



T.C.

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAN LEVHALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN YÜKSEK
SÜNEK MOMENT AKTARAN ÇELİK ÇERÇEVELERİN
DEPREM DAVRANIŞLARINA KATKILARININ DOĞRUSAL
OLMAYAN ZAMAN-TANIM ALANINDA ANALİZ
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

GÖKHAN YÜKSEL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. İlker KALKAN

KIRIKKALE - 2023



T.C.

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAN LEVHALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN YÜKSEK
SÜNEK MOMENT AKTARAN ÇELİK ÇERÇEVELERİN
DEPREM DAVRANIŞLARINA KATKILARININ DOĞRUSAL
OLMAYAN ZAMAN-TANIM ALANINDA ANALİZ
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

GÖKHAN YÜKSEL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. İlker KALKAN

KIRIKKALE – 2023

Gökhan YÜKSEL tarafından hazırlanan “YAN LEVHALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN YÜKSEK SÜNEK MOMENT AKTARAN 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

İmza

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

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.

Gökhan YÜKSEL

11.02.2023

ÖZET

YAN LEVHALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN YÜKSEK SÜNEK MOMENT AKTARAN 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, 77 sayfa

Bu çalışmanın amacı, yan levhalı kolon-kiriş birleşim (SPC) detayının süneklik derecesi yüksek moment aktaran çelik çerçeveli (SMF) sistemlerin deprem davranışlarına katkılarının belirlenmesidir. Bu bağlamda, her iki doğrultuda dörder açıklıklı ve dört katlı bir çelik çerçeve modeli kullanılmıştır. Geleneksel alın levhalı (HC) ve yan levhalı (SPC) kolon-kiriş birleşim detaylarına sahip iki farklı çerçeve, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş üç deprem kaydı (1990 Manjil, 1995 Kobe, 1999 Hector Mine) altında analiz edilmiştir. Analizlerde depremlerin sadece x ve y doğrultularındaki yatay yer değiştirme kayıtları kullanılmış ve düşey yer değiştirme bileşenleri ihmal edilmiştir. Doğrusal olmayan zaman-tanım alanında deprem analizi yöntemi kullanılarak, farklı deprem tekrarlanma periyodu değerlerine göre (2475, 4950, 9900, 12375, 14850, 17325, 19800, 22275, 24750, 27225, 29700, 32175 yıl) yapılan analizler sonucu, yapıda iki farklı birleşim tipinin bulunması durumunda ortaya çıkacak birleşim bölgesi zorlanmaları ortaya konulmuştur. Bilindiği üzere, tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan deprem, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan maksimum depremi, yani DD-1 deprem düzeyini yansıtmaktadır. Analizde kullanılan diğer tekrarlanma periyodu değerleri, DD-1 deprem düzeyinin tekrarlanma periyodunun (2475 yıl) sırasıyla 2, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 katını temsil etmektedir. Bu şekilde deprem şiddeti artırılarak, yapıyı daha çok zorlayacak deprem hareketleri oluşturulmuş ve iki birleşim türünün varlığının yapının elastik olmayan davranışına etkileri araştırılmıştır.

Yapının yer aldığı konumdaki yerel zemin sınıfı ZD olarak alınmıştır. TBDY 2018 Tablo 5.1C'ye uygun olarak, SMF sistemlerde sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme öncesi (GÖ) performans hedeflerine karşılık gelen kiriş dönme sınırlarının, akma dönmesinin (θ_y), sırasıyla 1, 6 ve 9 katı olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca, alın

levhalı ve yan levhalı kolon-kiriş birleşimlerinin maksimum dönme kapasitelerinin sırasıyla 0,04 rad (TBDY 2018 Tablo 5C.3) ve 0,06 rad (ANSI/AISC 358-16 Bölüm 11.3) olduğu varsayılmıştır. Çerçevede kullanılan bütün kiriş kesitlerinde, kirişlerde göçmenin başladığı dönme değerleri ($9\theta_y$), birleşim sınır dönme değerinden (0,04 ve 0,06 radyan) yüksek olduğu için, birleşimlerdeki göçmenin kiriş dönme kapasitesinin aşılmasından değil, birleşimdeki dönme sınırlarının aşılmasından kaynaklandığı gözlemlenmiştir.

Üç farklı deprem hareketinin farklı tekrarlanma periyodu değerlerine göre yapılan analizler, alın levhalı birleşimli çerçevelerde 14850 yıl dönüş periyotlu depremler altında birçok birleşimin tamamen göçtüğünü, yan levhalı birleşimli çerçevelerde ise göçmenin başladığı tekrarlanma periyodu değerinin 19800 yıla çıktığını göstermiştir. Her iki birleşim çeşidi için de en kritik davranışlar, 1990 Manjil depremi etkisi altında ortaya çıkmıştır. Üç deprem kaydı arasında en küçük PGA (maksimum yer ivmesi) değerinin 1990 Manjil depremine ait olmasına rağmen bu depremin süresinin uzun olması (53 saniye) birleşimler için zorlayıcı olmuştur. Dolayısıyla, yan levhalı birleşimin SMF sistem davranışına en ciddi katkısı, bu deprem kaydı altında ortaya çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Yüksek sünek moment aktaran çerçeve, 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 SPECIAL MOMENT 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, 77 pages

The present study aimed at investigating the contribution of the side-plated beam-column connection detail to the seismic behavior of special moment frame (SMF) systems. Within this respect, a steel moment frame model with four bays in each of the planar directions and four stories was used in the present study. Two frames with conventional end plate (HC) and side-plate (SP) types of beam-column connections were analyzed under 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. Only the displacement records of the earthquakes in the x and y planar directions were used in the analyses and the vertical displacement components of the seismic records were ignored. By conducting nonlinear time history analyses for varying return periods (2475, 4950, 9900, 12375, 14850, 17325, 19800, 22275, 24750, 27225, 29700, 32175 years) of each earthquake, the responses of the two types of beam-column connections (HC and SPC) were unveiled. As known, the earthquake with a probability of exceedance of 2% in 50 years reflects the DD-1 earthquake level. The remaining return periods correspond to 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 times the respective period of the DD-1 earthquake. In this way, earthquake motions, having greater effects on the structure, were produced by increasing the seismic intensity and the influence of the presence of the SPC connection on the nonlinear behavior of SMF was examined.

The type of soil, on which the analyzed structure is assumed to rest, was taken ZD. The limiting plastic rotation angles corresponding to the immediate occupancy (IO), life safety (LS) and collapse prevention (CP) performance levels was taken 1, 6 and 9, respectively, times the generalized yield rotation (θ_y) of the beam according to TBEC 2018 Table 5.1C. What's more, the rotational capacities of the HC and SPC

connections were assumed to be 0,04 (TBEC 2018 Table 5C.3) and 0,06 radians (ANSI/AISC 358-16 Section 11.3), respectively. Since the CP plastic rotation angles ($9\theta_y$) in all of the frame beams exceed the rotational capacities of the beam-column connections (0,04 and 0,06 radians), the connection failure originated from the exceedance of the connection rotational capacity rather than the limiting rotation of the beam end.

The analyses for different return period values of the three seismic records indicated that a majority of the conventional end plate (HC) connections failed under an earthquake with a return period of 14850 years, while the connection failure started at a return period of 19800 years for identical seismic records. The most critical connection behavior aroused under the influence of Manjil 1990 earthquake in the presence of both connection types. Although the smallest PGA value belongs to the 1990 Manjil earthquake among the three records, the longest duration (53 seconds) of this particular earthquake had higher degrees of influence on the beam-column connections. For this reason, the greatest contribution of the SPC connection to SMF behavior was observed in the analyses with the Manjil 1990 earthquake.

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

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tezimin hazırlanmasının bütün safhalarında her daim şahsıma karşı son derece destekçi ve anlayışlı olan Sayın Hocam Prof. Dr. İlker KALKAN 'a,

Mühendislik hayatımda kendisini tanıdığım anı milat kabul ederek, profesyonel hayatımı kendisini tanımadan önce ve tanıdıktan sonra olmak üzere iki safhaya ayırdığım değerli Hocam Sayın Dr. Şamil Şeref POLAT 'a

Zorlu araştırmalar ve tartışmalar yapıp, anlaşılmayan hiçbir konu kalmayana kadar enerjisini ve azmini kaybetmeyen ve bütün süreç boyunca beni yanında taşıyan, değerli dostum ve kardeşim Sayın Serdar AKÇA 'ya,

Bütün süreç boyunca sabırla ve karşılıksız olarak bana destek veren Sevgili Eşime,

Sonsuz Teşekkürler...

Saygılarımla.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Çelik Çerçeve Sistemleri.....	1
1.2. Moment Aktaran Sistem Davranışı ve Kolon-Kiriş Birleşimleri.....	10
1.3. Kaynak Özetleri	15
1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	17
2. MATERYAL VE METOD.....	19
2.1. Yapısal Model.....	19
2.1.1. Çerçeve Özellikleri	19
2.1.2. Birleşim Özellikleri	22
2.2. Deprem Kayıtları	27
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	36
3.1. Kolon-Kiriş Birleşimlerindeki Dönme Açılı ve Zorlanmalar	36
3.2. Kat Yatay Yer Değiştirmeleri	60
3.3. Bulgular.....	61
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR	65
EKLER	68
EK-A.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

2.1. HC ve SPC birleşimlerde dönme sınırları	24
2.2. Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri	27
3.1. HC ve SPC birleşimli çerçevelerde birleşim göçmesinin meydana geldiği dönüş periyodu değerleri	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

SAYFA

1.1. Elastik ve elastik olmayan yapısal deprem tasarım esasları.....	3
1.2. (a) Kolon mafsallaşması; (b) kiriş mafsallaşması sonucu ortaya çıkan çerçeve göçme şekilleri.....	4
1.3. (a) OCBF ve SCBF; (b) EBF sistemler için çapraz düzenleri	6
1.4. OCBF ve SCBF sistemlerde göçme şekilleri.....	7
1.5. EBF sistemlerde göçme şekilleri.....	8
1.6. BRBF sistemler için çapraz düzenleri.....	8
1.7. Guseli (haunched) kolon-kiriş birleşimi (Dlubal, 2022)	11
1.8. SPC bağlantı özellikleri	13
2.1. Analizlerde kullanılan çerçeve modeli.....	20
2.2. Eleman kesiti ve alan yükleme detayları: (a) tüm sistem; (b) deprem (yatay yük taşıyıcı) çerçeveler	21
2.3. Analizlerde kullanılan kolon-kiriş birleşim çeşitleri: (a) HC; (b) SPC	22
2.4. Örnek HC moment aktaran birleşim	22
2.5. Analizlerde kullanılan HC birleşimin boyutları ve özellikleri: (a) boy kesit; (b) en kesit; (c) üst görünüş.....	23
2.6. HC birleşim moment-dönme ilişkileri	25
2.7. Örnek SPC birleşim (MiTek, 2022).....	25
2.8. Analizlerde kullanılan SPC birleşimin boyutları ve özellikleri: (a) boy kesit; (b) en kesit; (c) üst görünüş	26
2.9. SPC birleşim moment-dönme ilişkileri.....	27
2.10. 1999 Hector Mine depreminin ölçeklendirilmesi	29
2.11. 1990 Manjil depreminin ölçeklendirilmesi	30
2.12. 1995 Kobe depreminin ölçeklendirilmesi	31
2.13. 1999 Hector Mine depremine ait ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş ivme, hız ve yer değiştirme kayıtları	32
2.14. 1990 Manjil depremine ait ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş ivme, hız ve yer değiştirme kayıtları	33
2.15. 1995 Kobe depremine ait ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş ivme, hız ve yer değiştirme kayıtları	34
2.16. Tüm kayıtların tasarım spektrumuna göre ölçeklenmesi	35

3.1. 1999 Hector Mine deprem kaydının 2475 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	37
3.2. 1999 Hector Mine deprem kaydının 4950 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	38
3.3. 1999 Hector Mine deprem kaydının 9900 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	39
3.4. 1999 Hector Mine deprem kaydının 12375 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu.....	40
3.5. 1999 Hector Mine deprem kaydının 14850 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu.....	41
3.6. 1999 Hector Mine deprem kaydının 17325 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu.....	42
3.7. 1999 Hector Mine deprem kaydının 19800 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu.....	43
3.8. 1999 Hector Mine deprem kaydının 22275 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu.....	44
3.9. 1990 Manjil deprem kaydının 2475 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu.....	45
3.10. 1990 Manjil deprem kaydının 4950 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	46
3.11. 1990 Manjil deprem kaydının 9900 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	47
3.12. 1990 Manjil deprem kaydının 12375 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	48
3.13. 1990 Manjil deprem kaydının 14850 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu.....	49
3.14. 1990 Manjil deprem kaydının 17325 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	50
3.15. 1990 Manjil deprem kaydının 19800 yıl tekrarlanma periyodu için SPC birleşimli SMF çerçevede birleşimlerin durumu	51
3.16. 1990 Manjil deprem kaydının 22275 yıl tekrarlanma periyodu için SPC birleşimli SMF çerçevede birleşimlerin durumu	51
3.17. 1995 Kobe deprem kaydının 2475 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	52
3.18. 1995 Kobe deprem kaydının 4950 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu.....	53
3.19. 1995 Kobe deprem kaydının 9900 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu.....	54
3.20. 1995 Kobe deprem kaydının 12375 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	55
3.21. 1995 Kobe deprem kaydının 14850 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	56

3.22. 1995 Kobe deprem kaydının 17325 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	57
3.23. 1995 Kobe deprem kaydının 19800 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	58
3.24. 1995 Kobe deprem kaydının 22275 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	59
3.25. 1995 Kobe deprem kaydının 32175 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu	60
A.1. x yönünde incelenen birleşimler	69
A.2. y yönünde incelenen birleşimler	70
A.3. 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) 22250 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 22250 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri	71
A.4. 1998 Hector Mine depreminin y 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) 22250 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 22250 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri	72
A.5. 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) 32175 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 32175 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri	73
A.6. 1995 Kobe depreminin y 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) 32175 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 32175 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri	74
A.7. 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) 14850 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 14850 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri	75

A.8. 1990 Manjil depreminin y 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) 14850 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 14850 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri.	76
---	----



SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER DİZİNİ

θ_y	Kiriş akma dönme açısı
δ	Kat yanal ötelenmesi

KISALTMALAR DİZİNİ

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

1. GİRİŞ

Yatay deprem yüklemesi, düşey yüklerin karşılanması esasına uygun olarak tasarlanmış yapısal sistemler için en zorlayıcı dış yükleme çeşidi olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle depremselliği yüksek olan bölgelerde yapılan yapılarda depreme dayanıklı yapı tasarımı öncül tasarım esası niteliğini taşımaktadır. Sismik aktivitelerin neden olduğu aşırı yükler ve yükleme koşulları, bu koşullar ve yükler altında güvenli ve stabil kalacak yapısal sistemlerin tasarım ve yapımını zorunlu hale getirmektedir. Çelik yapılarda, düşey yüklerin yanı sıra yatay yönde etki eden rüzgar ve deprem yüklerine de karşı koyacak çeşitli çerçeve sistemleri geliştirilmiştir.

