçmeye ulaştığı için daha yüksek periyot değerlerine göre analizler yapılmasına gereksinim duyulmamıştır. Son olarak, 1995 Kobe depreminin 2475, 4950, 9900, 12375, 14850, 17325, 19800 yıl tekrarlanma periyodu değerlerine göre yapılan zaman-tanım alanında analizlerin sonuçları, Şekil 3.19-3.25'te gösterilmiştir. HC ve SPC birleşimler, 19800 yıl tekrarlanma periyodu altında göçmeye ulaştığı için daha yüksek periyotlara göre

analiz yapılmasına ihtiyaç kalmamıştır.

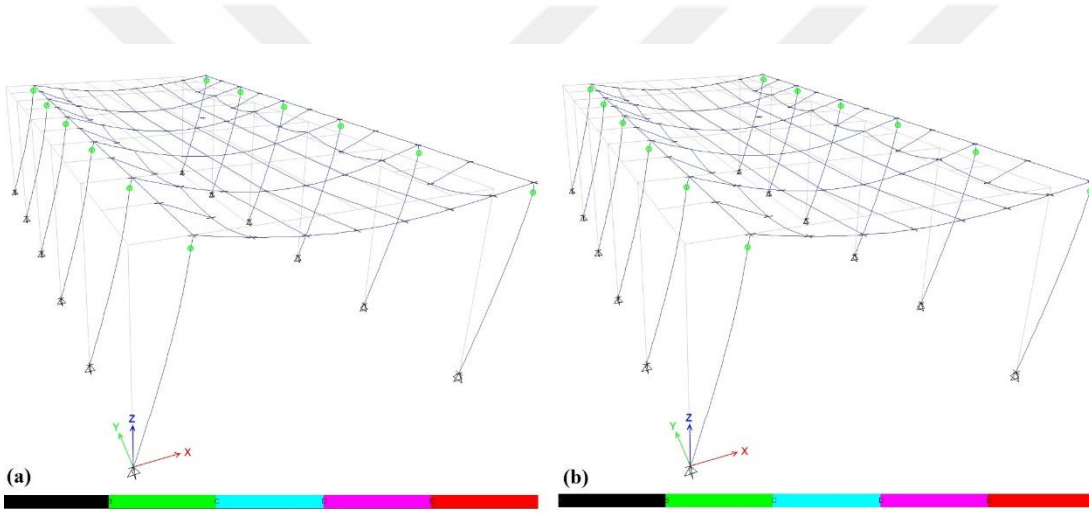
Şekil 3.1-3.25'te gösterilen grafiklerde, birleşimlerdeki dönme açlarına göre beş davranış bölgesi bulunmaktadır. A-B (gri) bölge, kolon uçlarında herhangi bir plastik davranışın olmadığını, yani elemanın tamamen elastik davranış bölgesinde kaldığını göstermektedir. B noktası eleman ucunda akma başlangıcını göstermektedir. Bu noktada, eleman ucundaki dönme açısı, akma dönme açısı ( $\theta_y$ ) değerine ulaşmaktadır. B-C (yeşil), C-D (açık mavi), D-E (lila) bölgeler, sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme öncesi (GÖ) performans seviyelerini sembolize etmektedir. E noktası ise, mafsallaşma bölgesinde göçmenin başladığını yani göçme sınır dönme açısına ulaşıldığını göstermektedir. Bölüm 2.1.2'de de ifade edildiği üzere, E noktası HC ve SPC birleşimlerde sırasıyla 0,04 ve 0,06 radyan dönme açısı değerlerine karşılık gelmektedir. Bu noktanın ötesinde yani mafsala kırmızı renkle gösterildiğinde, plastik mafsala tamamen stabilitesini ve dayanımını yitirmekte ve göçmeye ulaşmaktadır. Gerçekte, bu noktanın ötesinde de plastik mafsalda artık dayanım (residual strength) adı verilen bir kısmi eğilme momenti kapasitesi bulunmaktadır. Bu artık dayanım değeri, mafsaldaki dönme açısı  $11.\theta_y$  değerine ulaşmaya kadar korunur. Ancak, bu çalışma kapsamında incelenen birleşimlerin dönme sınır değerleri (0,04 ve 0,06 radyan), genellikle kiriş ve kolon ucu maksimum dönme açısı değerinden ( $11.\theta_y$ ) küçük olduğu için bu artık dayanım bölgeleri ihmal edilmiştir.



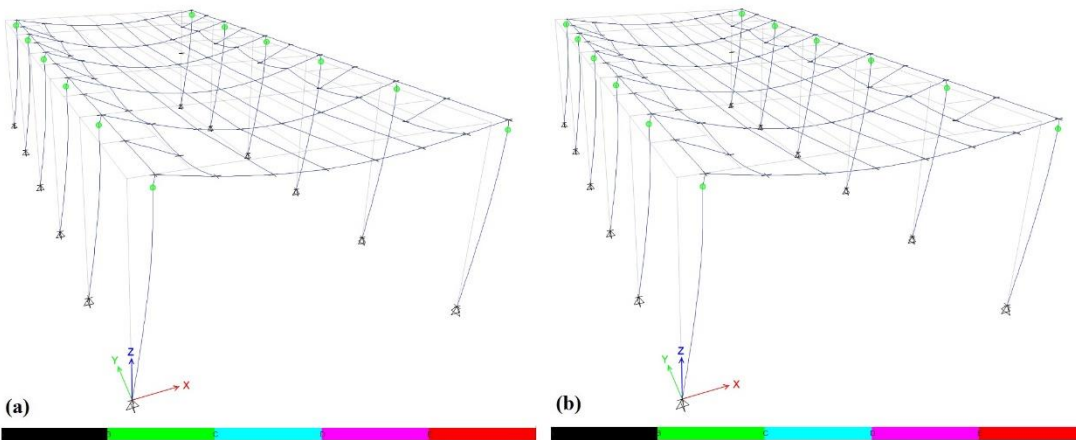
**Şekil 3.1.** 1999 Hector Mine deprem kaydının 2475 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



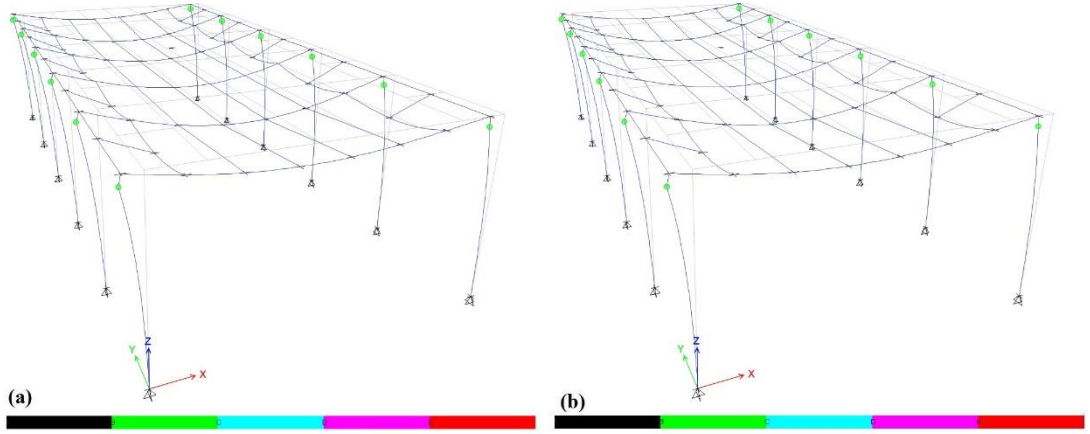
**Şekil 3.2.** 1999 Hector Mine deprem kaydının 4950 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



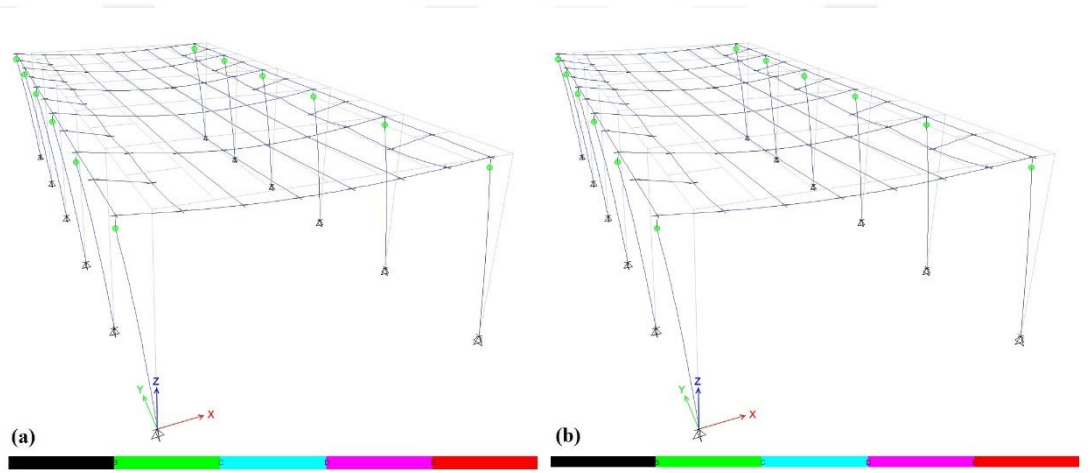
**Şekil 3.3.** 1999 Hector Mine deprem kaydının 9900 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