1.1. Çelik Çerçeve Sistemleri

Sabit ve hareketli yüklerden kaynaklanan düşey yüklerin yanı sıra deprem ve rüzgar etkilerinden kaynaklanan yatay yüklerin yapı içerisinde iletimi ve güvenli karşılanması için tercih edilen iki temel çelik çerçeve sistem çeşidi bulunmaktadır:

- i. Moment aktaran çelik çerçeve
- ii. Çaprazlı çelik çerçeve

Amerikan Çelik Yapı Enstitüsü (American Institute of Steel Construction) tarafından hazırlanan ve depreme dayanıklı çelik yapısal sistem detaylarının açıklandığı ANSI/AISC 341-16 (AISC, 2016b) standardına göre, moment aktaran çelik çerçeveler (MF) üç gruba ayrılmaktadır:

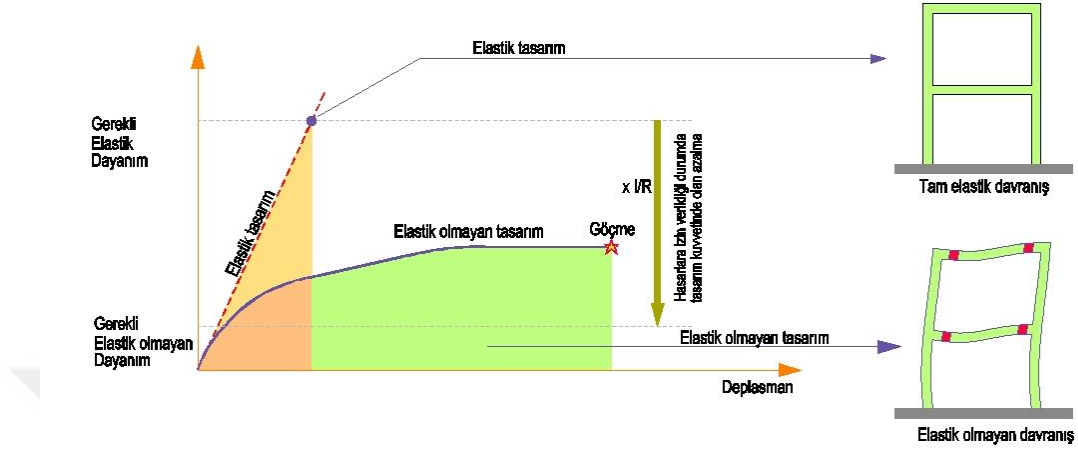
- i. Süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik çerçeve (Ordinary Moment Frame – OMF)
- ii. Süneklik düzeyi orta moment aktaran çelik çerçeve (Intermediate Moment Frame – IMF)
- iii. Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeve (Special Moment Frame – SMF)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (ÇŞB, 2018) is sadece süneklik düzeyi sınırlı ve yüksek moment aktaran çelik çerçeveleri içermektedir. MF sistemlerin yanal dayanımları, kiriş ve kolonların eğilme ve kesme dayanımları tarafından sağlanır. Bu çerçeveler, yanal ötelenmelere çerçeve elemanlarının eğilme rijitlikleri ve kiriş-kolon bağlantılarındaki göreceli dönme kısıtları yardımıyla karşı koyar. MF sistemleri, çaprazlı çerçeve sistemlere göre daha büyük kiriş ve kolon kesitlerine sahip olmaktadır. Çünkü kiriş ve kolonlar, genellikle çerçevenin yanal dayanımını arttırmaktan ziyade yanal ötelenmeleri sınırlandırmak üzere boyutlandırılır. Yapıya mimari ve mekanik tesisat düzenlemeleri açılarından esneklik sağlamaları sebebiyle, çaprazlı çerçevelere göre daha maliyetli ve ağır olmaları göz ardı edilir. Bu sistemde çapraz elemanların bulunmaması, duvar yerleşiminde ve mekanik kanal ile boru tesisatlarının döşenmesinde daha fazla özgürlük sağlar (AISC, 2016b).

OMF sistemler, deprem etkileri altında kirişlerin, kolonların ve kiriş-kolon birleşimlerinin sınırlı miktarlarda doğrusal olmayan şekil değiştirme yapabilme özelliğine sahip olduğu taşıyıcı sistemlerdir (ÇŞB, 2018). Bir OMF sisteminin tasarımındaki en belirleyici öğeler, kiriş-kolon bağlantı bölgeleridir. OMF sistemlerin yatay deprem kuvvetlerine göre tasarımındaki temel amaç, moment aktaran kiriş-kolon birleşimlerinin elastik sınırlar içinde kalması ve elastik ötesi davranış sergilememesidir. Bu nedenle, temel tasarım gereksinimi, güçlü moment bağlantılarına sahip bir çerçeve sağlamaktır (AISC, 2016b).

IMF ve SMF sistemlerin temel tasarım esası, çerçevenin yatay hareketinde kirişlerde plastik mafsalların oluşması yoluyla serbest deprem enerjisinin sönmelenmesi ve bu sırada kiriş-kolon birleşimlerinin elastik limitler içinde kalmasıdır. Düşey yükler altında düşey taşıyıcı elemanlar, genellikle basınç kuvveti ağırlıklı bir yüklemeye maruz kalır ve düşey kuvvetlere elastik olarak karşı koyacak şekilde tasarlanır. Ancak, deprem esnasında oluşacak yatay kuvvetlere elastik olarak karşı koyacak yapıları tasarlamak ekonomik olarak zorlayıcıdır. Dolayısı ile MF sistemler, deprem yükleri altında büyük enerji sönmeme kapasitesi sağlamak için önemli miktarda elastik olmayan davranışın gerçekleşeceği varsayımına dayalı olarak tasarlanır. Yapıda can güvenliği sınır durumu deforme olabilirlik/süneklik kapasitesi ile sağlanır. Elastik olmayan şekil değiştirme ihtiyaçlarının karşılanması için yeterli dayanım sağlanmalıdır (Şekil 1.1). Depreme dayanıklı MF çerçeveli yapıların, deprem kuvvetleri altında

tamamen elastik davranış bölgesinde kalacak şekilde tasarlanmaları mümkündür, fakat bu durumda eleman kesitleri çok büyür ve yapısal sistem ağırlığı çok artar. Sistemin elastik olmayan şekil değiştirmeleri tolere edecek şekilde davranması, eleman kesit boyutlarının küçülmesini ve yapısal sistemin daha hafif ve ekonomik olmasını sağlar.



Şekil 1.1. Elastik ve elastik olmayan yapısal deprem tasarım esasları

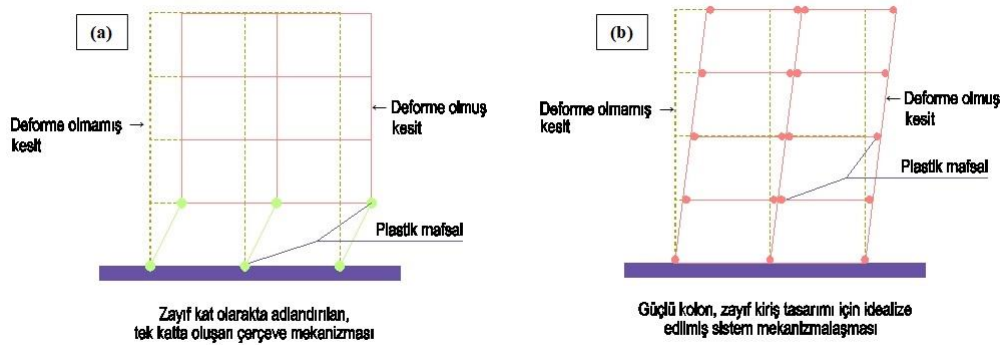
Olası nadir ve şiddetli depremlere zarar görmeden dayanacak yapılar tasarlamak genellikle ekonomik ve pratik değildir. Yapı yönetmelikleri, maksimum yer hareketi altında dahi göçme riskini en aza indirerek, insanların can ve mal güvenliğini sağlamayı amaçlayan bir tasarım felsefesini benimsemiştir. Bu tasarım felsefesi, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasara belirli oranlarda izin vermekte ve yapının bütün olarak göçmeyerek ayakta kalmasını hedeflemektedir.

SMF sistemlerdeki kirişler, kolonlar ve kiriş-kolon bağlantıları, şiddetli depremler sırasında meydana gelen belirli bir sayıda elastik ötesi yer değiştirme döngüsüne karşı koyacak şekilde tasarlanırlar. Sistem elemanlarının, elastik ötesi döngüler sonucu ortaya çıkan eğilme momenti, kesme kuvveti ve eksenel kuvvet etkilerine karşı koyması esas alınır. Bu tesirlere karşı koyarken, elemanların göçmeden elastik ötesi davranış bölgesinde kalması gerekir. Bu esaslara uygun olarak SMF çerçevelerde eleman orantılaması ve detaylandırması yapılır. SMF çerçevelerin tasarım prensipleri şu şekilde sıralanabilir:

- Kolonların kirişlerden daha güçlü olması
- Yeterli ötelenme oranlarına ulaşabilme
- Genel çerçeve stabilitesinin korunabilmesi
- Yeterli çerçeve dayanımı sağlanması

- Deneysel ve/veya analitik yöntemlerle geçerliliği kanıtlanmış birleşim tasarımı
- Sünek davranış detayları

Kolonların kirişlerden daha güçlü olacak şekilde tasarlanması, kolonlarda yüksek eksenel yük seviyelerinin ortaya çıkmaması sayesinde daha sünek eğilme davranışına ulaşılması, potansiyel yumuşak kat mekanizması oluşumunun ve kolonların elastik ötesi şekil değiştirmelerinin engellenmesi (Şekil 1.2a) gibi amaçlar taşımaktadır. Plastik mafsalların kiriş uçlarında oluşması (Şekil 1.2b) ve kolonların elastik sınırlar içinde tutulması yoluyla, istenen sünek yapı tasarımı sağlanmış olur.



Şekil 1.2. (a) Kolon mafsallaşması; (b) kiriş mafsallaşması sonucu ortaya çıkan çerçeve göçme şekilleri

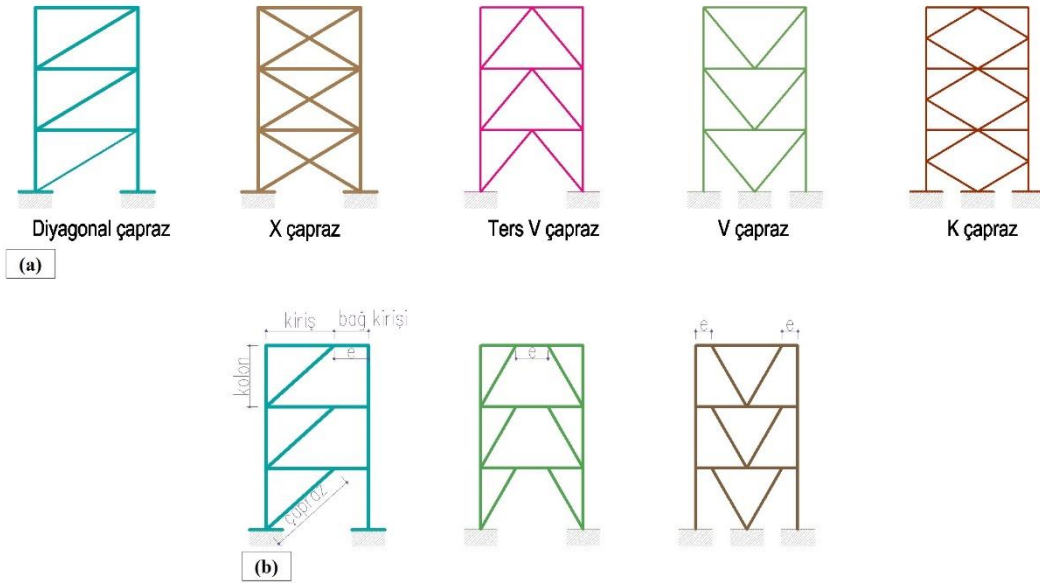
Yatay deprem ve rüzgar yüklemeleri ile düşey yüklemelerin yanı sıra, sıcaklık değişimlerinin kirişlerde ortaya çıkardığı eksenel kuvvetler dikkate alındığında, çelik kolon-kiriş birleşimlerinin çok büyük zorlamalara maruz kalacağı açıktır. Birleşim bölgelerindeki gerilme yığılmalarını azaltmak amacıyla, yatay yüklerin karşılanmasında etkin rol oynayan çaprazların kullanıldığı çaprazlı çelik çerçeveler de yaygınlık kazanmıştır. Çaprazlı çerçeve, yatay deprem kuvvetlerini karşılayacak en ekonomik yapısal formu temsil eder. Çaprazlar tarafından sağlanan yüksek rijitlik, bu tip çerçevelerin yanal ötelemelerini sınırlamada çok etkilidir. Şiddetli yer hareketleri sırasında büyük yanal ötelenmelere uğramamaları, yapısal olmayan elemanlara verilen hasarı sınırlandırmaları ve ikincil mertbe etkilerin neden olduğu sistem ve bağlantı tasarımı sorunlarını azaltmaları gibi etkenler, çaprazlı çerçevelerin tercihinde rol oynar. Son yıllarda meydana gelen şiddetli depremlerin kolon-kiriş bağlantı bölgelerinde neden olduğu önemli hasarlar, çaprazlı çerçevelerin faydalarına dikkat çekmiştir.

Çaprazlı çelik çerçevelerde çaprazlar, moment aktaran veya mafsalı çerçeveye merkezi veya dışmerkezli olarak bağlanabilir. Çaprazlı çerçevelerin yanal kuvvetlere ve yer değiştirmelere karşı dirençleri, kolon ve kirişlerin eğilme dayanımlarından ziyade çaprazların eksenel kuvvet dayanımları ile sağlanmaktadır (ÇŞB, 2018). Bu çerçeveler, çaprazlar, kolonlar ve kirişlerin merkez çizgileri çakışacak şekilde düzenlenir. Bu sayede, yanal kuvvetlerin etkisiyle oluşabilecek ilave eğilme etkileri ortadan kalkar veya asgari düzeylere iner. Malzeme, imalat ve montaj maliyetleri göz önüne alındığında çaprazlı çerçeve sistemleri, salt moment aktaran çerçeve sistemlere göre daha ekonomik olma eğilimindedir. Çapraz elemanların mimari alan gereksinimlerinin bir sonucu olarak karşılaşılan kat planı yerleşimi, mahal planlaması ve elektrik ile mekanik tesisat yerleşim sorunları, çaprazlı sistemlerin kullanımını nispeten sınırlandırmaktadır.

ANSI/AISC 341-16 standardı (AISC, 2016b), çaprazlı çelik çerçeve sistemlerini aşağıdaki gruplara ayırmaktadır:

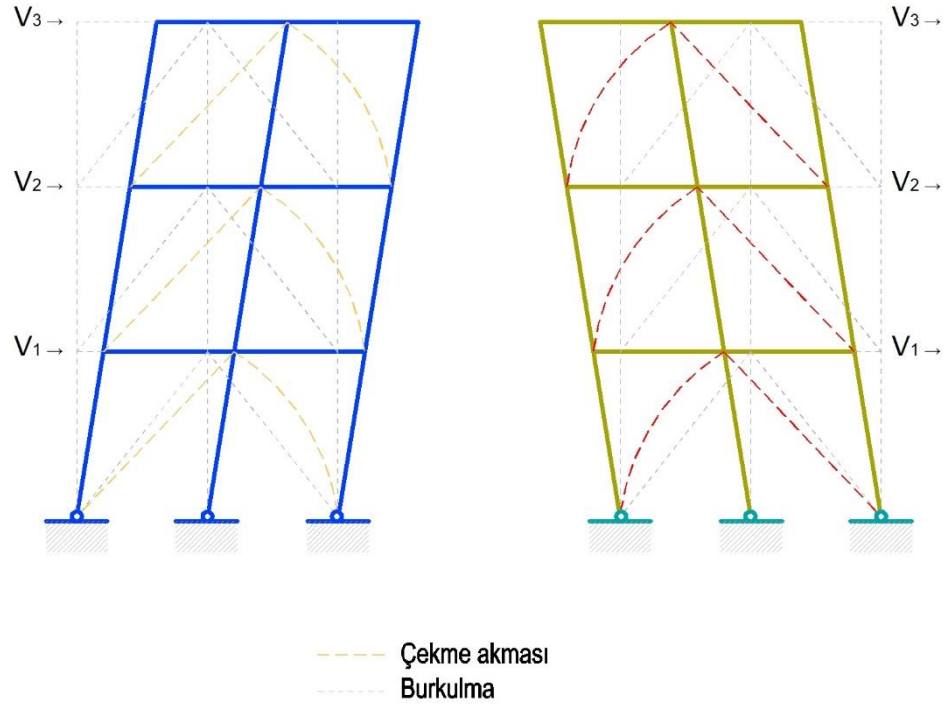
- i. Süneklik düzeyi sınırlı merkezi çaprazlı çelik çerçeve (Ordinary Concentrically Braced Frame – OCBF)
- ii. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeve (Special Concentrically Braced Frame – SCBF)
- iii. Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve (Eccentrically Braced Frame – EBF)
- iv. Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve (Buckling-Restrained Braced Frame – BRBF)

Çelik yapı endüstrisi ve akademik metinlerde sıklıkla tercih edilmeleri sebebiyle, metnin geri kalanında bu çerçeve türlerinin İngilizce kısaltmaları (OMF, IMF, vs.) kullanılacaktır. Bu çaprazlı çelik çerçeve sistem çeşitlerinin tamamına, TBDY (ÇŞB, 2018) yönetmeliğinde yer verilmektedir. OCBF, SCBF ve EBF sistemlerde kullanılan çaprazlar için diyagonal, X, V, ters V ve K gibi farklı geometrik düzenlemeler mevcuttur (Şekil 1.3a). ANSI/AISC 341-16 (AISC, 2016b) standardı, K-tipi çapraz düzenlemesinin kullanılmaması gerektiğini belirtmektedir. EBF çerçevelerde ise diyagonal, V ve ters V şeklinde geometrik çapraz düzenlemeleri kullanılmaktadır (Şekil 1.3b).