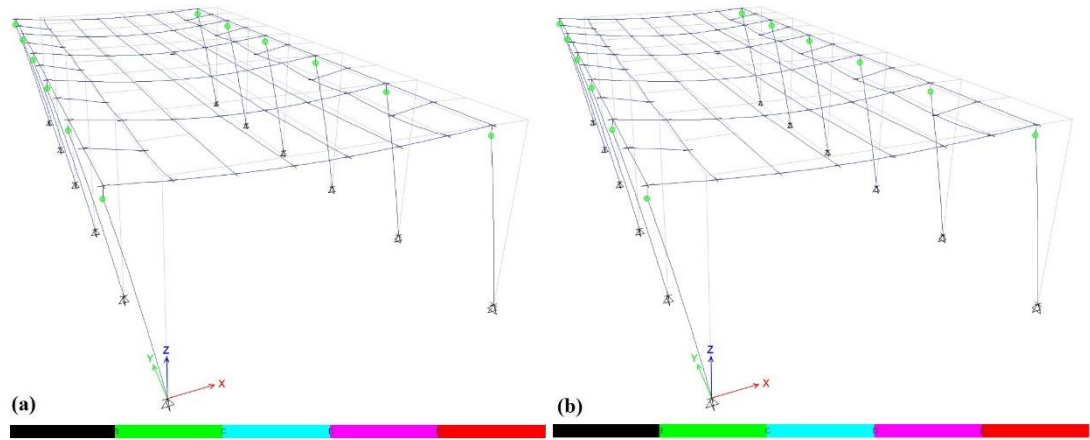
**Şekil 3.4.** 1999 Hector Mine deprem kaydının 12375 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



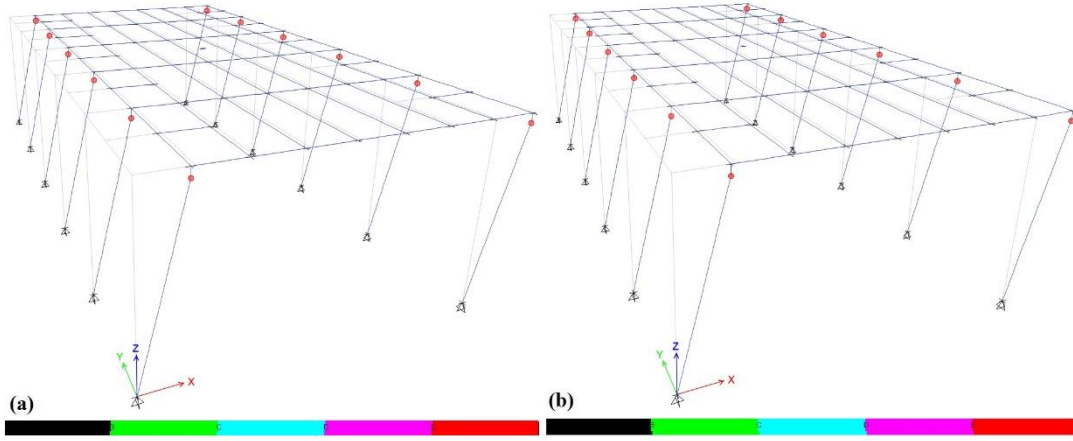
**Şekil 3.5.** 1999 Hector Mine deprem kaydının 14850 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



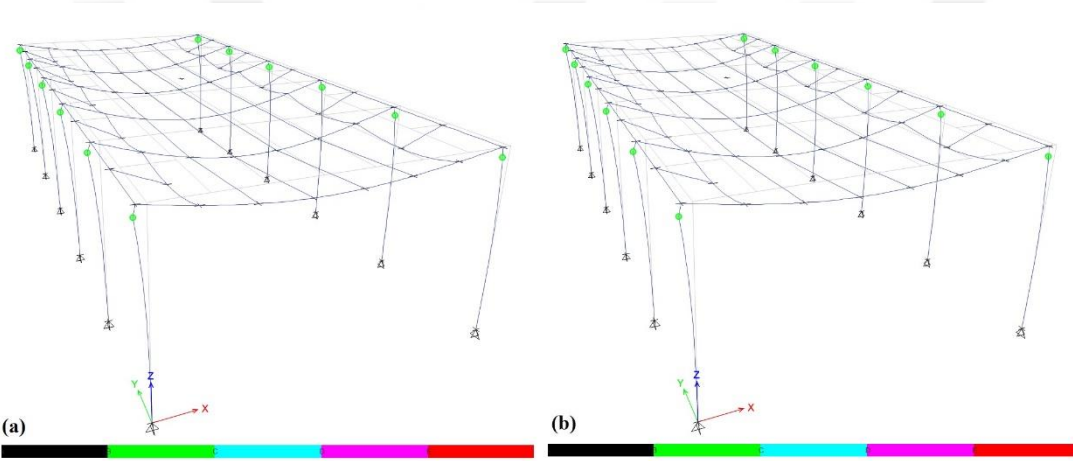
**Şekil 3.6.** 1999 Hector Mine deprem kaydının 17325 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



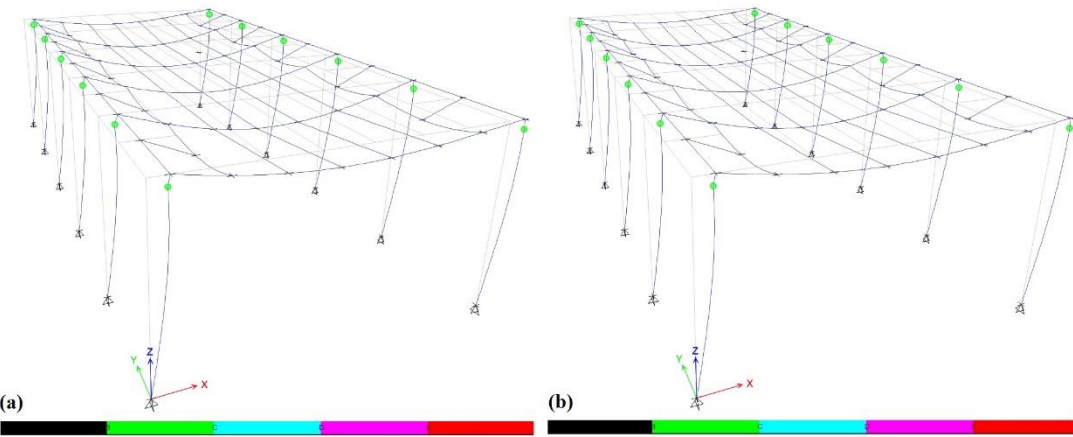
**Şekil 3.7.** 1999 Hector Mine deprem kaydının 19800 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