Şekil 1.3. (a) OCBF ve SCBF; (b) EBF sistemler için çapraz düzenleri

Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde nihai göçme, genellikle çekmeye çalışan çaprazların akması ve/veya basınca çalışan çaprazların burkulması sonucu meydana gelmektedir (Şekil 1.4). SCBF sistemleri, çapraz elemanların çekme ve basınç kuvvetleri etkisi altında plastik şekil değiştirmelere maruz kaldığı sistemlerdir. Bu plastik şekil değiştirmelerin sağladığı enerji sönümleme kapasiteleri, kiriş-çapraz-kolon birleşimleri ile kolon ve kiriş elemanlarının elastik davranış bölgesi içinde kalmalarını sağlamaktadır. Bir SCBF sisteminin genel düzeni OCBF sisteminin düzenine çok benzer olsa da, SCBF sisteminde yapının elastik olmayan tepkisini çaprazlarla karşılamak ve çaprazlar ile bağlantıların sünekliklerini arttırmak için ek detaylandırma gereksinimleri vardır. Bu detaylandırma gereksinimleri, yapının enerji sönümleme kapasitesi ve süneklik değerlerini arttırarak, SCBF sistemlerin OCBF sistemlere göre daha düşük yatay yük kapasitelerine sahip olacak şekilde tasarlanmasına olanak sağlamaktadır. Şekil 1.1’de de görüldüğü üzere, yapının elastik ötesi şekil değiştirmelerine olanak tanımak ve bu şekil değiştirmelerin artmasına sağlamak, yapının yatay yük dayanımının daha düşük tutulmasını ve serbest deprem enerjisinin plastik davranış bölgesinde karşılanmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, SCBF sistemler büyük yanal yükler altında dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın nispeten büyük elastik olmayan deformasyonları karşılamak için tasarlanır ve detaylandırılır (Roeder, Lumpkin ve Lehman, 2011). SCBF sistemler, basınç etkisindeki çapraz elemanların bazılarının burkulması halinde dahi, sistemde önemli ölçüde dayanım kaybı meydana gelmeyecek şekilde boyutlandırılırlar (ÇŞB 2018).

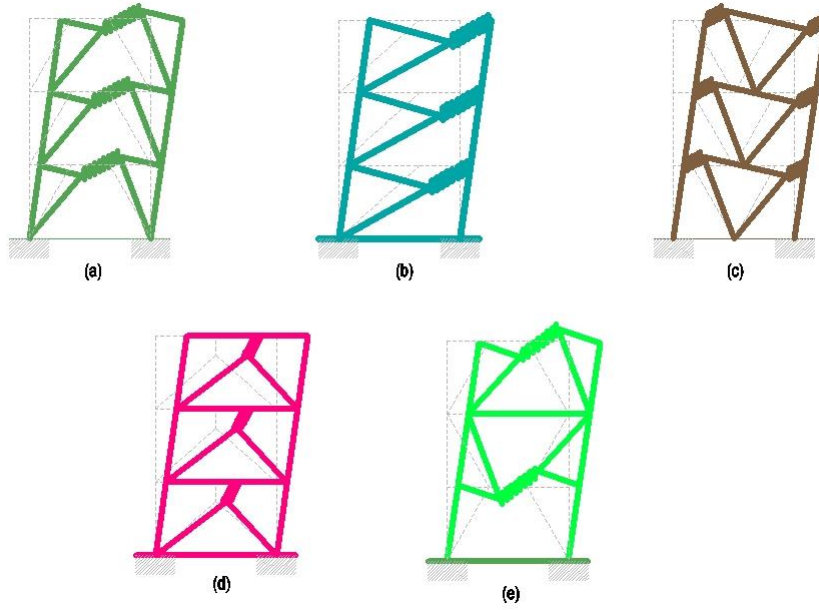


Şekil 1.4. OCBF ve SCBF sistemlerde göçme şekilleri

OCBF sistemler, çerçeve elemanlarla ve bağlantılarla ilgili olarak SCBF sistemler kadar kapsamlı gereksinimleri olmayan ve düşük sismik risk alanlarında sıklıkla kullanılan sistemlerdir. OCBF sistemlerde sınırlı elastik ötesi şekil değiştirmelere izin verildiği için, SCBF sistemlere göre oldukça yüksek deprem kuvvetleri esas alınır ve bu kuvvetler büyük oranda elastik davranış bölgesinde karşılanır (Şekil 1.1). SCBF sistemlere göre daha basit tasarım ve yapım prosedürleri ile OCBF sistemler, binalar ve bina harici küçük yapılarda yaygın olarak kullanılır. Sismik risklerin fazla olduğu bölgelerde ve çok katlı yapılarda OCBF sistemler genellikle kullanılmaz.

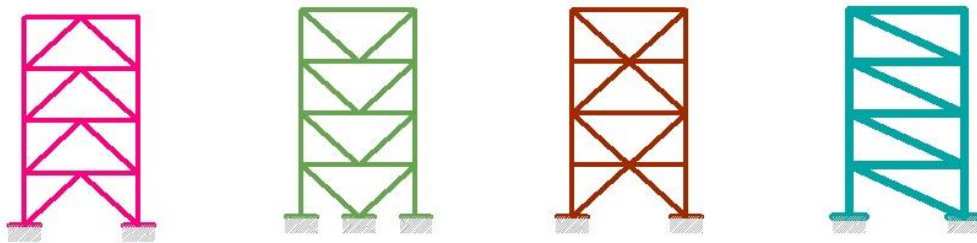
EBF sistemler, deprem etkileri altında bağ kirişlerinin önemli ölçüde doğrusal olmayan şekil değiştirme yapabilme özelliğine sahip olduğu yatay yük taşıyıcı sistemlerdir. Bu sistemler, bağ kirişlerinin plastik şekil değiştirmeleri sayesinde, kolonların, çaprazların ve bağ kirişi dışındaki diğer kirişlerin elastik davranış bölgesinde kalması esasına dayanacak şekilde boyutlandırılır (ÇŞB 2018). OCBF ve SCBF sistemlere göre, EBF sistemlerde yapının farklı bölümleri arasında geçiş imkanı sağlayan daha fazla kapı bulundurulabilir. Bu durum, EBF sistemlerin en büyük mimari avantajlarından biri olarak nitelenebilir. Bağ kirişleri plastik şekil değiştirmeye uğrayarak daha büyük miktarlarda deprem enerjisi tüketir (Şekil 1.5) ve yapı için

gerekli süneklik ihtiyacını karşılar. Çerçeve içinde bağ kirişi dışındaki elamanlar ve bağ kirişi dışındaki kiriş kısımları elastik bölgede kalmalıdır.



Şekil 1.5. EBF sistemlerde göçme şekilleri

BRBF sistemler, moment aktaran ve çaprazlı çelik çerçevelere göre daha yeni sistemlerdir. Özel olarak üretilen burkulması önlenmiş çapraz elemanların kirişlere veya kiriş-kolon birleşim bölgelerine merkezi olarak bağlanmasıyla oluşturulurlar. BRBF sistemler, plastik şekil değiştirmelerin çekme ve basınç etkileri altındaki çapraz elemanlarda karşılanmasını sağlayacak şekilde boyutlandırılırlar (ÇŞB, 2018). BRBF sistemler, genellikle OCBF ve SCBF sistemler ile benzer geometrik çapraz düzenlemelerine sahiptir (Şekil 1.6). Shuhaibar, López ve Sabelli (2002), BRBF sistemlerin üstünlüklerini aşağıdaki şekilde sıralamıştır:



Tıpkı burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeve türleri

Şekil 1.6. BRBF sistemler için çapraz düzenleri

- OMF, IMF ve SMF sistemlere göre, BRBF sistemler daha büyük elastik şekil değiştirmelere uğrayabilirler. BRBF sistemlerin, düşük şiddetli deprem etkileri

altında depreme dayanıklı yapı tasarımı gereksinimlerini karşılamaları moment aktaran çerçevelere kıyasla daha kolaydır.

- BRBF sistemler, geleneksel çaprazlarda ortaya çıkan burkulma sorununu ortadan kaldırır. Burkulması önlenmiş çelik çaprazlar, hem çekme hem de basınç kuvvetleri altında akma kapasitelerine ulaşarak, büyük sismik ötelenmeler altında dahi büyük ve istikrarlı enerji sönümleme kapasitelerine ulaşırlar.
- Burkulması önlenmiş çelik çaprazlar, yüksek maliyetli saha kaynağına duyulan gereksinimi ortadan kaldırır. Bu çaprazlar, köşebent plakalarına cıvatalı veya pimli bağlantı yoluyla ekonomik kurulum sağlar.
- Burkulması önlenmiş çelik çaprazlar, diğer elemanlara verilen hasarı asgari düzeye indirerek ve şiddetli yer hareketlerinden sonra hasarlı braketlerin değiştirilmesi mümkün kılarak, değiştirilebilir bir yapısal sigorta görevi görür.
- BRBF sistemler, çaprazların hem dayanımı hem de rijitliği kolayca değiştirilebildiğinden tasarım esnekliği sunar. Ayrıca, elastik ötesi tasarımda BRBF sistemlerin döngüsel (tersinir tekrarlanır) davranışını modellemek daha kolaydır.
- BRBF çaprazların varlığı, geleneksel çaprazlara göre deprem güçlendirmesi uygulamalarında kolaylıklar sağlar. Klasik çaprazlı sistemlerde, kapasite tasarım ilkeleri gereğince maliyetli temel ve zemin diyafram güçlendirme uygulamalarına ihtiyaç duyulur.

Diğer moment aktaran ve geleneksel çaprazlı sistemlere göre, BRBF sistemlerin olumsuz yönlerini ise aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Çoğu BRBF sistemi tescillidir ve kullanımları tasarımcısının iznine tabidir.
- Kısıtlı akma bölgesini imal etmek için kullanılan çelik sınıflarının geniş bir akma dayanımı aralığına sahip olması, çapraz ve sistem davranışının tahmin edilmesini güçleştirmektedir.
- Saha montaj toleransları genellikle geleneksel çaprazlı çerçevelere göre daha düşüktür.
- BRBF sistemler, şiddetli sismik hareketler altında büyük kalıcı şekil değiştirmelere maruz kalabilir. Bu durum, diğer sistemlerin aksine BRBF sistemlerde yeniden başlatma mekanizmalarının bulunmaması ile ilgilidir.

- Hasarlı çaprazların tespiti ve değiştirilmesi için kriterler oluşturulmalıdır. (Bruneau, Uang ve Sabelli, 2011)

Farklı sistem çeşitlerinin beraber kullanımı yoluyla teşkil edilen hibrit sistemler de çelik yapı tasarımlarında sıklıkla tercih edilmektedir.

1.2. Moment Aktaran Sistem Davranışı ve Kolon-Kiriş Birleşimleri

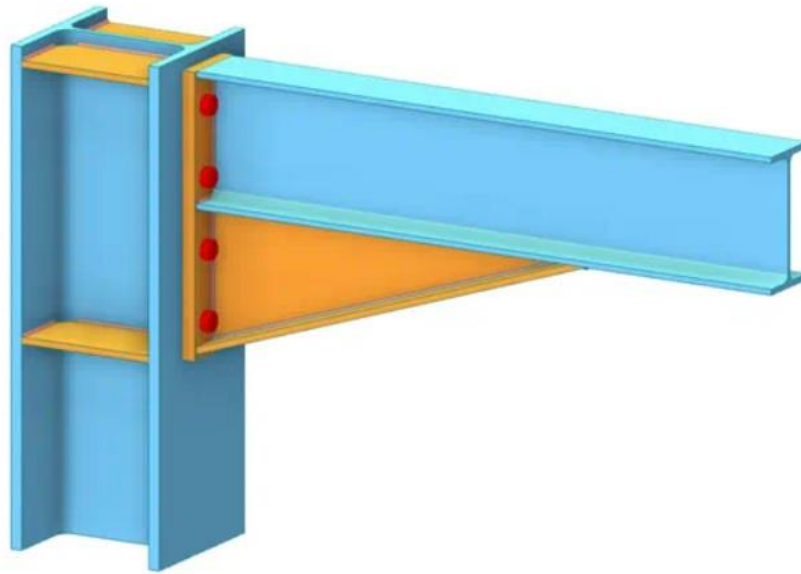
Moment aktaran çerçeve sistem çeşitleri (OMF, IMF, SMF) arasındaki temel fark, bu çerçeve sistemlerinin elastik ötesi şekil değiştirme yapabilme kapasiteleridir. SMF tasarımlarında yeterli süneklik seviyelerine ulaşmak için plastik mafsalların kiriş uçlarında oluşması istenir. SMF sistemlerde kiriş-kolon birleşimlerinin deprem anında hasar görmemesi, yani elastik sınırlar içinde kalacak şekilde davranış göstermesi büyük önem arz etmektedir. ANSI/AISC 341-16 standardı (AISC, 2016b), IMF ve SMF çerçevelerin sırasıyla 0,02 ve 0,04 radyan görelî kat ötelenme açlarına (görelî kat ötelenmesi/kat yüksekliği) izin verecek şekilde tasarlanmasını öngörmektedir.

Çerçevelerin istenilen görelî kat ötelenme oranlarına ulaşabilmeleri, ancak kolon-kiriş birleşimlerinin süneklik, rijitlik ve dayanım değerlerinin istenilen seviyelerde olması ile mümkündür. Bu sebeple, depreme dayanıklı moment aktaran çelik çerçeve tasarımında öncelikli tasarım esası, deprem esnasında kolon-kiriş birleşimlerinin gevrek kırılmalarını engellemek ve istenen ötelenme oranlarına kadar şekil değiştirme, yük taşıma ve enerji sönümleme kabiliyetlerini korumalarını sağlamaktır. 1994 Northridge depreminde edinilen acı tecrübelerin ışığında, moment aktaran çerçeve sistemlerinin birleşim bölgelerinde ortaya çıkan gevrek göçme şekillerine çözüm bulmak amacıyla önemli çalışmalar yapılmıştır. ‘SAC Steel Project’ adı verilen bu çalışmalar sonucu, ön onaylı (prequalified) olarak nitelenen, yani deneysel ve/veya analitik yöntemlerle geçerliliği kanıtlanmış kolon-kiriş birleşim çeşitleri oluşturulmuş ve bu birleşimlere ait detaylar Amerikan ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016a) standardında sunulmuştur. ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016a) standardı, bu ön-onaylı birleşim çeşitlerinin IMF ve SMF tipi çerçevelerde kullanıma uygun olduklarını belirtmektedir. ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016a) standardı, toplam 10 adet ön-onaylı moment-aktaran kolon-kiriş birleşim çeşidine yer vermektedir. Ülkemizde, geçerliliği kanıtlanmış olan çeşitli bulonlu ve kaynaklı birleşim detayı örnekleri ve bunların uygulama sınırları TBDY yönetmeliği (ÇŞB, 2018) Ek 9B’de verilmiştir. Ek 9B’de,

tam dayanımlı bulonlu alın levhalı birleşim, bulonlu başlık levhalı birleşim, tam penetrasyonlu küt kaynaklı birleşim ve kaynaklı zayıflatılmış kiriş en-kesitli birleşim olmak üzere dört farklı kiriş-kolon birleşim çeşidine ve bunların uygulama detaylarına yer verilmektedir. ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016a) standardında yer alan diğer altı birleşim çeşidi ise, yazılı metinlerde bulundurulmaları özel izinler gerektirdiği için TBDY yönetmeliğinde (ÇŞB, 2018) yer almamaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen guseli alın levhalı birleşim (HC) ve yan levhalı birleşim (SPC), ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016a) tarafından ön onaylı olarak nitelenmektedir.

Ülkemizde çelik MF sistemlerde, HC (haunched) kolon-kiriş birleşim çeşidi (Şekil 1.7) sıklıkla tercih edilmektedir. Bu birleşimlerde, kirişin ucunda yer alan bir alın levhası kolon başlığına bulonlar vasıtasıyla bağlanır. Kiriş alt başlığı da bir guse plakası (rijitlik levhası) yardımıyla desteklenir. Sahada kaynak yapmaya gereksinim duyulmaması ve montajının nispeten kolay olması, bu birleşim türünün yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Bu birleşim çeşidinde, kirişin üst başlığı guse plakası ile desteklenmediği için simetrik bir birleşim elde edilememektedir. Depremde ortaya çıkan negatif momentler altında HC birleşim, istenen performansı sergileyememektedir.

MF bağlantılar, Amerikan çelik yönetmeliği AISC 360'da (AISC, 2016c) tamamen kısıtlanmış (FR) ve kısmen kısıtlanmış (PR) olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. FR bir moment bağlantısı, ihmal edilebilir bir göreceli dönme hareketi ile bağlı elemanlar arasında moment aktarımı yapar.



Şekil 1.7. Guseli (haunched) kolon-kiriş birleşimi (Dlubal, 2022)

FR kabul edilebilecek bağlantı çeşitleri, Amerikan yapısal deprem tespit ve güçlendirme standardı ASCE 41-17 (ASCE, 2017) Çizelge 9.5'te listelenmektedir. Bu çizelgeye göre, HC tipi kolon-kiriş birleşimi, FR olarak sınıflandırılmaktadır. Aynı şekilde, SPC bağlantı ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016) tarafından FR olarak nitelenmektedir.

Yapısal analizlerde, FR bağlantının göreceli dönmeye izin vermediği varsayılabilir. FR bağlantılar, bağlı elemanlar arasındaki başlangıç açısını korumak için yeterli mukavemet ve rijitliğe sahip olmalıdır (AISC, 2016c). Kiriş-kolon birleşimlerinde gerekli dayanım ve rijitlik değerlerini sağlayabilmek için, ANSI/AISC 358-16 standardı (AISC, 2016a) yeterliliği deneysel ve/veya analitik yöntemlerle kanıtlamış ön onaylı bağlantıların kullanımını zorunlu kılar.

PR moment bağlantıları, ihmal edilemeyecek seviyelerde göreceli dönme hareketi ile elemanlar arasında moment aktarır. Bu sebeple yapısal analizlerde, PR bağlantıların moment-dönme açısı özellikleri hesaba katılmalıdır. Bu özelliklerin belirlenmesinde deneysel veya analitik yöntemler kullanılır. PR bağlantıların moment aktarımını sağlayacak ölçüde dayanım ve rijitlik ile dönmeye izin verecek ölçüde şekil değiştirme kapasitesine sahip olması gereklidir (AISC, 2016c).

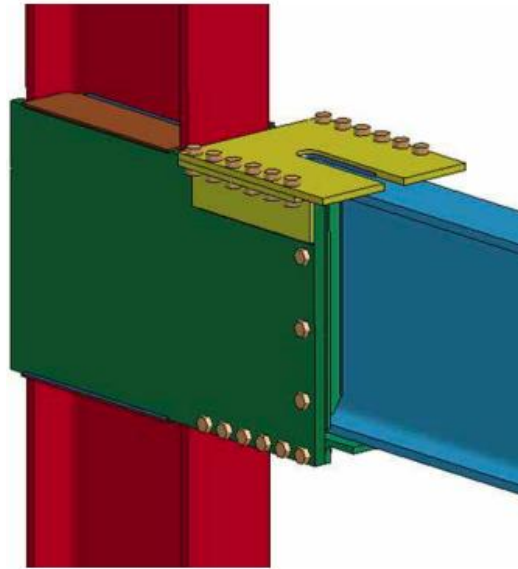
Yapısal sistemin önemli ve kritik unsurları olmalarına rağmen, bağlantı elemanlarının yapısal modellere dahil edilmeleri genellikle elzem değildir. Yapısal analizlerde basit ve FR bağlantılar, sırasıyla mafsallı ve rijit olarak idealize edilebilir. Bağlantı elemanlarının tasarımı, bu analizlerden elde edilen kuvvet ve şekil değiştirme değerleri esas alınarak gerçekleştirilir. Analizlerde varsayılan bağlantı çeşitlerinin gerektirdiği rijitlik, dayanım ve şekil değiştirme kapasitesi değerlerinin tasarımda göz önüne alınması ve tasarımın bu gereksinimleri karşılayacak şekilde detaylandırılması gerekir. Örneğin, analiz amacıyla bir bağlantının FR olduğu varsayılırsa, gerçek bağlantının FR koşullarını karşılaması gerekir. Bir başka deyişle, bu bağlantının FR standartlarının gerektirdiği ölçüde dayanım ve rijitliğe sahip olması gerekir.

Bazı modellemelerde, bağlantı elemanlarında ortaya çıkan şekil değiştirmeler sistem davranışını ve analiz sonuçlarını etkilediği için bağlantı elemanları da yapısal modellere katılır. PR tipi bağlantılarda ortaya çıkan şekil değiştirmeler, analizlerde muhakkak göz önüne alınmalıdır. Modellere katılmayan FR ve mafsallı bağlantıların aksine, PR bağlantıların modellerde eleman olarak yer alması gereklidir. Bu bağlamda, PR bağlantıların süneklik ve deformasyon kapasitesi değerleri yapısal modellerde

kullanılır. Analiz sonucu elde edilen bağlantı kuvvetleri ve deformasyonları, bağlantı elemanlarının yeterliliğini kontrol etmek için kullanılır. Basit ve FR bağlantıların boyut ve detayları, nihai yapısal tasarım tamamlandıktan sonra belirlenir ve böylece tasarım süreci büyük ölçüde basitleştirilir. Buna karşılık, PR bağlantıların tasarımı (eleman seçimi gibi) doğası gereği yinelemelidir, çünkü PR bağlantıların moment-dönme özellikleri değiştikçe yapısal analiz sonuçları da değişir. Bu durum, bir döngüsel tasarım süreci ortaya çıkarır. Bu döngüsel tasarım süreci, PR bağlantının yeterliliği gösterilene kadar devam eder.

Bağlantıları sınıflandırırken yapılan temel varsayım, bağlantının en önemli davranışsal özelliklerinin bir moment-dönme ($M-\theta$) eğrisi ile modellenebilmesidir. Moment-dönme eğrisi, bağlantının kolon ve kiriş ile bağlantı elemanlarından oluşan bir bölge olarak tanımlanmasını sağlar. Bağlantı davranışı, bağlanan ve bağlayan elemanların bütüne ile ilgilidir, çünkü fiziksel bir testte elemanın dönmesi genellikle sadece bağlantı elemanlarının değil, aynı zamanda bağlanan elemanların uçlarının ve kolon panel bölgesinin katkılarını da içeren bir uzunluk boyunca ölçülür.

Bu çalışma kapsamında SMF çerçeve davranışına etkisi incelenecek olan SPC bağlantı çeşidinin birçok olumlu yönü ve geleneksel bağlantılara üstünlüğü bulunmaktadır. Temel olarak, SPC bağlantıda kirişleri kolona bağlayan iki paralel levha kullanır (Şekil 1.8). Bu bağlantıda, kolon başlık yüzü ile kirişin ucu arasında fiziksel bir boşluk bulunur. Bu bağlantının davranışını iyileştirmek için aşağıdaki detaylandırmalara başvurulmuştur:



Şekil 1.8. SPC bağlantı özellikleri

- Panel bölgesi, plastik mafsalın kirişte oluşmasını sağlamak için büyük ölçüde güçlendirilir.
- Yan levha uzantıları, kirişin plastik deformasyonlarının kolon yüzünden daha uzak bir bölgede ortaya çıkmasını ve enerjinin daha büyük bir kiriş uzunluğuna dağılmasını sağlar.
- Bu bağlantının yerleşimi ve detayları, birleşim bölgelerinde maksimum sünekliğe olanak sağlayan paralel kaynakların çekilmesini zorunlu kılar.
- Kirişten bağlantı bölgesine iletilen kuvvetlerin, bağlantı bölgesinde asgari seviyelerde gerilme yığılmaları oluşturmasını sağlamak için, kaynak detaylandırmaları sonlu eleman analizleri yardımıyla yapılmıştır. Yapılan nümerik analizlerin sonuçlarına göre, bağlantı bölgelerinde dengeli ve düzgün bir yük aktarımı sağlanmaktadır.
- Bu bağlantı tipinde sadece köşe kaynaklar kullanılır, kaynakların kökünde çentik etkisi yoktur.
- Bağlantının tüm bölgeleri, üç eksenli gerilme durumu ve çentik etkilerine karşı incelenmiştir.
- Bağlantı detaylarının değiştirilmesine, ancak kapsamlı sonlu eleman analizi sonuçlarına göre karar verilmiş ve hep güvenli detaylandırmalar yapılmıştır.

SPC birleşimlerinde kiriş, tam derinlikli bir çift yan levha yardımıyla kolona bağlanır (Şekil 1.8). Böylece, kiriş ucu ile kolon başlığı arasındaki geleneksel kaynaklı bağlantı ortadan kalkmış ve kiriş ile kolon arasındaki temas kesilmiş olur. Kiriş ve kolon arasındaki fiziksel boşluk, diğer kaynaklı MF bağlantı tiplerinde oluşan üç eksenli gerilme yığılmasını ortadan kaldırır. Yan levhaların rijitlikleri, birleşimi önemli ölçüde rijitleştirir. Bu levhalar, üç panel bölgesi (iki yan plaka ve kolonun kendi gövdesi) oluşturarak, panel bölgesi deformasyonuna olan bağımlılığı ortadan kaldırır. Üst ve alt başlık kapak levhaları, kiriş ile kolonun başlık genişlikleri arasındaki farkı kapatmak için, yani konstrüktif amaçlarla kullanılır.

SPC birleşimlerde, kirişten yan levhalara ve bu levhalardan kolona moment aktarımı köşe kaynaklar tarafından sağlanır. Yan levhaların yüksek dayanım ve rijitlikleri, plastik mafsallaşmanın kirişte oluşmasını sağlar. Uygun detaylandırma ve boyut seçimleri sayesinde, plastik mafsalların kiriş üzerinde olduğu noktalar, kolon-kiriş birleşim noktasından en az kiriş yüksekliğinin 1/3'ü kadar uzaktadır. Bu bağlantı tipi, farklı kolon kesit çeşidi ve eleman boyutları için kullanıma uygundur.

1.3. Kaynak Özetleri

Bu bölümde, SPC bağlantılı çerçevelerin deprem davranışları üzerine geçmişte yapılmış çalışmalar özetlenmiş ve mevcut çalışmanın diğer çalışmalardan farklı ve kapsamı detaylı olarak sunulmuştur. Literatürde SPC bağlantı tipinin çerçeve davranışı üzerindeki etkisini gösteren önemli çalışmalar bulunmaktadır. Engelhardt ve Sabol (1998), toplam 12 adet tam ölçekli deney çerçevesi üzerine deneyler gerçekleştirmiştir. Bu deneyler, sünek birleşim davranışı elde etmek için kiriş alt ve üst tablalarında ilave levha bulundurmasının gerekliliğini göstermiştir.

Deylami ve Ashraf (2004), birleşim bölgesinde kullanılan başlık ve yan levhalar ile kesme levhalarının kalınlıklarını analiz değişkeni olarak değerlendirerek, SPC kolon-kiriş birleşimli SMF çerçeveler üzerine sonlu eleman analizleri gerçekleştirmiştir. Bu analizler, SPC birleşimlerin çerçeve enerji sönümleme kapasitesi üzerinde büyük etkileri olduğunu, ancak yan levha kalınlığının bu enerji değerlerini önemli oranda etkilemediğini göstermiştir.

Chou, Tsai, Wang ve Jao (2010), mevcut çelik kolon-kiriş bağlantılarının güçlendirilmesinde yan levhalar kullanmıştır. Yalın ve güçlendirilmiş kaynaklı başlık ve bulonlu gövde (WFBW) birleşimli elemanlar üzerine yapılan deneyler, yan levhaların etkin bir şekilde kirişin alt başlığının kolon yüzüne yakın bölgelerindeki çekme birim deformasyonlarını azalttığını göstermiştir.

Shiravand ve Deylami (2010), I kirişlerle çift I profilden teşkil edilmiş kolonları birbirine bağlayan birleşimlerinde SPC detaylarının kullanımının uygunluğunu araştırmıştır. Geleneksel uç levhasına kaynaklı birleşimler ile SPC birleşimler üzerine yapılan nümerik analizler, SPC birleşimlerin tam dayanımlı olarak sınıflandırılabilceğini göstermiştir. Ayrıca, SPC birleşim detaylarının kullanımı ile birleşim sünekliğinin büyük oranda arttığı görülmüştür.

Jalali, Banazadeh, Abolmaali ve Tafakori (2012), SPC birleşimli ve farklı yüksekliklere sahip çelik kirişler üzerine deprem analizleri gerçekleştirmiştir. Birleşim bölgesi, bir elastik panel ve iki indirgenen döner yayla modellenmiştir. Bu döner yaylar, birleşimdeki kritik kesitleri temsil etmektedir. Analiz sonuçları üzerine yapılan olasılıksal deprem tehlike analizi metodu yardımıyla sismik tehlike eğrileri elde edilmiştir.

Faridmehr, Osman, Tahir, Nejad ve Hodjati (2015), SPC birleşimlerin kirişlerde tam katener etkisinin (zincir eğrisi) ortaya çıkmasını ve kolonların devre dışı kalması durumunda dahi plastik kapasiteye ulaşılmasını mümkün kıldığını göstermiştir.

Son yıllarda SPC birleşimler üzerine yapılan çalışmalar, bu birleşim türünün beton dolgulu çelik boru profil kolon (CFST) ile çelik kiriş birleşimlerinde kullanıma uygun olduğunu göstermiştir ve bu birleşimlerin detaylarının belirlenmesini sağlamıştır. Bu bağlamda, Huang, Hao, Bai, Fan ve Xue (2020), tam ölçekli duvarlı kolon-H kiriş birleşim numuneleri test etmiştir. Bu çalışmada, panel bölgesindeki kolon başlık ve gövde boyutları ile yan levhaların birleşim bölgesine doğru uzanan kısımlarının ölçüleri deney değişkenleri olarak göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada ayrıca, üç farklı göçme şekli için (kirişin birleşimden uzak bir bölgesinde plastik mafsallaşma, kiriş başlığı ile yan levha arasındaki kaynakta göçme ve yan levhanın eğilme göçmesi) teorik eğilme momenti kapasitesi denklemleri de sunulmuştur. Bu üç göçme şekli arasında, kirişte plastik mafsallaşma mekanizmasında en yüksek süneklik kapasitesine ulaşıldığı belirlenmiştir. Bu göçme şeklinde panel bölgesinde mutlak elastik davranış ile kirişin istenen bir bölgesinde plastik bir davranış ortaya çıkmasının süneklik değerlerini istenen düzeylere çekmektedir.