**Şekil 3.8.** 1999 Hector Mine deprem kaydının 22275 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu

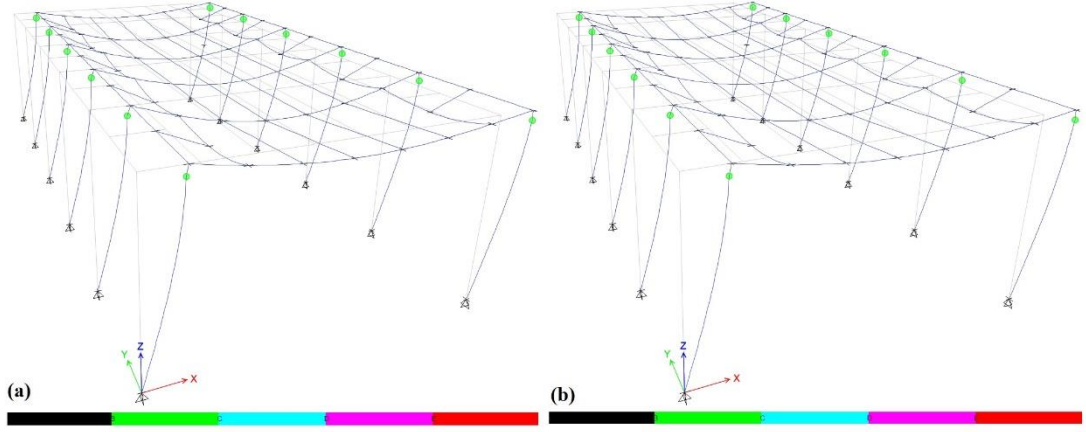


**Şekil 3.9.** 1990 Manjil deprem kaydının 2475 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu

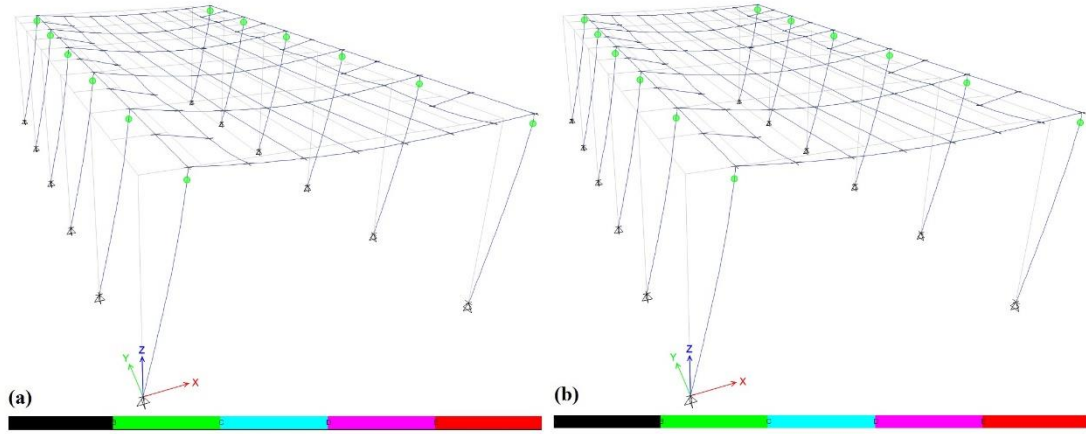


**Şekil 3.10.** 1990 Manjil deprem kaydının 4950 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu

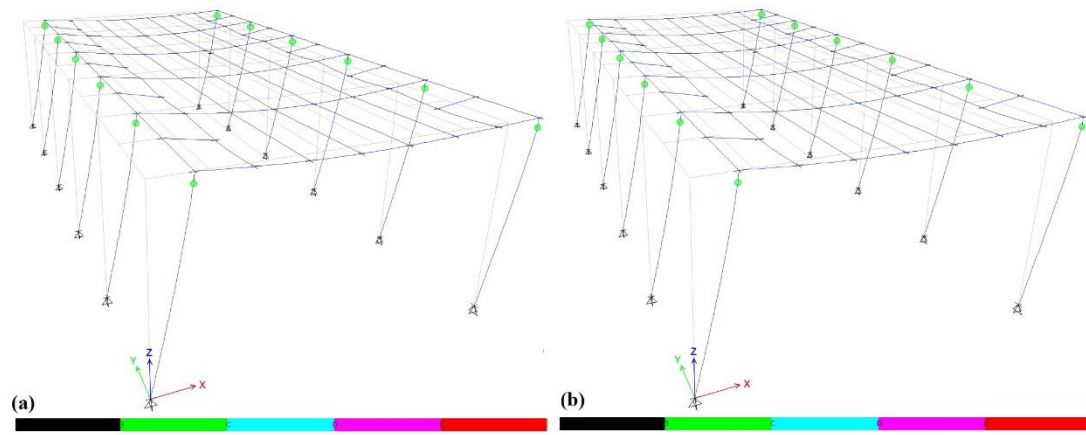




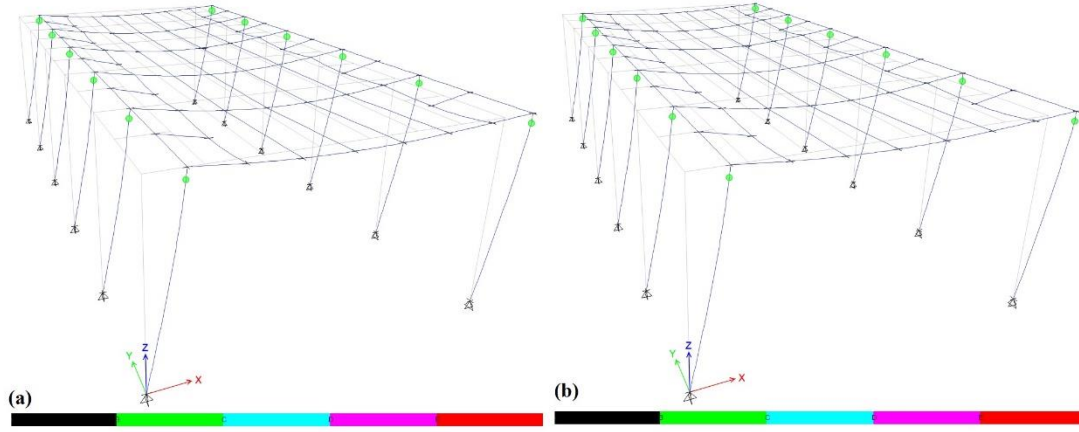
**Şekil 3.11.** 1990 Manjil deprem kaydının 9900 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



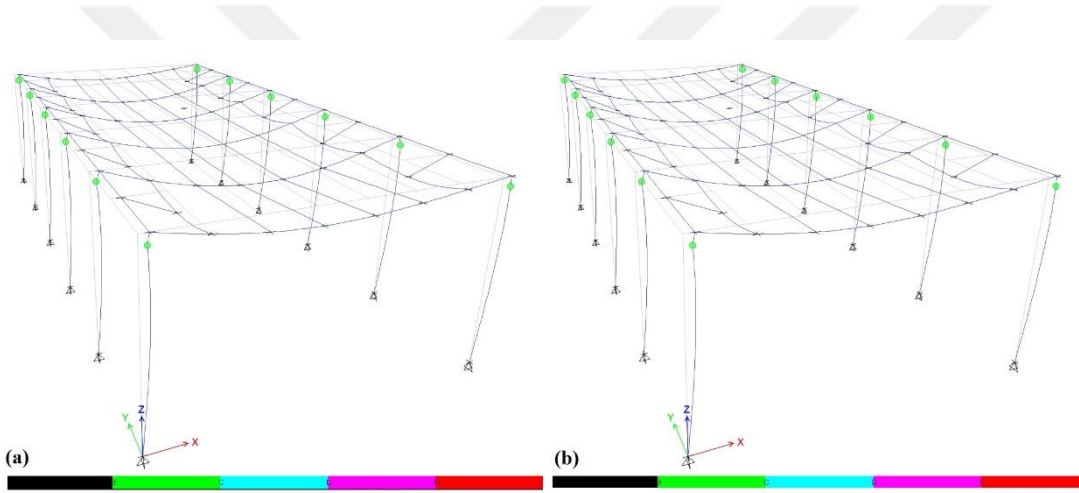
**Şekil 3.12.** 1990 Manjil deprem kaydının 12375 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



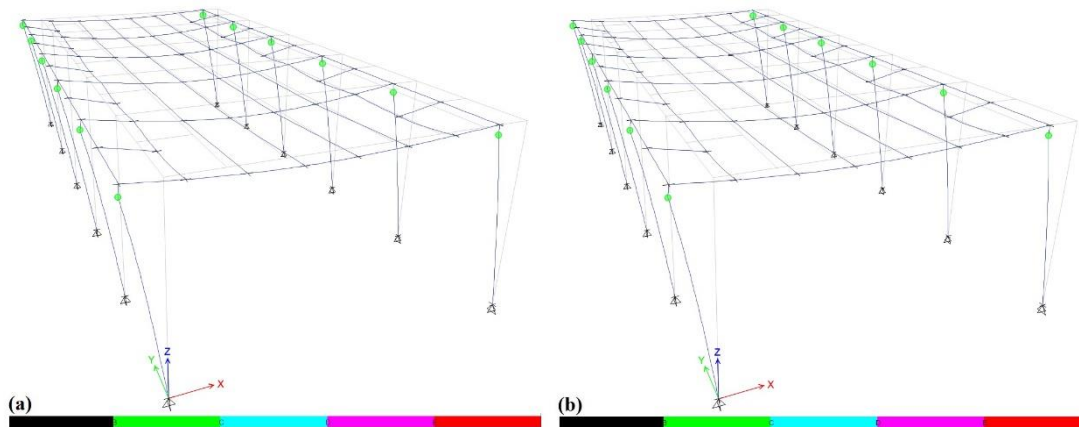
**Şekil 3.13.** 1990 Manjil deprem kaydının 14850 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