CFST kolonlar ile kirişler arasındaki birleşimler için etkin birleşim detayları ortaya koymaya çalışan Zhang vd. (2021), kavisli kapak levhası ile güçlendirilmiş yan levhalı (ACPSP) ve oluklu yan levhalı (GSPCP) birleşimler tasarlamış ve uygulamıştır. Bu çalışma, kolon kaybı durumunda kiriş-kolon birleşimlerde katener etkisinin oluşmasını sağlayacak detaylar üzerine eğilmiştir. Standart SPC birleşimlerden farklı olarak, bu iki birleşim detayı kirişlerin eğilme dayanımlarını arttırarak katener etkisinin ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur.

Benzer bir çalışmada, Liu, Hao, Xue ve Sun (2021), CFST kolon ile I-kiriş arasındaki birleşimlerde SPC birleşim çeşidinin kullanımının etkinliğini araştırmıştır. Psödo-statik tersinir tekrarlanır yükleme deneyleri ve sonlu eleman analizleri, kolona etki eden eksenel yük düzeyinin ve yan levhaların yüksekliklerinin birleşim bölgesinin sünekliği üzerinde etkin rol oynadığını göstermiştir. Yetersiz yan levha yüksekliğinin, kiriş ile kolon arasındaki boşluk bölgesinde erken göçmeye ve birleşim dayanımında azalmalara sebep olduğu gösterilmiştir. Liu, Hao, Xue, ve Huang (2021) tarafından gerçekleştirilen deneyler ise, CFST kolon ile çelik kirişler arasındaki birleşimlerde momentlerin yan levhanın başlıkları boyunca oluşan iç kuvvetler tarafından

karşılandığını ortaya koymuştur. Daha sonra bu momentlerin kolon gövdesine ve birleşimin diğer tarafındaki kirişin alt başlığına aktarıldığı gösterilmiştir.

Geçmişte SPC kolon-kiriş birleşimleri üzerine yapılan çalışmalar, genellikle SPC birleşimlerin panel bölgelerindeki süneklik ve moment dayanımı değerleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu birleşim türünün çelik çerçeve sismik davranışı üzerindeki etkileri ile ilgili bütünsel analizler yapılmamıştır. Mevcut çalışmada ilk defa geleneksel alın levhalı (HC) ve yan levhalı (SPC) kiriş-kolon birleşimli çerçeveler üzerine deprem analizleri gerçekleştirilecek ve SPC birleşimlerin çerçeve davranışına ve sünekliğine katkıları ortaya konulacaktır. Ayrıca, literatürde ilk defa doğrusal olmayan zaman-tanım alanında analizler gerçekleştirilerek, gerçekçi model ve analizler oluşturulacaktır. Analizlerde çerçevelerin süneklik seviyelerinin tam olarak ortaya konulması amacıyla deprem düzeyleri artırılarak çerçeveler yıkılmaya kadar yüklenecektir.

1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma kapsamında, Amerikan ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016a) standardında yer alan ve farklı ülkelerde sık sık kullanım alanı bulmaya başlamış yan levhalı birleşim (Sideplate connection – SPC) türünün kullanımı durumunda, süneklik derecesi yüksek moment aktaran çerçeve (SMF) sistem davranışında ortaya çıkacak iyileşmeler araştırılmıştır. Geleneksel alın levhalı (HC) birleşim türünün detaylandırılmasında TBDY (ÇŞB, 2018) Ek 9B’de tanımlanan tam dayanımlı bulonlu alın levhalı birleşim detayları kullanılmıştır. Etkinliği deneylerle ortaya konulmuş (ön onaylı) SPC birleşimin detaylandırılmasında ise ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016a) Bölüm 11’de verilen özellikler kullanılmıştır. 0,04 radyan mertebesinde dönme kapasitesine sahip HC birleşimlerin aksine, 0,06 radyan mertebesinde dönme kapasitesine sahip olan SPC birleşimin kullanımının, SMF sistem davranışına katkısının tam anlamıyla belirlenmesi için iki önemli uygulamaya başvurulmuştur:

1. Analizlerde gerçek deprem hareketi kayıtlarının kullanıldığı zaman tanım alanında deprem analiz metodu (time-history analysis method) benimsenmiştir. Bu analiz metodunda yapıya gerçek deprem kayıtları uygulanmaktadır. Ayrıca, deprem kayıtlarının dönüş periyodu değerleri değiştirilerek, deprem şiddetleri artırılmış ve bu sayede birleşimlerin göçtüğü deprem seviyelerine kadar

yüklemeler yapılmıştır. HC ve SPC birleşimlerin çerçeve davranışına etkilerinin belirlenmesinde, bu birleşimlere sahip çerçevelerin göçmeden taşıyabilecekleri deprem seviyesi (deprem dönüş periyodu değeri) ölçütü kullanılmıştır. Belirli tekrarlanma periyodu değerlerine ait spektral ivme değerlerinin elde edilmesinde, Türkiye Hava Meydanı Yapıları Deprem Yönetmeliği (UAB, 2020) Ek 2A'da verilen logaritmik orantılama yönteminden faydalanılmıştır.

2. Doğrusal olmayan (nonlinear) çerçeve analizleri yapılmıştır. Güçlü kolon-zayıf kiriş deprem tasarımı esasına uygun olarak, plastik mafsalların kiriş uçlarında oluşması sağlanmıştır. Kiriş uç dönme ile birleşim dönme kapasitelerinden kritik olanı kullanılarak, plastik mafsalların sınır dönme değerlerine kadar yük taşımaya ve şekil değiştirmeye devam ettiği kabul edilmiştir.

Birleşim çeşidinin etkinliğinin ortaya konulması amacıyla, dört katlı ve her iki doğrultuda dörder açıklıklı bir çelik çerçeve üç farklı deprem kaydının (1990 Manjil, 1995 Kobe, 1999 Hector Mine) yatay bileşenleri altında analiz edilmiştir. Plastik mafsalların moment-dönme ilişkilerinin tanımlanmasında Amerikan ASCE 41-17 (ASCE, 2017) standardının kiriş uç dönme ve birleşim bölgesi dönme ilişkilerinden faydalanılmıştır.

2. MATERİYAL VE METOD

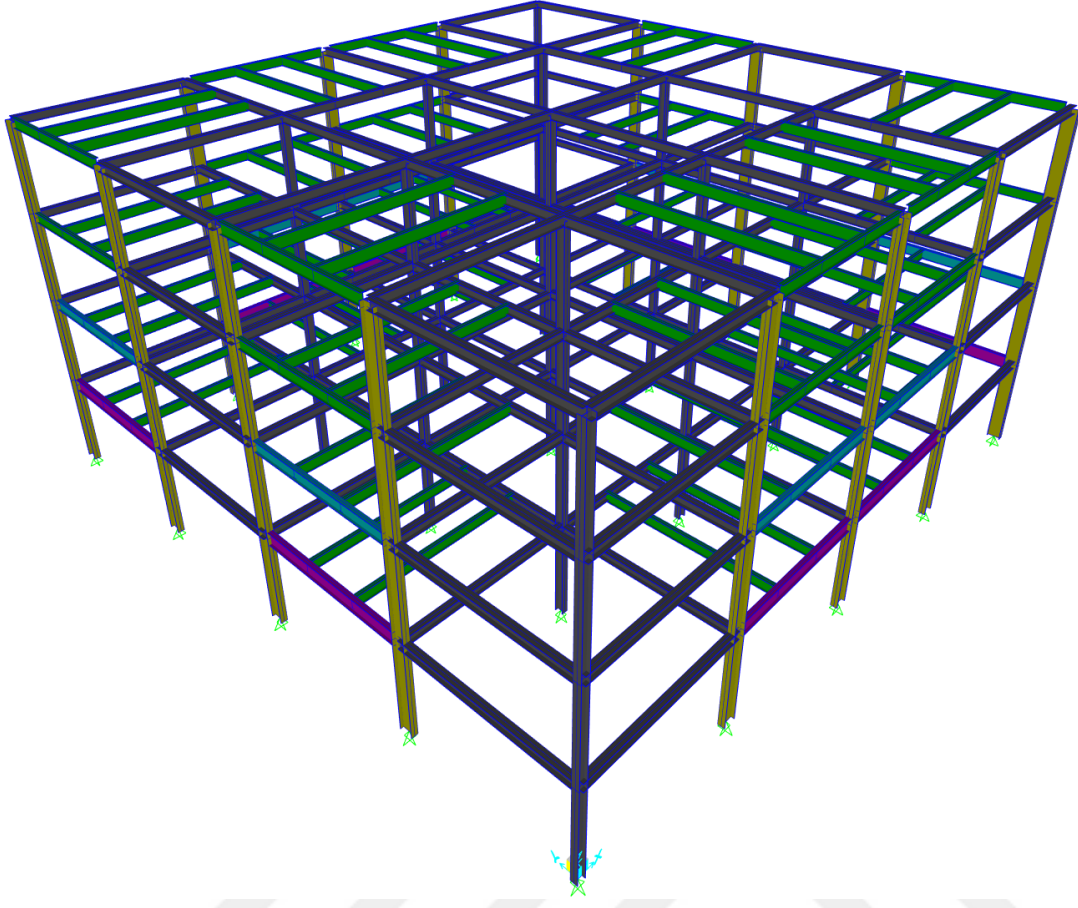
Bu bölümde, analizlerde kullanılan yapısal çerçevenin ve iki birleşim çeşidinin özellikleri ile analizlerde kullanılan deprem kayıtları detaylı olarak anlatılmıştır.

2.1. Yapısal Model

2.1.1. Çerçeve Özellikleri

Dört katlı ve her iki doğrultuda dörder açıklıklı bir yapısal çerçeve modeli (Şekil 2.1) seçilmiştir. Bu çerçeve, SAP 2000 (CSI 2022) matris yapı analizi yazılımında modellenmiştir. Çerçevenin, düzlemde ve düşeyde herhangi bir düzensizliği bulunmamaktadır. Bu sayede, SPC birleşimlerin tamamen düzenli çelik çerçevelerin deprem davranışlarına katkılarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Şekil 2.1’de de gösterildiği gibi, çerçeve kolonları zemine her iki düzlemsel eksene (x ve y) göre basit mesnet şartlarına sahip olacak şekilde bağlanmıştır. Bütün elemanlar, S275JR kalitesinde çelik malzemeden yapılmıştır. Düşey ve yatay doğrultudaki taşıyıcı elemanların kesitleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Yatay deprem yüklerini taşıyan çerçeveler (deprem çerçeveleri) ve bu çerçevelerdeki elemanların kesitleri Şekil 2.2b’de gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, deprem çerçevelerindeki tüm kolonların kesitleri HE600B’dir. Zemin, 1., 2. ve 3. katlardaki kirişlerin kesitleri ise sırasıyla IPE600, IPE500, IPE450 ve IPE450 olacak şekilde seçilmiştir. Bu kesitlerin hem başlık hem de gövdeleri kompakt olduğu için, standart ve yönetmeliklerin önemle üzerinde durduğu kesit kompaktlığı şartı deprem çerçevelerinde sağlanmaktadır. Deprem yüklerini taşıyan düzlemsel çerçeveler haricindeki çerçeve elemanları, sadece düşey yük taşıyan eleman (gravity member) olarak modellenmiştir. Deprem çerçevelerindeki elemanlar, güçlü kolon-zayıf kiriş şartını sağlamaktadır.

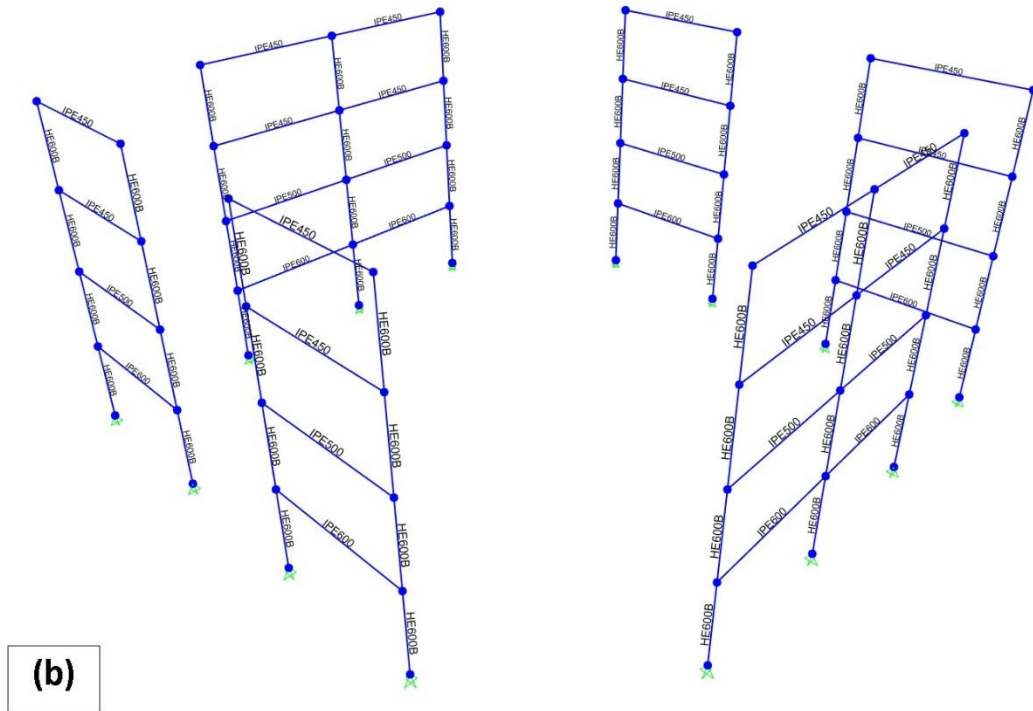
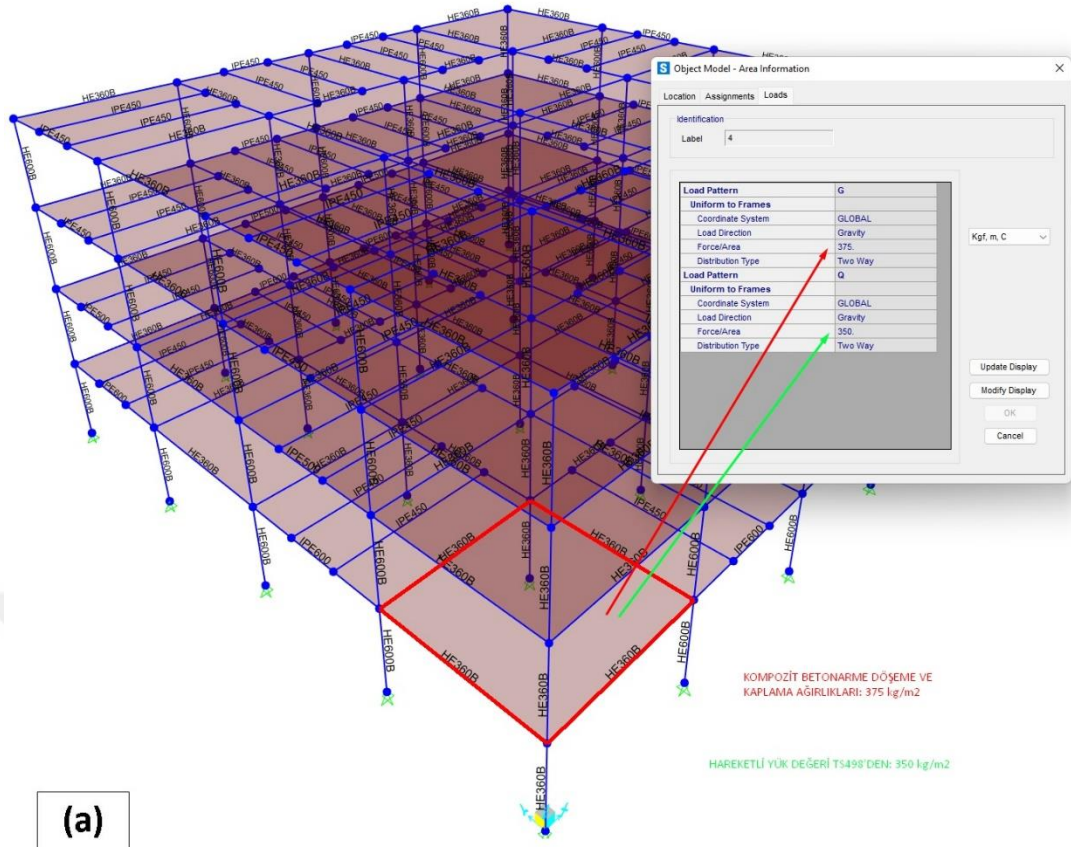
Her iki doğrultuda kiriş açıklığı 8 metre ve kat (kolon) yüksekliği 4,3 metre alınmıştır. Döşeme sistemi düzlemde sonsuz rijit kabul edilmiş ve bu şekilde modellenmiştir. Döşemede bulunması muhtemel boşlukların etkisi ihmal edilmiştir.



Şekil 2.1. Analizlerde kullanılan çerçeve modeli

Döşemelere 375 kgf/m² kompozit betonarme döşeme ve kaplama ağırlığı (sabit yük) ile 350 kgf/m² hareketli alan yükü uygulanmıştır (Şekil 2.2a). Bilindiği üzere, yapı yönetmeliklerinde rüzgar yükü ile deprem yükünün aynı anda yapıya etki etmeyeceği öngörülmektedir. Mevcut çalışma, deprem yükünün SMF çerçeveler ve bu çerçevelerin birleşimleri üzerine etkilerini araştırmaya yönelik olduğu için yapısal modele herhangi bir rüzgar yükü uygulanmamıştır.

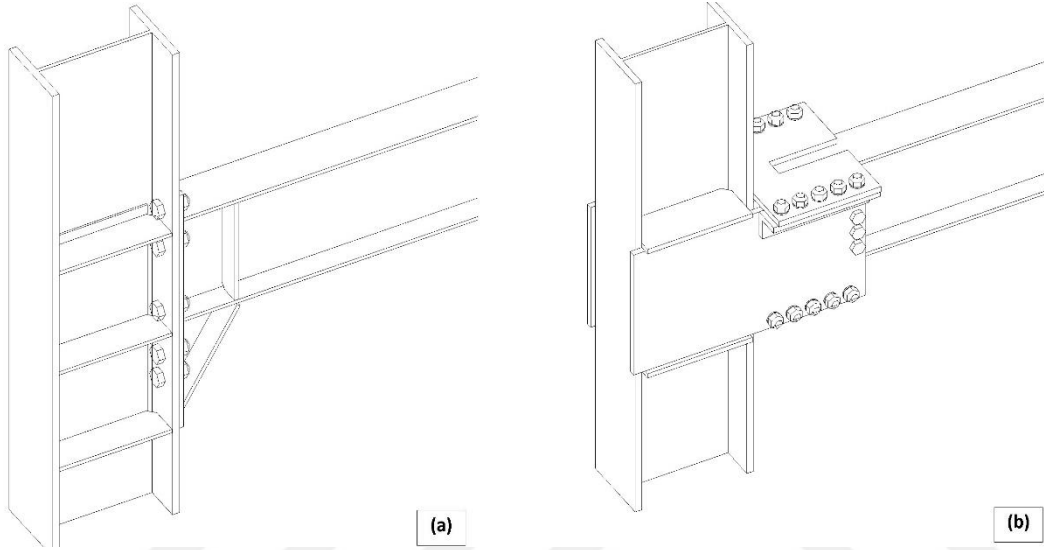
Deprem yükleri, zaman-tanım alanında deprem analiz metoduna uygun olarak deprem ivme kayıtları şeklinde yapıya uygulanmıştır. Yani yer değiştirme tabanlı bir deprem analizi yapılmış olup, deprem hareketleri, eşdeğer yük değerlerine dönüştürülmemiştir. TBDY (ÇŞB, 2018) Çizelge 4.1'e uygun olarak, deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeveler tarafından karşılandığı ilgili çelik yapının taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D) sırasıyla 8 ve 3 alınmıştır.



Şekil 2.2. Eleman kesiti ve alan yükleme detayları: (a) tüm sistem; (b) deprem (yatay yük taşıyıcı) çerçeveler

2.1.2. Birleşim Özellikleri

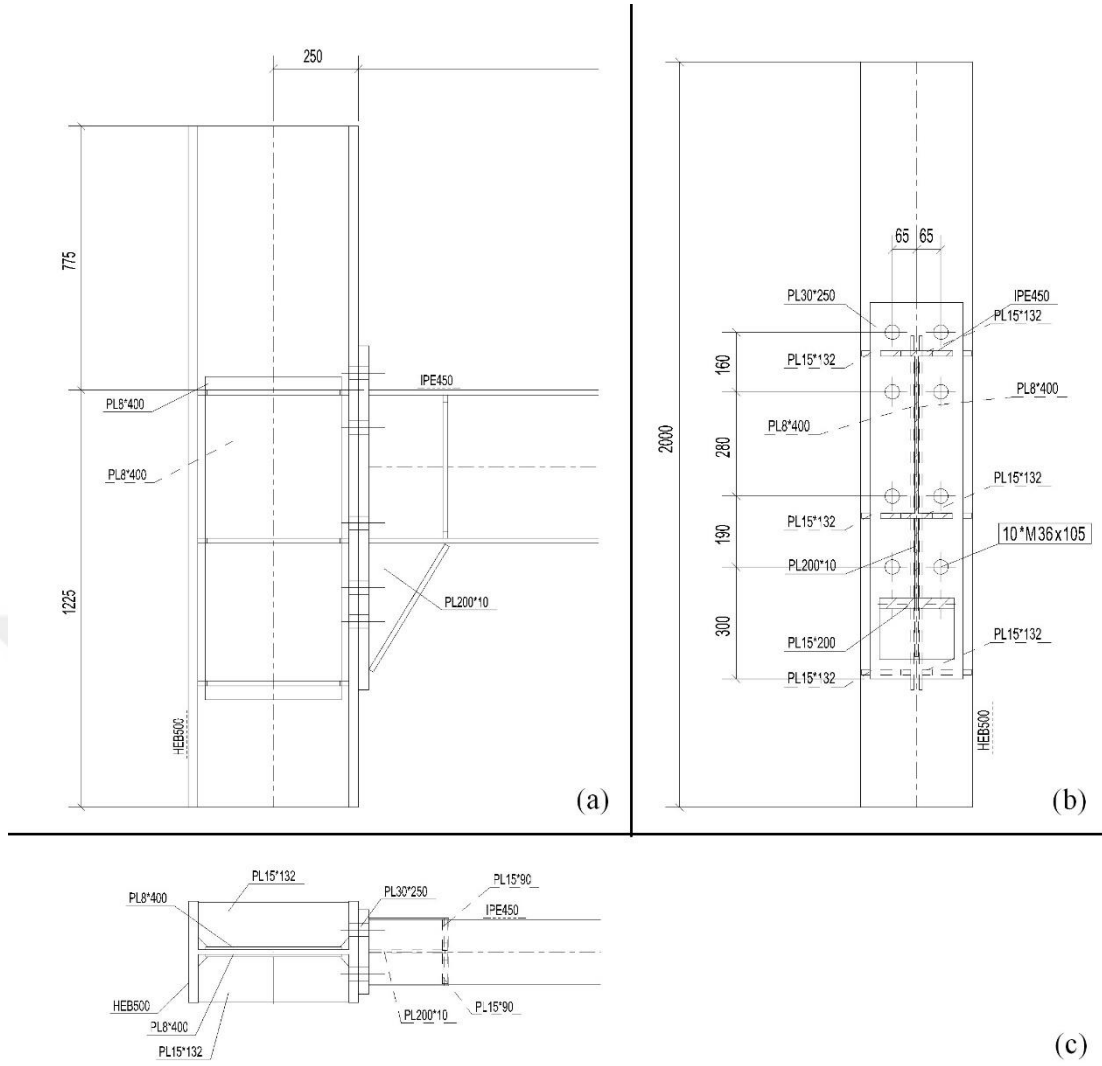
Analizlerde iki birleşim çeşidi kullanılmıştır (Şekil 2.3). Bu birleşimlerden ilki, moment aktaran çerçevelerde yoğun olarak tercih edilen guseli alın levhalı (haunched) kolon-kiriş birleşimidir (Şekil 2.4). Bu birleşim türünün detaylandırılmasında TBDY (ÇŞB, 2018) Ek 9B’de tanımlanan tam dayanımlı bulonlu alın levhalı birleşim detayları kullanılmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.3. Analizlerde kullanılan kolon-kiriş birleşim çeşitleri: (a) HC; (b) SPC



Şekil 2.4. Örnek HC moment aktaran birleşim



Şekil 2.5. Analizlerde kullanılan HC birleşimin boyutları ve özellikleri: (a) boy kesit; (b) en kesit; (c) üst görünüş

HC birleşimlerin plastik mafsal özelliklerinin tanımlanmasında iki ölçüt kullanılmıştır. Bu ölçütlerden ilki, birleşime bağlanan kirişlerin göçmeye ulaşmasına neden olan plastik dönme açısı sınırıdır. TBDY (ÇŞB, 2018) Tablo 5.1C’de, göçme öncesi performans kriterinin tamamlandığı, yani kirişin akma şekil değiştirme kapasitesinin aşıldığı dönme açısının $9\theta_y$ olduğu belirtilmektedir. Akmanın başladığı dönme açısı (θ_y) değerinin hesaplanması için TBDY (ÇŞB, 2018) Bölüm 5C.1.1’de yer alan aşağıdaki formül kullanılmıştır:

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

Bu formülde yer alan W_p kiriş kesitinin plastik mukavemet momentini, F_{ye} yapı çeliğinin beklenen akma gerilmesini, l_b kiriş uzunluğunu, E yapı çeliğinin elastisite

modülünü, I_b kiriş kesitinin eylemsizlik momentini göstermektedir. Bu çalışmada modellenen yapının deprem çerçevelerinde kullanılan üç kesit tipi (IPE 450, IPE 500 ve IPE 600) için ilgili formül yardımıyla hesaplanan göçme dönme sınır değerleri Çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. HC ve SPC birleşimlerde dönme sınırları

Eleman		Dönme Sınırı (rad)
Kiriş Göçme Dönme Sınırı θ_p (TBDY 2018 Tablo 5.1C)	IPE 450	0,103
	IPE 500	0,093
	IPE 600	0,078
Birleşim Dönme Sınırı	HC (TBDY 2018 Tablo 5C.3)	0,040
	SPC (ANSI/AISC 358-16 Bölüm 11.3)	0,060

Çizelgede verilen değerlerden de görüleceği üzere, birleşimin izin verilen dönme sınır değeri (0,04 rad), kirişlerin göçmeye ulaştığının kabul edildiği sınır dönme açısı değerlerinin (0,103; 0,093 ve 0,078 rad) altında kalmaktadır. Bu nedenle, birleşimin göçme sınır açısı olarak, daha kritik olan 0,04 rad değeri kullanılmıştır. Şekil 2.6’da görüleceği üzere, 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. Bu çalışma kapsamında önem verilen tek ölçüt, birleşimin göçmeye ulaşp ulaşmadığı olduğu için diğer açısal sınırların fiziksel bir manası ve önemi yoktur. Ayrıca, birleşimde akmanın başladığı moment değerine kadar herhangi bir şekil değiştirme ve dönmenin ortaya çıkmadığı varsayılmıştır.

Modellenen çerçevede kullanılan ikinci birleşim türü, yan levhalı (SPC) birleşimdir (Şekil 2.7). Bu birleşim türünün detaylandırılmasında ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016a)’de verilen ölçü ve detaylar kullanılmıştır (Şekil 2.8).

S Frame Hinge Property Data for ALINLEVHALI - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
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

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero
☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☒ Use Yield Moment Moment SF Positive: Negative:
☐ Use Yield Rotation Rotation SF Positive: Negative:
(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☒ Immediate Occupancy Positive: 5.000E-03 Negative:
☒ Life Safety Positive: 0.03 Negative:
☒ Collapse Prevention Positive: 0.04 Negative:
☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Type

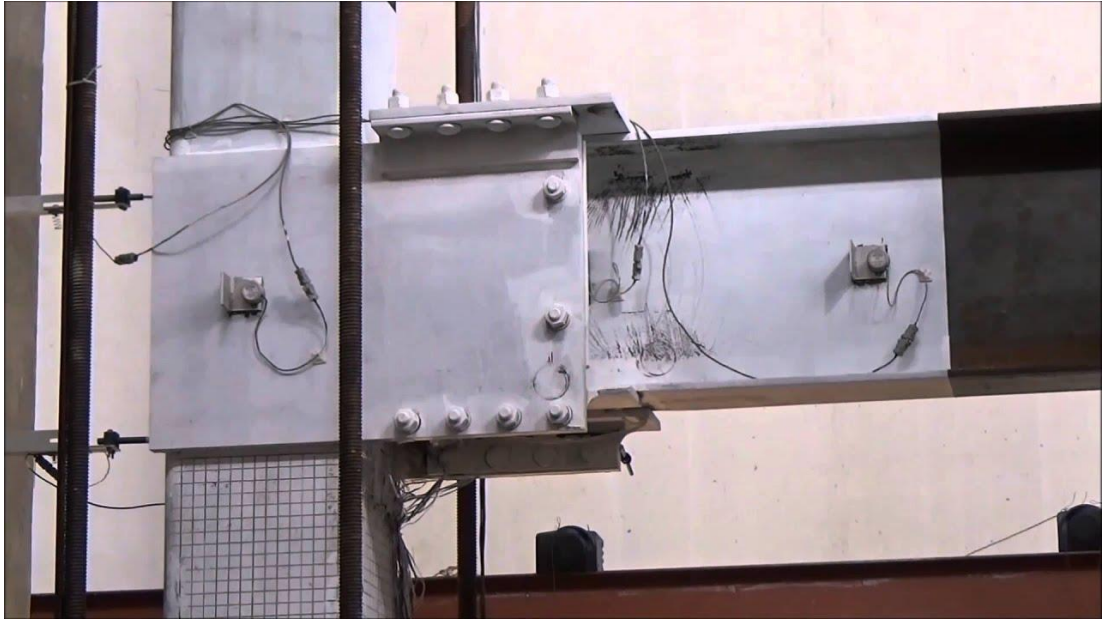
☒ Moment - Rotation
☐ Moment - Curvature
Hinge Length:
☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