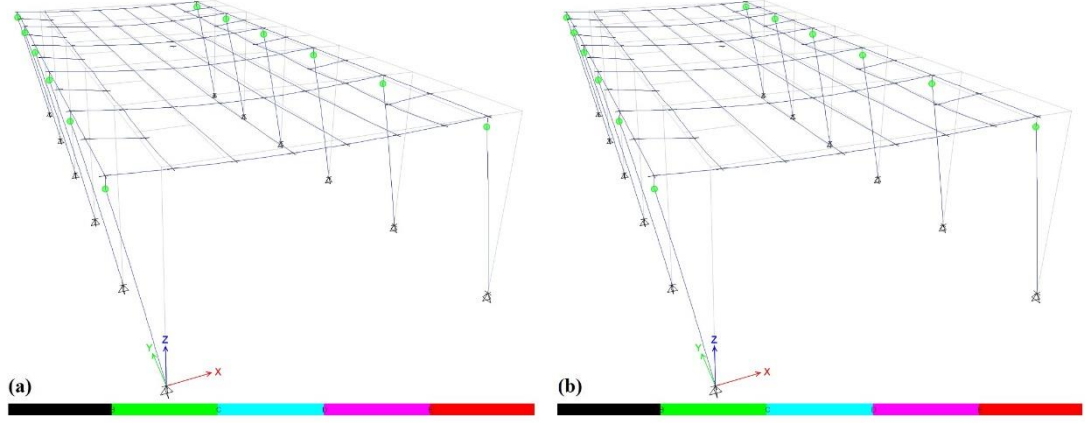
**Şekil 3.14.** 1990 Manjil deprem kaydının 17325 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



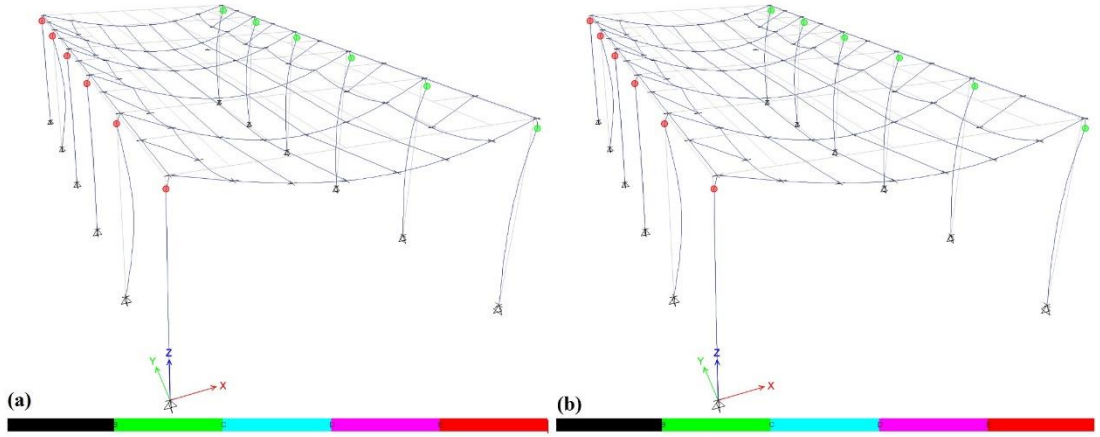
**Şekil 3.15.** 1990 Manjil deprem kaydının 19800 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



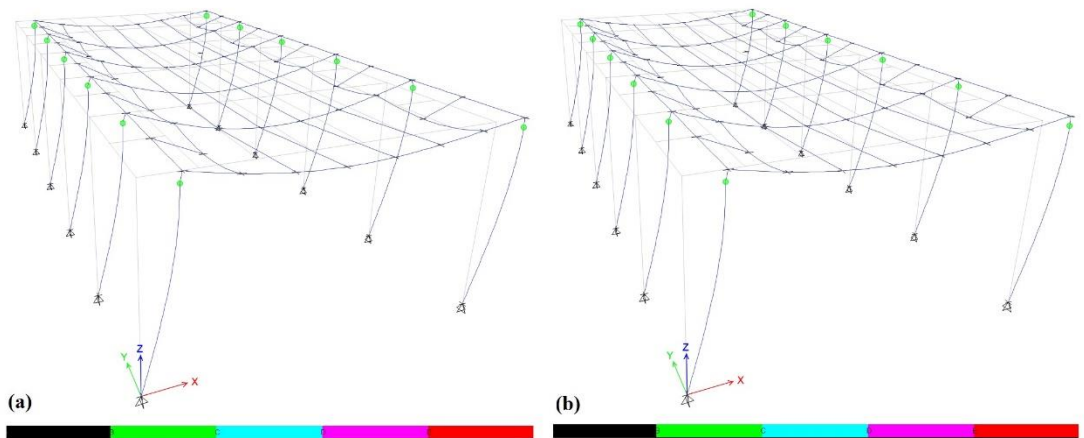
**Şekil 3.16.** 1990 Manjil deprem kaydının 22275 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



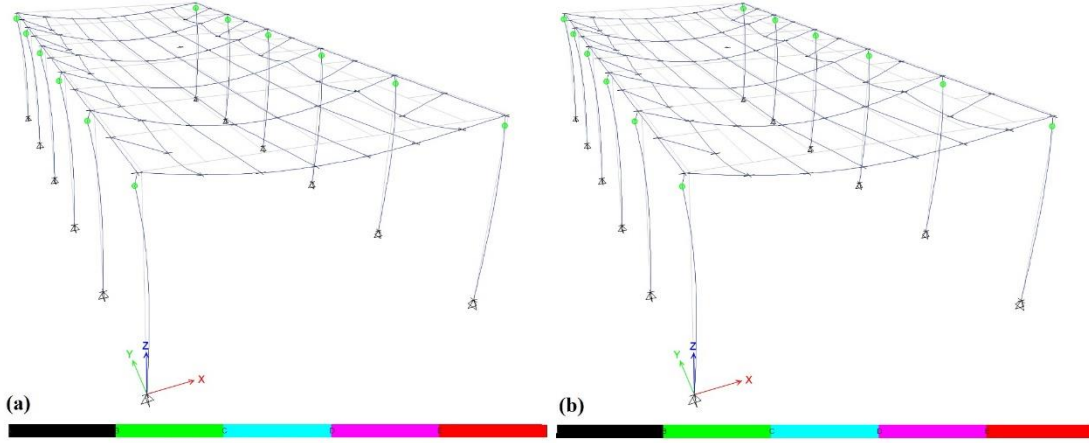
**Şekil 3.17.** 1990 Manjil deprem kaydının 24750 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



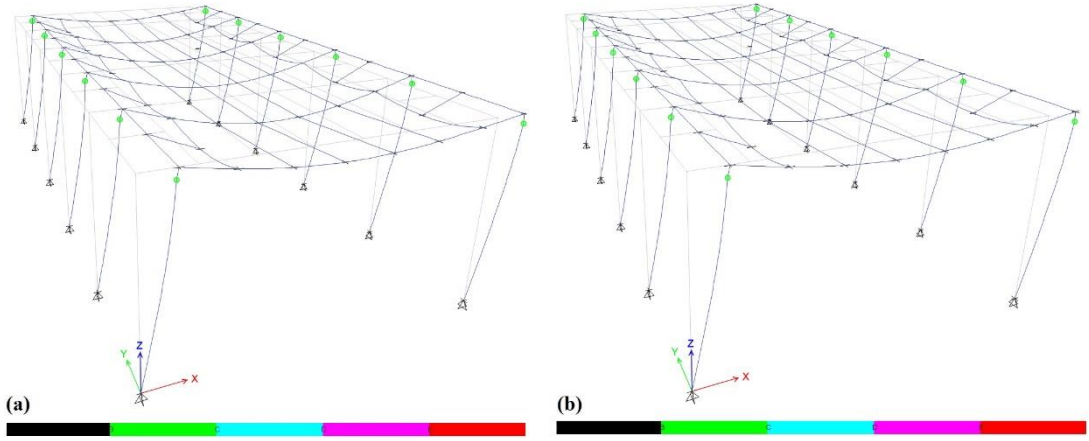
**Şekil 3.18.** 1990 Manjil deprem kaydının 27225 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