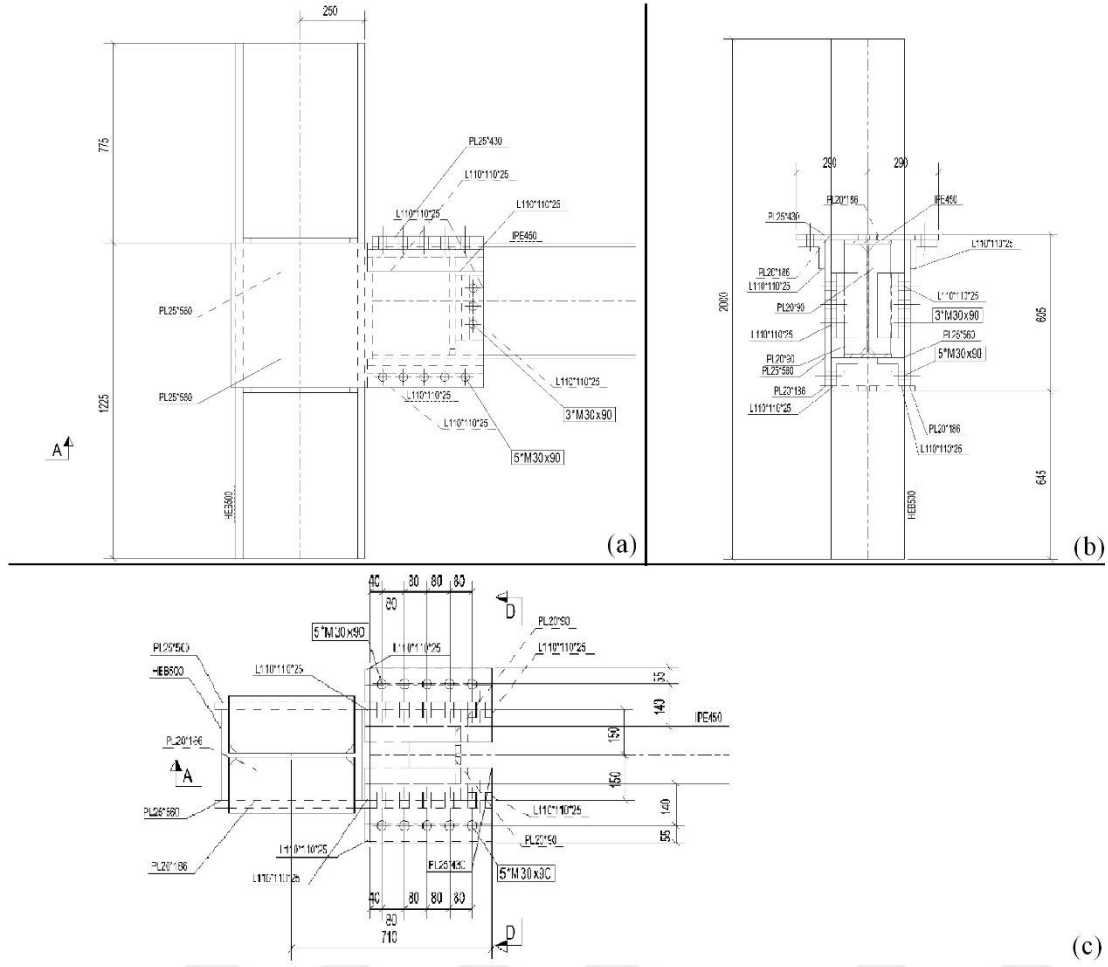
Hysteresis Type: Isotropic
No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

OK Cancel

Şekil 2.6. HC birleşim moment-dönme ilişkileri

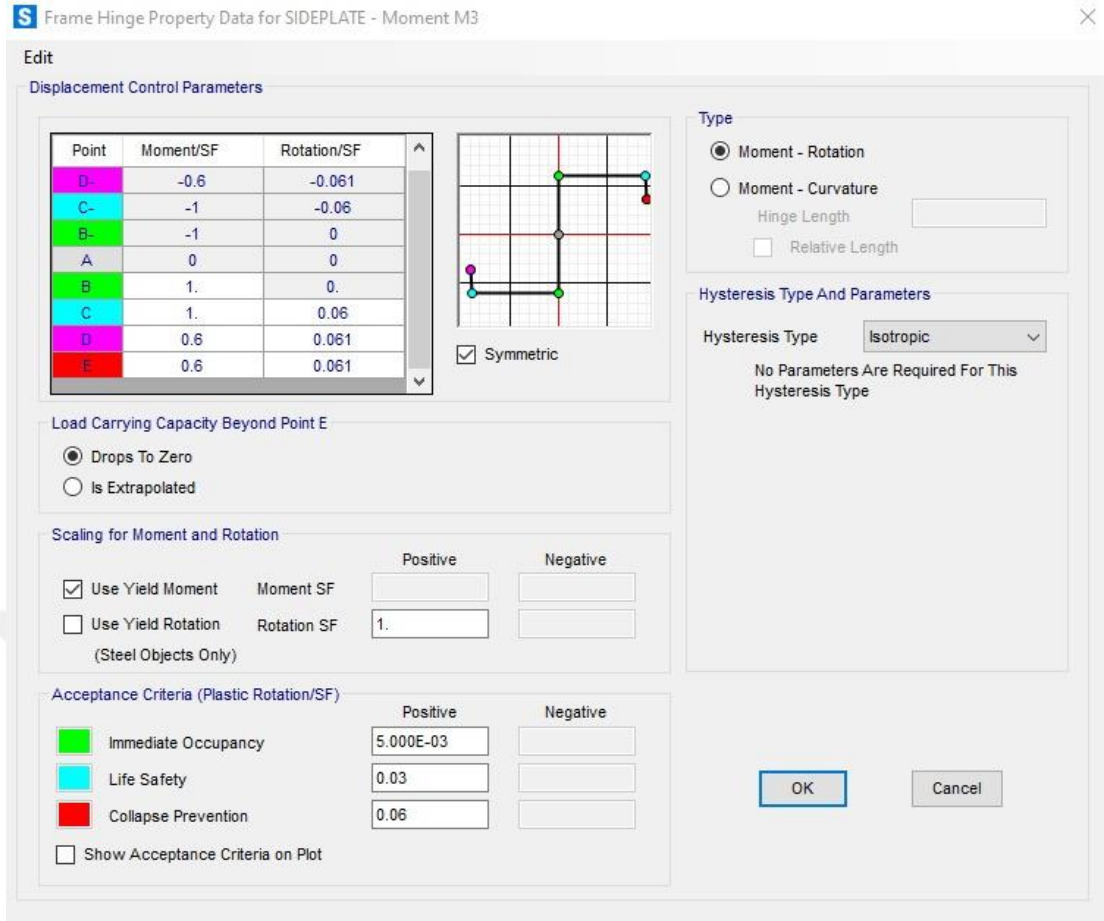


Şekil 2.7. Örnek SPC birleşim (MiTek, 2022)



Şekil 2.8. Analizlerde kullanılan SPC birleşimin boyutları ve özellikleri: (a) boy kesit; (b) en kesit; (c) üst görünüş

Çizelge 2.1’de verilen değerlerden de görüleceği üzere, birleşimin izin verilen dönme sınır değeri (0,06 rad), kirişlerin göçmeye ulaştığının kabul edildiği sınır dönme açısı değerlerinin (0,103; 0,093 ve 0,078 rad) altında kalmaktadır. Bu nedenle, HC birleşim çeşidinde olduğu gibi, SPC birleşimin göçme sınır açısı olarak, daha kritik olan 0,06 rad değeri kullanılmıştır. Şekil 2.9’da görüleceği üzere, göçmenin başladığı birleşim dönme açısına 0,06 radyan değeri atandıktan sonra, diğer performans seviyelerini (sınırlı hasar, kontrollü hasar, göçme öncesi) ayıran dönme açılarına da rastgele değerler atanmış ve akmanın başladığı moment değerine kadar birleşim bölgesinde herhangi bir şekil değiştirme ve dönmenin ortaya çıkmadığı varsayılmıştır.



Şekil 2.9. SPC birleşim moment-dönme ilişkileri

2.2. Deprem Kayıtları

TBDY (ÇŞB, 2018) Bölüm 2.5.1'e göre zaman tanım alanında analizlerde kullanılacak olan deprem kayıtları, deprem büyüklüğü, faya uzaklık, zemin koşulları ve kaynak mekanizmaları ölçütlerine göre yapının yer aldığı konumla uyumlu olmalıdır. Bu çalışma kapsamında, belirtilen bu ölçütlere dikkat edilerek, 1990 Manjil, 1995 Kobe ve 1999 Hector Mine deprem kayıtları seçilmiş ve yapı analizlerinde kullanılmıştır (Çizelge 2.2).

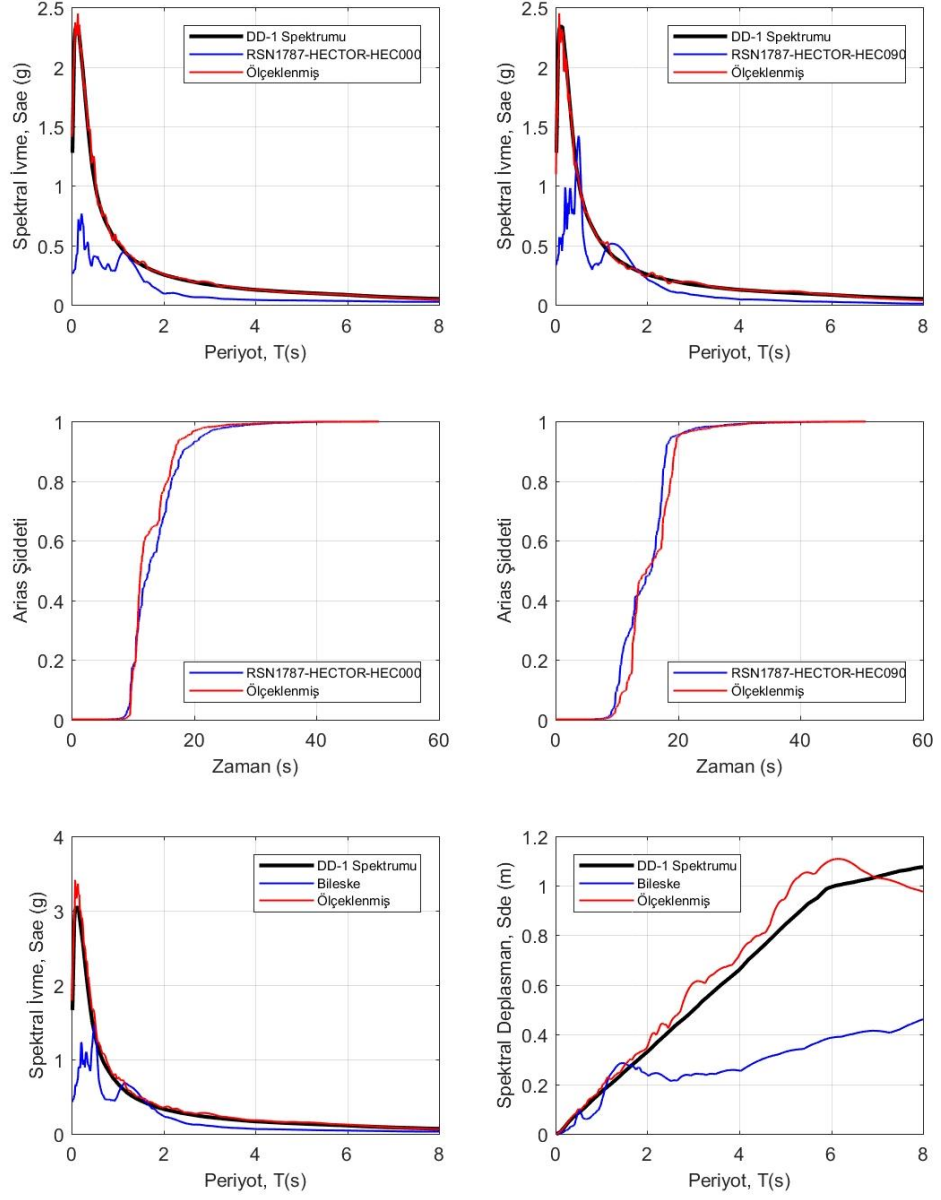
Çizelge 2.2. Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri

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

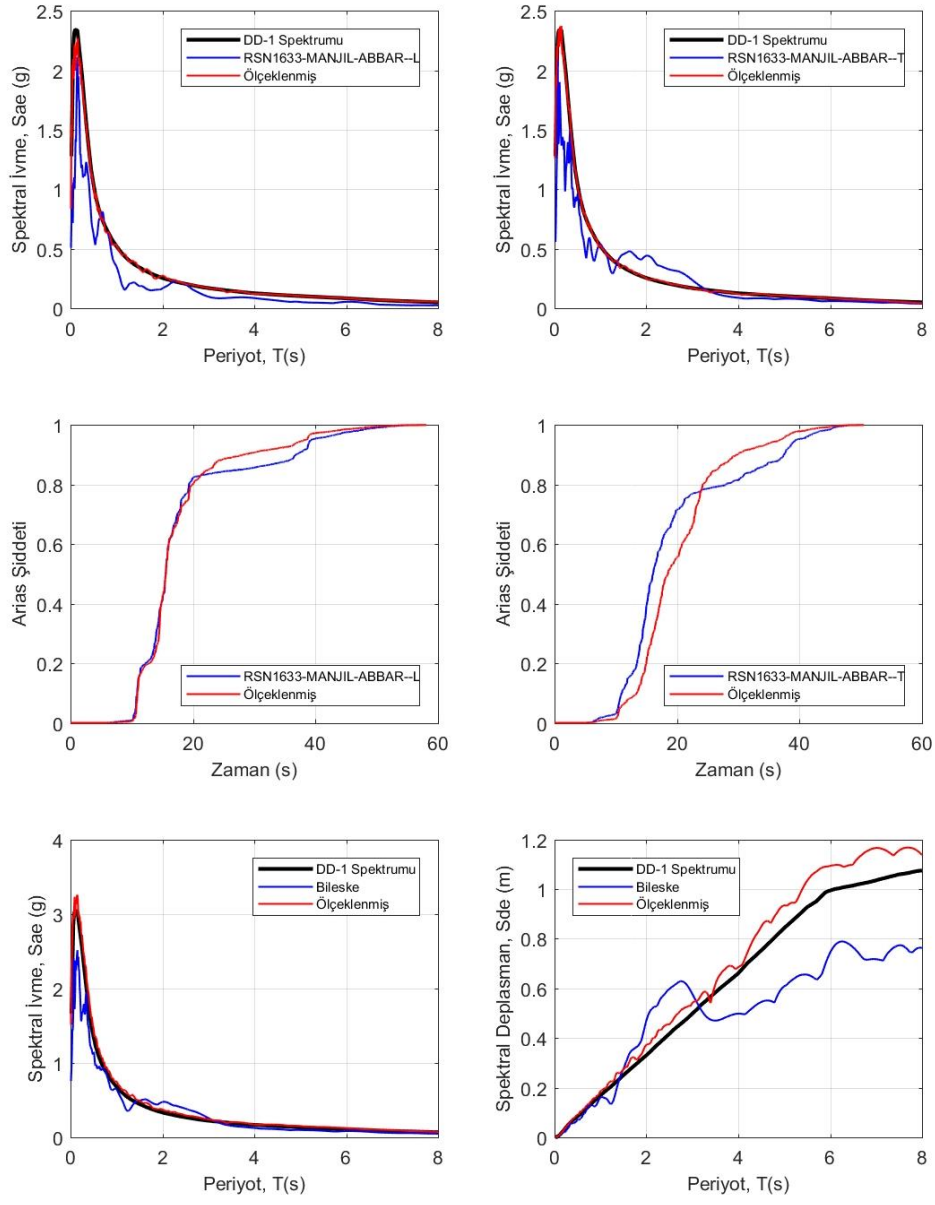
Bu üç deprem kaydı arasında en büyük yer ivmesi (Peak Ground Acceleration- PGA) değeri, 1995 Kobe depremine aittir. Ancak, bu depremin süresi diğer depremlere göre kısadır. Üç deprem kaydı arasında, en uzun deprem süresi ise 1990 Manjil depremine aittir.

TBDY (ÇŞB, 2018) Bölüm 2.5.2 uyarınca, deprem kayıtları basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirme işleminde, TBDY (ÇŞB, 2018) Bölüm 2.3.4'te sunulan yatay elastik tasarım spektrumu kullanılmıştır. Yatay elastik tasarım spektrumunun oluşturulmasında, İzmir İli Halkapınar semtinde yer alan bir konuma (38.43237° enlem ve 27.174225° boylam) ait zemin verileri ile spektral ivme katsayıları kullanılmıştır. Bu konuma ait zemin özelliklerinin tam olarak bilinmesi ve ilgili konumdaki maksimum yer hareketi ivmesi değerinin yüksek olması, ilgili konumun seçiminde etkin rol oynamıştır. Seçilen üç deprem kaydının deprem büyüklüğü, faya uzaklık ve zemin koşulları ölçütleri, İzmir İlinde ilgili konumdaki sismik özelliklerle uyumludur. Buna göre, çelik çerçevenin yer aldığı konumdaki zemin sınıfının ZD olduğu varsayılmıştır. Bu konumdaki kısa periyot ve 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_s ve S_1) değerlerinin 2.144g ve 0.549g ve maksimum yer ivmesi (PGA) değerinin 0.851g olduğu, AFAD Türkiye Deprem Haritaları (AFAD, 2018) yardımıyla tespit edilmiştir.