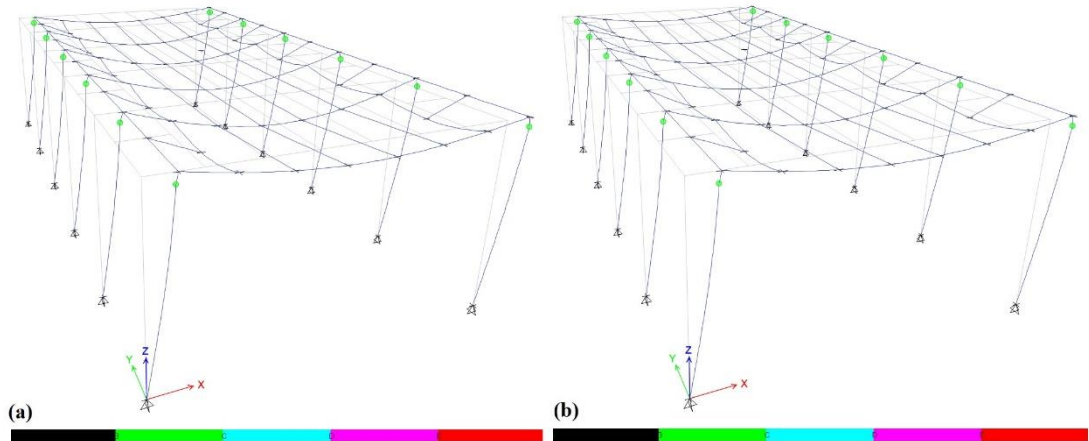
**Şekil 3.19.** 1995 Kobe deprem kaydının 2475 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



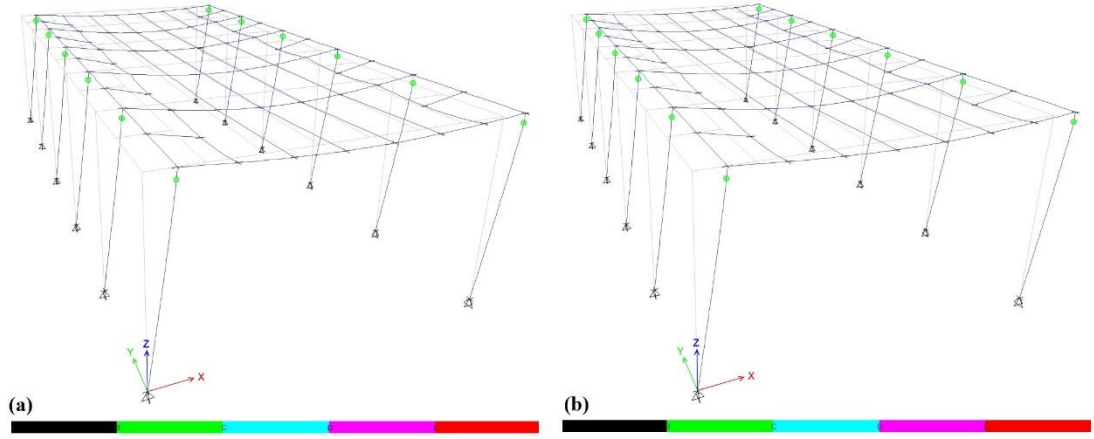
**Şekil 3.20.** 1995 Kobe deprem kaydının 4950 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



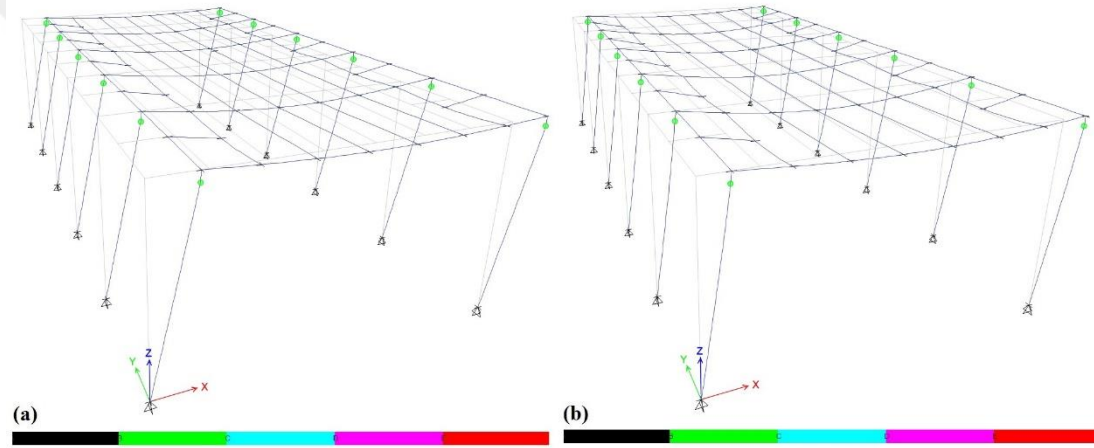
**Şekil 3.21.** 1995 Kobe deprem kaydının 9900 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



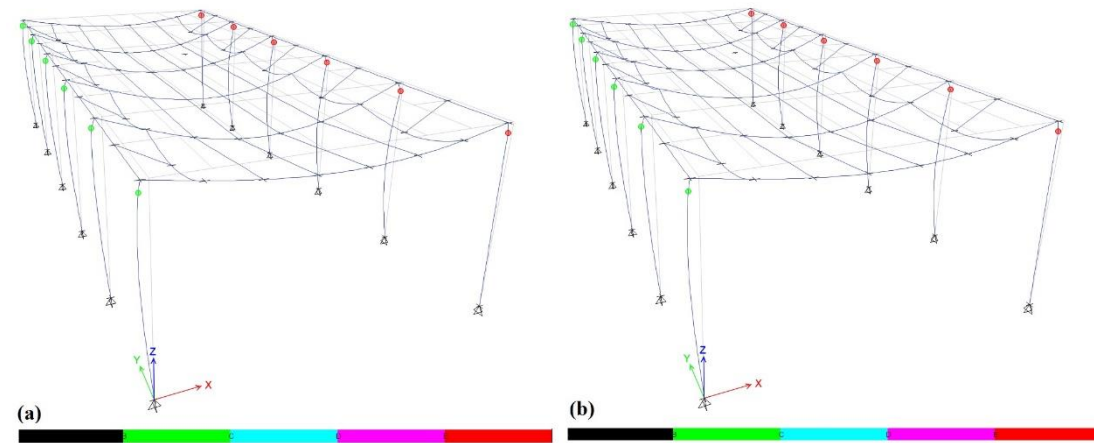
**Şekil 3.22.** 1995 Kobe deprem kaydının 12375 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



**Şekil 3.23.** 1995 Kobe deprem kaydının 14850 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



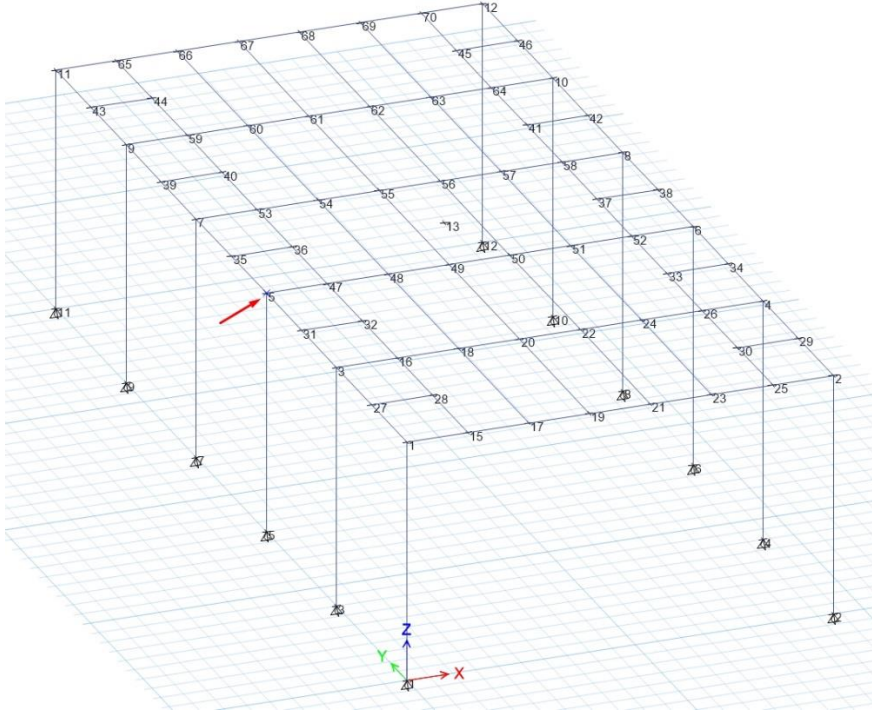
**Şekil 3.24.** 1995 Kobe deprem kaydının 17325 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu



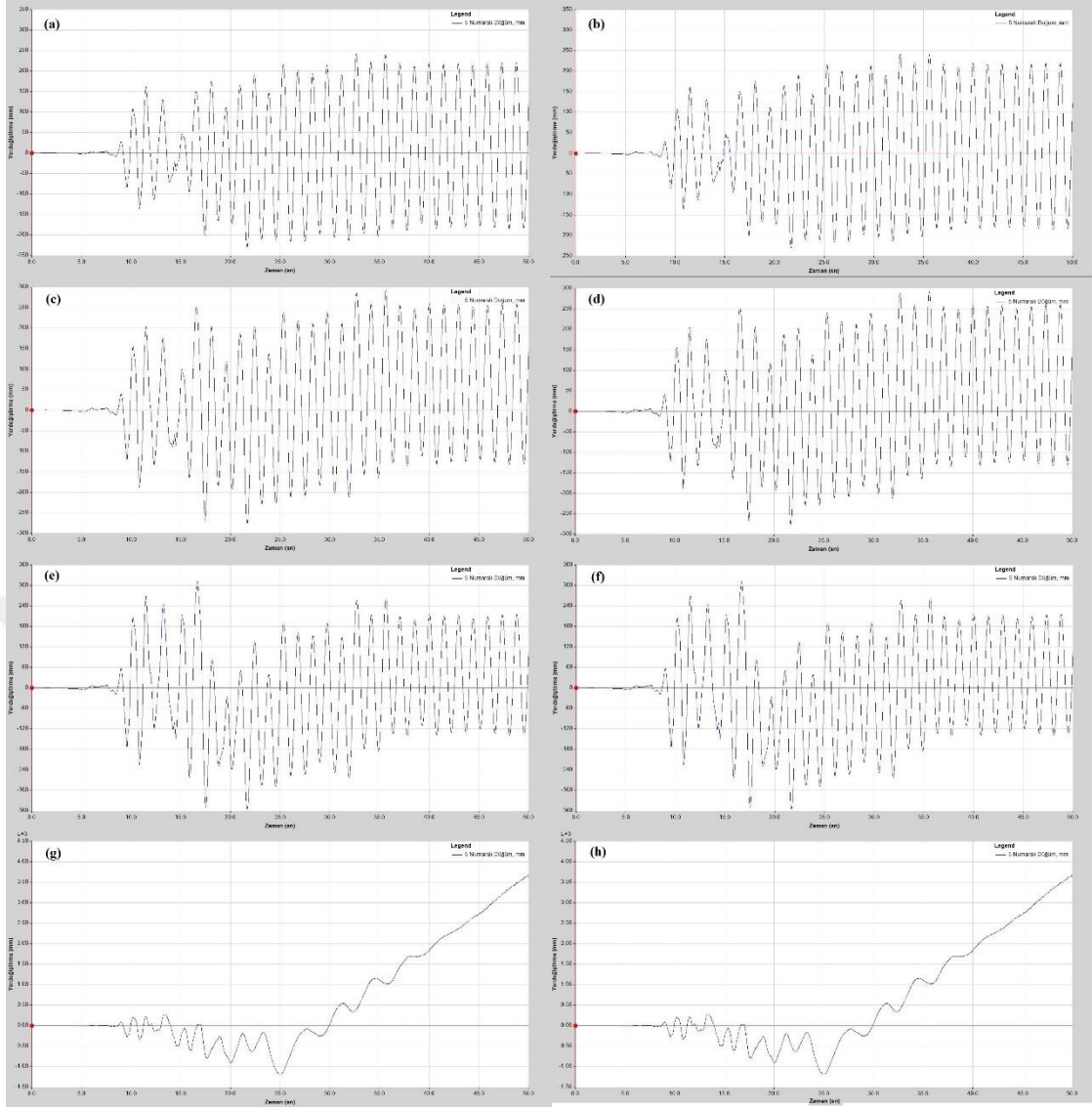
**Şekil 3.25.** 1995 Kobe deprem kaydının 19800 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli çerçevelerde birleşimlerin durumu

### 3.2. Kat Yatay Yer Değişimleri

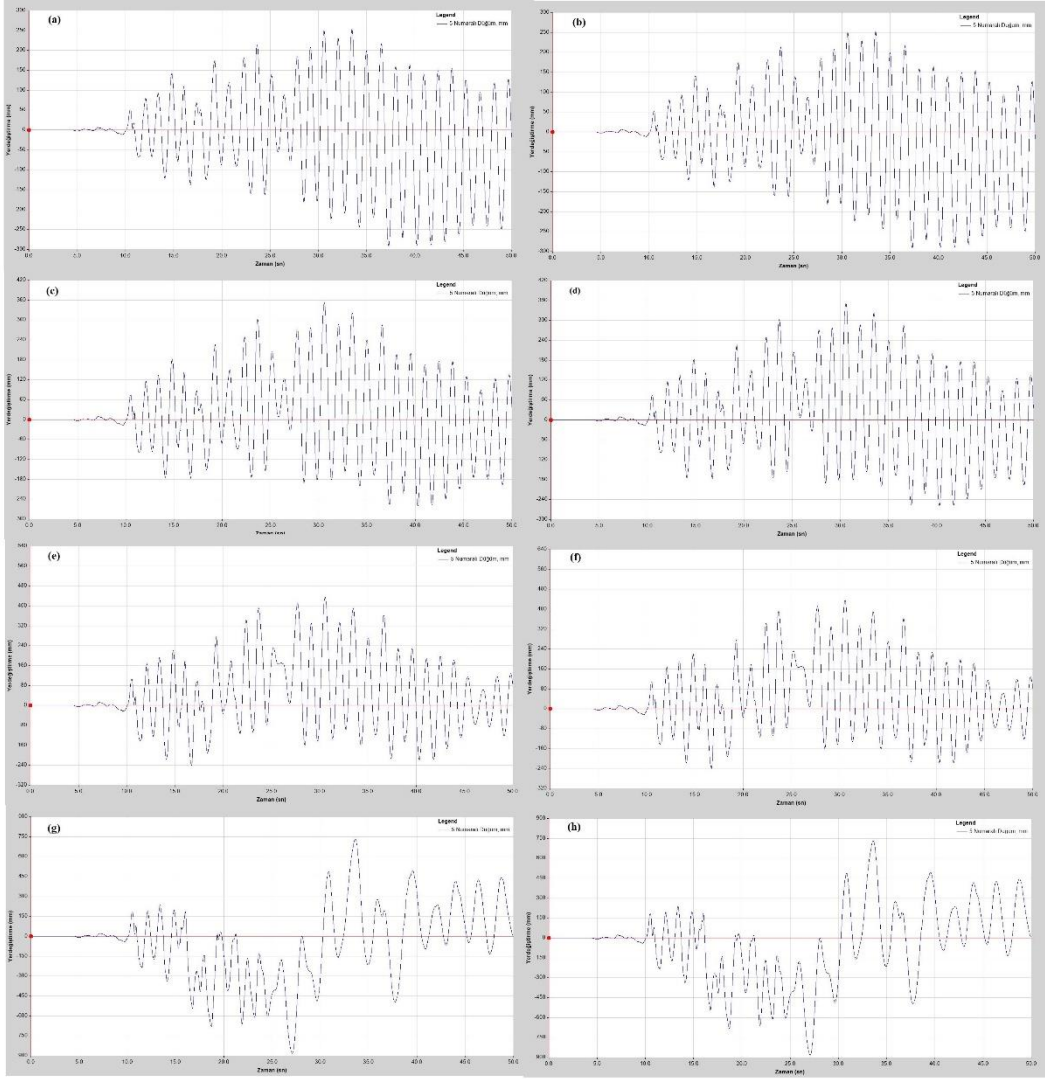
HC ve SPC kolon-kiriş birleşimlerine sahip tek katlı ve çok açıklıklı moment aktaran çelik çerçevelerin deprem davranışlarının karşılaştırılmasında kat ötelenmelerinin zamana bağlı değişimlerinden de faydalanılmıştır. Yanal ötelenmelerin okunduğu 5 nolu düğüm noktasının konumu Şekil 3.26’da gösterilmektedir. Her deprem kaydının dört farklı tekrarlanma periyodu değeri için sadece x doğrultusundaki yanal ötelenmelerin grafikleri çizilmiştir. Çerçevenin y doğrultusundaki kat ötelenmeleri, x doğrultusundaki ötelenmelere göre önemli derecede küçük olduğu için y doğrultusundaki ötelenmelerin incelenmesi gerekli görülmemiştir. Her deprem kaydının 2475, 4950 ve 9900 yıl dönüş periyodu değerlerinin yanı sıra birleşimlerde dönme kapasitesinin aşıldığı tekrarlanma periyodu değeri için çizilen grafikler de bu bölümde incelenmiştir. Buna göre, 1999 Hector Mine depreminin 2475, 4950, 9900 ve 22275 yıl tekrarlanma periyodu değerleri için elde edilen yanal ötelenme değerleri Şekil 3.27’de gösterilmektedir. 1990 Manjil depreminin 2475, 4950, 9900 ve 27225 yıl tekrarlanma periyodu değerleri için elde edilen yanal ötelenme değerlerine Şekil 3.28’de yer verilmektedir. Son olarak, 1995 Kobe depreminin 2475, 4950, 9900 ve 19800 yıl tekrarlanma periyodu değerleri için elde edilen yanal ötelenme büyüklükleri ise Şekil 3.29’da sunulmaktadır.



Şekil 3.26. Yanal ötelenmesi incelenen düğüm noktası

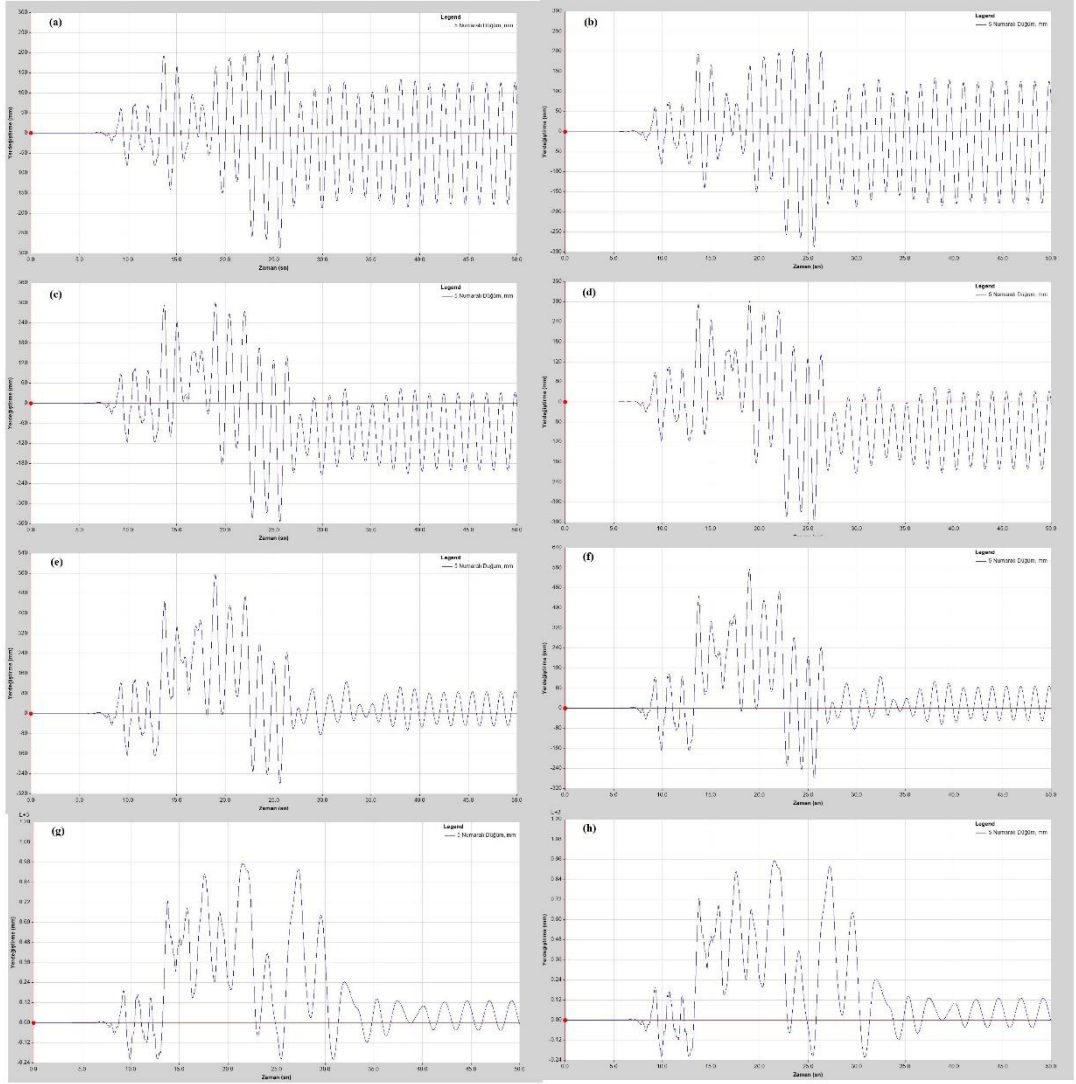


**Şekil 3.27.** 1998 Hector Mine depreminin x doğrultusundaki kaydı için (a) 2475 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (b) 2475 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (c) 4950 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (d) 4950 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (e) 9900 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (f) 9900 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (g) 22275 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 22275 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri



**Şekil 3.28.** 1990 Manjil depreminin x doğrultusundaki kaydı için (a) 2475 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (b) 2475 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (c) 4950 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (d) 4950 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (e) 9900 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (f) 9900 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (g) 27225 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 27225 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri





**Şekil 3.29.** 1995 Kobe depreminin x doğrultusundaki kaydı için (a) 2475 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (b) 2475 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (c) 4950 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (d) 4950 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (e) 9900 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (f) 9900 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (g) 19800 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 19800 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri

### 3.3. Bulgular

Üç deprem kaydının, HC ve SPC birleşimlerde göçmenin ortaya çıkması için gerekli tekrarlanma periyodu değerleri Çizelge 3.1’de gösterilmektedir. Şekil 3.8, 3.18 ve 3.25’ten görüleceği üzere, tek katlı ve çok açıklıklı moment aktaran çelik çerçeve sistemlerde birleşimin dönme kapasitesinin ve rijitliğinin artmasının çerçeve deprem davranışına önemli bir etkisi yoktur. Bu durumun başlıca sebebi, tek katlı çerçevelerde

plastik mafsallaşmanın kolon uçlarında meydana gelmesidir.

**Çizelge 3.1.** HC ve SPC birleşimli çerçevelerde birleşim göçmesinin meydana geldiği dönüş periyodu değerleri

Deprem Kaydı	Birleşim Çeşidi	
	HC	SPC
1998 Hector Mine	22275 yıl	22275 yıl
1990 Manjil	27225 yıl	27225 yıl
1995 Kobe	19800 yıl	19800 yıl

Yani birleşimin dayanım, süneklik ve rijitliğinin artması, çerçeve davranışını etkilemez, çünkü mafsallar birleşimlerin yer aldığı kat seviyesinin altındaki noktalarda oluşmaktadır. Dolayısıyla, bu seviyenin üstündeki yapısal sistemde yapılan iyileştirmelerin, genel deprem davranışına katkısı olmaz ve çerçeveler kolon ucu plastik dönme sınırına ulaşıldığı anda göçmeye ulaşır. Bu çalışma kapsamında yapılan analizler, 0,04 radyan dönme açısı kapasitesine sahip HC birleşim yerine 0,06 radyan plastik dönme limitine sahip olan SPC birleşimlerin kullanılması ile genel çerçeve deprem davranışında önemli bir düzeltme sağlanamayacağını göstermiştir. Her iki birleşim tipi için de birleşimlerde göçmenin ortaya çıktığı deprem tekrarlanma periyodu değerleri özdeştir, yani SPC birleşimler çerçevelerin süneklik değerlerine ve dayanımlarına katkı yapmamıştır.

Üç deprem hareketi arasında, yapılar üzerinde en büyük etkiye sahip olan kaydın 1995 Kobe depremi olduğu görülmüştür. Çizelge 2.2'den de görüleceği üzere, seçilen deprem kayıtları arasında en kısa süreye ve en büyük PGA değerine sahip olan deprem, 1995 Kobe depremidir. Bilindiği üzere, yapının yüksekliği arttıkça doğal titreşim periyodu da artar. Dolayısıyla, tek katlı olan ilgili yapının doğal periyodu küçüktür ve etki süresi kısa olan Kobe depremiyle dinamik özellikler açısından benzerlikler taşımaktadır. Bu çalışmanın analiz sonuçlarından da anlaşılacağı üzere, daha uzun süreli depremler daha büyük doğal periyotlu yüksek yapıları, daha kısa etki süreli depremler de daha düşük doğal periyotlu kısa yapıları daha fazla etkileme potansiyeline sahiptirler. Aynı sonuca, Şekil 3.29'dan da ulaşılabilir. 1995 Kobe depreminin etki süresinin 10-25 saniyeler arasında kalan bölümünde deprem hareketi ile kısa periyotlu yapı rezonansa yaklaşmış ve yapıdaki yanal ötelenmeler çok artmıştır. Diğer iki deprem kaydında, depremin yapıya etkisi daha uzun bir sürece yayılmış ve etki düzeyi azalmıştır.

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tek katlı ve çok açıklıklı depo, antrepo ve fabrika gibi yapılarda kolon-kiriş birleşimlerinin genel yapı davranışına etkilerinin araştırıldığı bu çalışma kapsamında zaman-tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Faylanma şekli, faya uzaklığı, şiddeti ve zemin koşulları açılarından yapının yer aldığı varsayılan konuma benzeyen üç adet deprem kaydı seçilmiştir. 1990 Manjil, 1995 Kobe ve 1998 Hector Mine depremine ait 11 adet kayıt, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (ÇŞB, 2018) tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir ve ölçeklendirilmiş bu kayıtlar analizlerde kullanılmıştır. Bu deprem kayıtları, farklı tekrarlanma periyodu değerlerine sahip olacak şekilde yeniden düzenlenmiş ve farklı şiddetlere sahip deprem hareketleri teşkil edilmiştir. Tekrarlanma periyodu değerlerinin seçilmesinde, DD-1 deprem düzeyinin (2475 yıl) tam katları kullanılmıştır. Bu sayede, birleşimlerin göçmeye ulaşacağı deprem düzeyleri, deprem tekrarlanma periyodu cinsinden ifade edilmeye çalışılmıştır.

Analizlerde modellenen tek katlı yapı, x doğrultusunda tek açıklık ve y doğrultusunda toplam beş açıklıklıdır. Bu yapıda iki farklı birleşim türü (geleneksel guseli ve alın levhalı ile yan levhalı) kullanılarak, iki farklı yapı modeli teşkil edilmiştir. Her iki birleşim şekli de tam kısıtlanmış (FR) tipi birleşim sınıfında yer almaktadır.

Yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesinde birleşimlerin plastik dönme açıları kullanılmıştır. Birleşim bölgelerindeki dönme açısının sınır değerini belirlemek ve plastik mafsalları tanımlamak için, kolon ucu dönme sınırı, kiriş ucu dönme sınırı ve birleşimin izin verilen sınır dönme açısı değerleri esas alınmıştır. Bu üç sınır değerden en kritik olanı, birleşimin izin verilen sınır dönme açısıdır. Bu nedenle, plastik mafsallar noktalarının, birleşimin sınır dönme açısına (0,04 ve 0,06 radyan) ulaştıklarında göçmeye ulaştıkları ve devre dışı kaldıkları kabul edilmiştir.

Yapılan analizler, tek katlı geniş yapılarda birleşimlerin rijitlik ve dönme kapasitelerinin artırılmasının, yapının deprem performansına katkı sağlamadığını

göstermiştir. Bu çalışma kapsamında analiz edilen yan levhalı birleşimli çerçevenin göçmeye ulaştığı deprem tekrarlanma periyodu değerleri, geleneksel birleşimli çerçeve modelinin ilgili değerleri ile aynıdır. Yani yan levhalı birleşim kullanımı, bu gibi yapıların karşılayabileceği deprem düzeyinde bir artış meydana getirmemiştir. Ulaşılan bu sonucun en büyük nedeni, plastik mafsallaşmanın birleşim düzeyinin altında, yani kolon elemanı içinde ortaya çıkmış olmasıdır. Çerçevelerdeki nihai göçme, kolon uçlarında ortaya çıkan mafsallarda dönme kapasitesinin aşılması kaynaklıdır. Yani kat seviyesindeki birleşimlerde yapılan iyileştirmeler, çerçeve davranışı üzerinde hiçbir etkiye sahip değildir. Aynı durum, kat ötelenmelerinin zamana bağlı değişimi incelendiği zaman da görülmektedir. İki farklı çerçeve modelinin aynı deprem hareketinin aynı tekrarlanma periyodu altındaki kat ötelenme değerleri çok yakındır, yani çerçeve rijitlikleri birleşim tipinden etkilenmemiştir.

Üç farklı deprem hareketi arasında karşılaştırılma yapıldığında, kısa süreli ve büyük yer ivmesi değerlerine sahip 1995 Kobe depreminin çerçeveler üzerinde daha yıkıcı etkileri olduğu görülmektedir. 20 saniye süren ve 0,883g PGA değerine sahip olan 1995 Kobe depreminin 19800 yıl dönüş periyotlu seviyesi altında her iki çerçeve modeli de göçmeye ulaşırken, 53 saniye süren ve 0,209g PGA değerine sahip 1990 Manjil depreminin 27225 yıl dönüş periyotlu seviyesinde göçme meydana gelmiştir. Kat ötelenmelerinin zamana bağlı değişimlerinden de anlaşıldığı üzere, kısa süreli ve şiddetli depremler, doğal titreşim periyotları düşük olan az katlı ve geniş yapılarda daha büyük etkilere sahiptir. Yer hareketinin kısa sürmesi ve yapının salınımlarını kısa sürede tamamlaması deprem anında frekans örtüşmesi oluşturmakta ve yapının daha çok etkilenmesine neden olmaktadır.

## KAYNAKLAR

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2018). Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. <https://tdth.afad.gov.tr/>

American Institute of Steel Construction (AISC) (2016a). Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications (ANSI/AISC 358-16), Chicago, Illinois, U.S.A.

American Institute of Steel Construction (AISC) (2016b). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 341-16), Chicago, Illinois, U.S.A.

American Institute of Steel Construction (AISC) (2016c). Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 341-16), Chicago, Illinois, U.S.A.

American Society of Civil Engineers (ASCE) (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE 41-17), Reston, Virginia, U.S.A.

Bruneau, M., Uang, C. M. ve Sabelli, R. (2011). *Ductile design of steel structures*. New York: McGraw Hill.

Chou, C. C., Tsai, K. C., Wang, Y. Y. ve Jao, C. K. (2010). Seismic rehabilitation performance of steel side plate moment connections. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 39, 23-44, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1002/eqe.931>

Computers and Structures, Inc. (CSI) (2022). ETABS Building Analysis and Design v. 20.2.0, Walnut Creek, CA, U.S.A.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018). Ankara.

Deylami, A. ve Ashraf, R. (2004). Moment resisting connection with sideplate (geometric aspect). *Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering (13 WCEE)*, Vancouver, Canada, 1-6 August.

Engelhardt, M. D. ve Sabol, T. A. (1998). Reinforcing of steel moment connections with cover plates: Benefits and limitations. *Engineering Structures*, 20 (4-6), 510-520, 1998]. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(97\)00038-2](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(97)00038-2)

Faridmehr, I., Osman, M. H., Tahir, M. B. M., Nejad, A. F. ve Hodjati, R. (2015). Seismic and progressive collapse assessment of SidePlate moment connection system, *Structural Engineering and Mechanics*, 54 (1), 35-54. DOI: <http://dx.doi.org/10.12989/sem.2015.54.1.035>

Huang, Y. Q., Hao, J. P., Bai, R., Fan, C. L. ve Xue, Q. (2020) Mechanical behaviors of side-plate joint between walled concrete-filled steel tubular column and H-shaped steel beam. *Advanced Steel Construction*, 16 (4), 346–353. DOI: <https://doi.org/10.18057/IJASC.2020.16.4.7>

Jalali, S. A., Banazadeh, M., Abolmaali, A. ve Tafakori, E. (2012). Probabilistic seismic demand assessment of steel moment frames with side-plate connections. *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering*, 19 (1), 27-40.

Liu, H., Hao, J., Xue, Q. ve Sun, X. (2021). Seismic performance of a wall-type concrete-filled steel tubular column with a double side-plate I-beam connection. *Thin Walled Structures*, 159, 107175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107175>

Liu, H. C., Hao, J. P., Xue, Q. ve Huang, Y. Q. (2021). Stress response and initial stiffness of side plate connections to WCFT columns. *Advanced Steel Construction*, 17 (3), 306-317. DOI: <https://doi.org/10.18057/IJASC.2021.17.3.9>

MiTek (2022). Research and Development. <https://www.sideplate.com/r-d/>

Roeder, C. W., Lumpkin E. J. ve Lehman, D. E. (2011). A balanced design procedure for special concentrically braced frame connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 67 (11), 1760-1772. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.04.016>

Shiravand, M. R. ve Deylami, A. (2010). Application of full depth side plate to moment connection of I-beam to double-I column. *Advanced Structural Engineering*, 13 (6), 1047-1062.

Shuhaibar, C., López, W. A. ve Sabelli, R. (2002). Buckling-restrained braced frames. *Proceedings, ATC-17-2, Seminar on Response Modification Technologies for Performance-Based Seismic Design*, Los Angeles, California, U.S.A., 30-31 May.

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB) (2020). Türkiye Hava Meydanları Yapıları Yönetmeliği (THMYY 2020). Ankara.

Zhang, W., Jia, S., Xiong, X., Chen, Z., Liu, H., Su, T. ve Du, Q. (2021). Investigation of side plate connections in an S-CFST column frame under a column-loss scenario. *Structures*, 32, 1302-1319. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.03.039>



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serdar AKÇA

Doğum Tarihi : 1987

Yabancı Dil : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lisans : Selçuk Üniversitesi, 2011

Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi, 2023

Çalıştığı Kurum : TEDAŞ Genel Müdürlüğü, 2014

### Araştırma Alanları

Çelik Yapılar

Performansa Dayalı Yapı Tasarımı

Deprem Mühendisliği