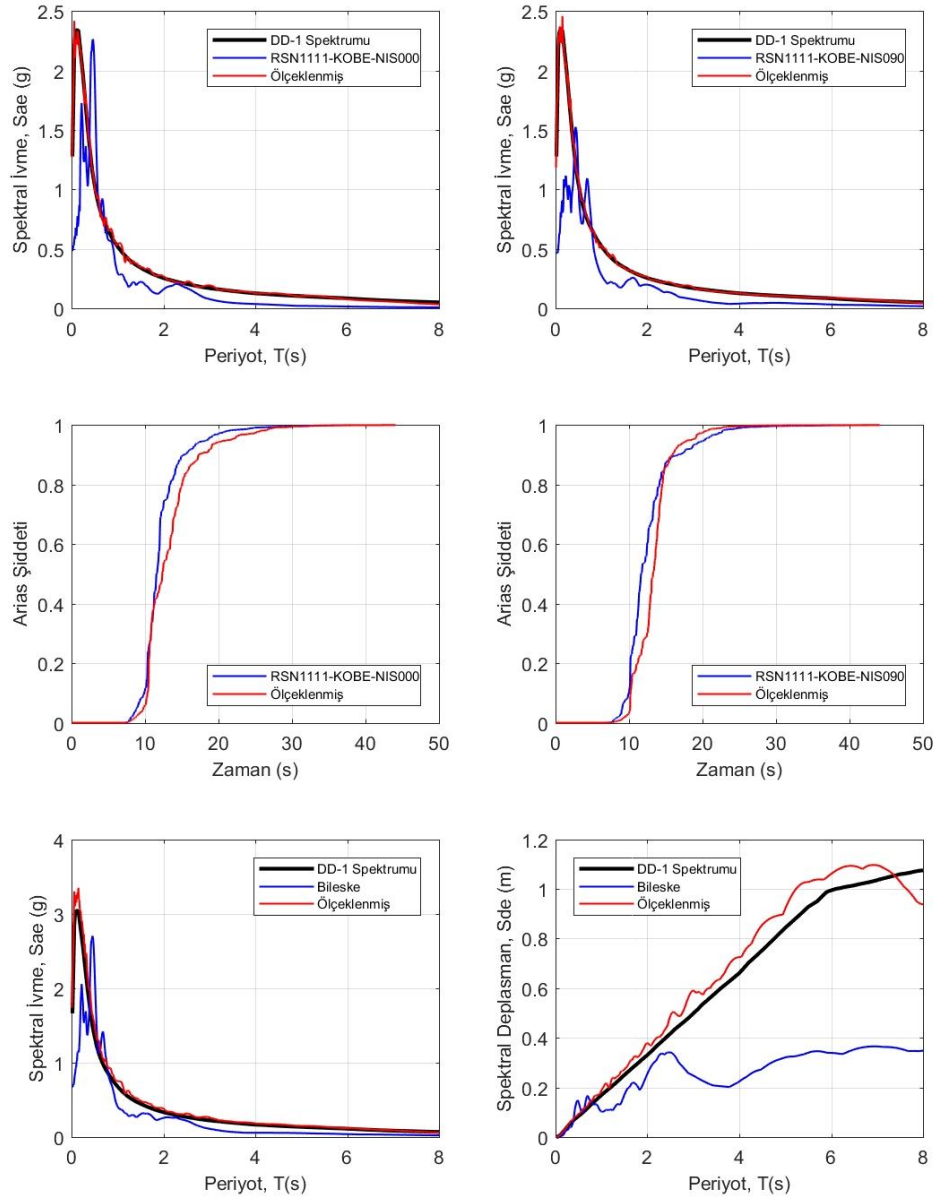
1999 Hector Mine, 1990 Manjil ve 1995 Kobe deprem kayıtlarına uygulanan ölçeklendirme işlemleri Şekil 2.10-2.12'de gösterilmiştir. Bu şekillerde x ve y doğrultuları için alınan iki deprem kaydının ölçeklendirilmesinin yanı sıra, TBDY (ÇŞB, 2018) Bölüm 2.5.2 uyarınca iki yatay bileşenin karelerinin toplamının karekökü alınarak elde edilen bileşke kayıtların ölçeklendirilmesi de gösterilmektedir. Üç deprem kaydına ait ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme, hız ve deplasman değerlerinin zamana bağlı değişimini gösteren grafikler, Şekil 2.13-2.15'te sunulmaktadır. TBDY (ÇŞB, 2018) Bölüm 2.5.1'de öngörülen şartlara uygun olarak, bu üç depreme ait toplam 11 kayıt analizlerde kullanılmıştır (Şekil 2.16).



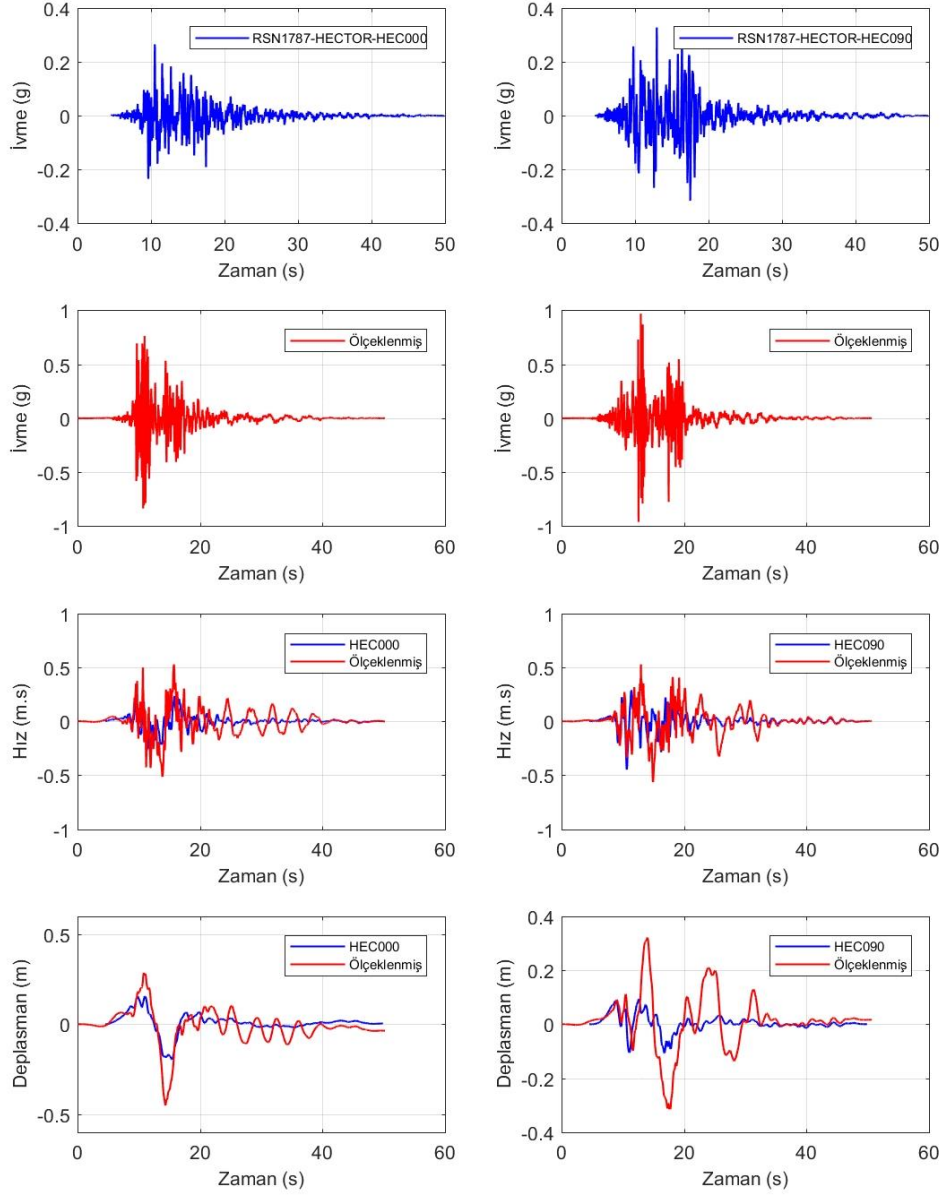
Şekil 2.10. 1999 Hector Mine depreminin ölçeklendirilmesi



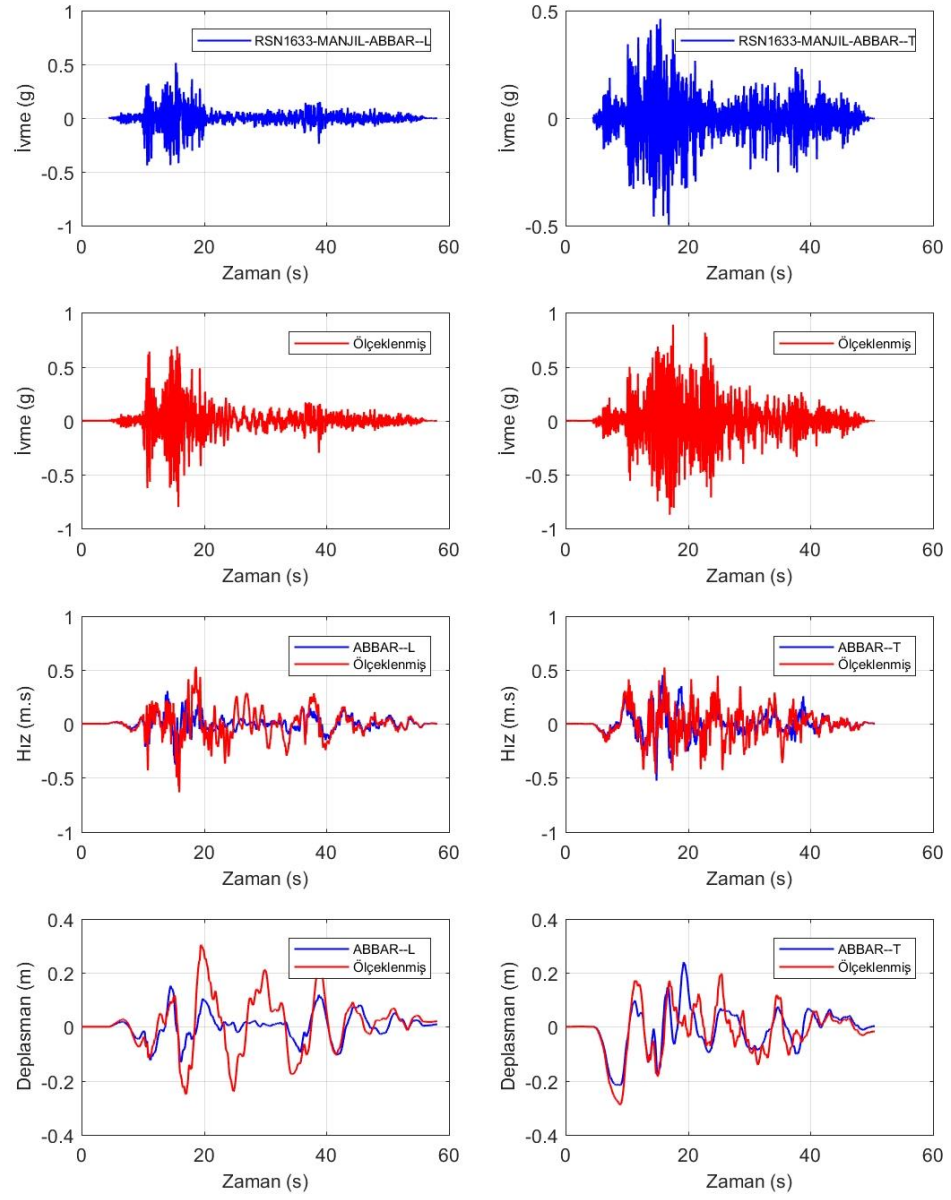
Şekil 2.11. 1990 Manjil depreminin ölçeklendirilmesi



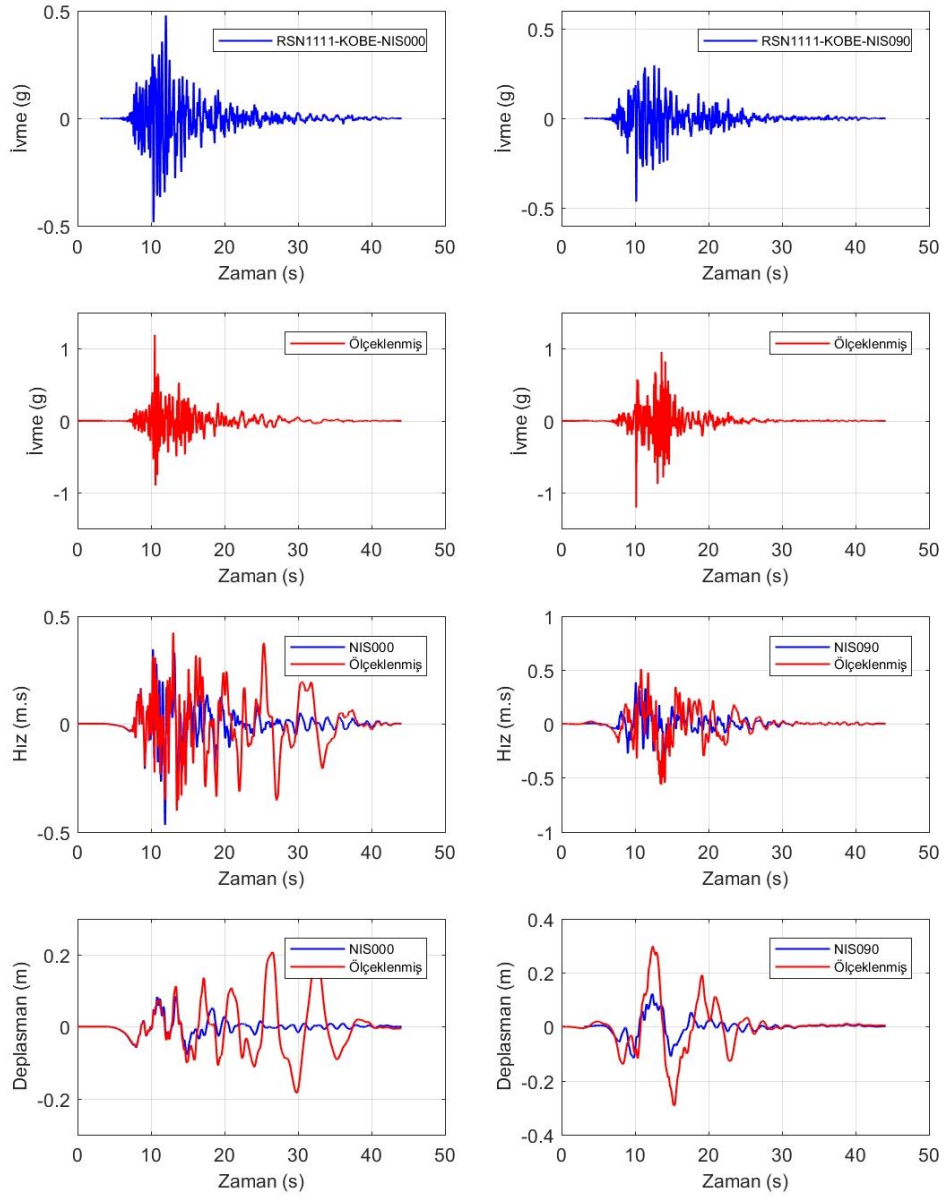
Şekil 2.12. 1995 Kobe depreminin ölçeklendirilmesi



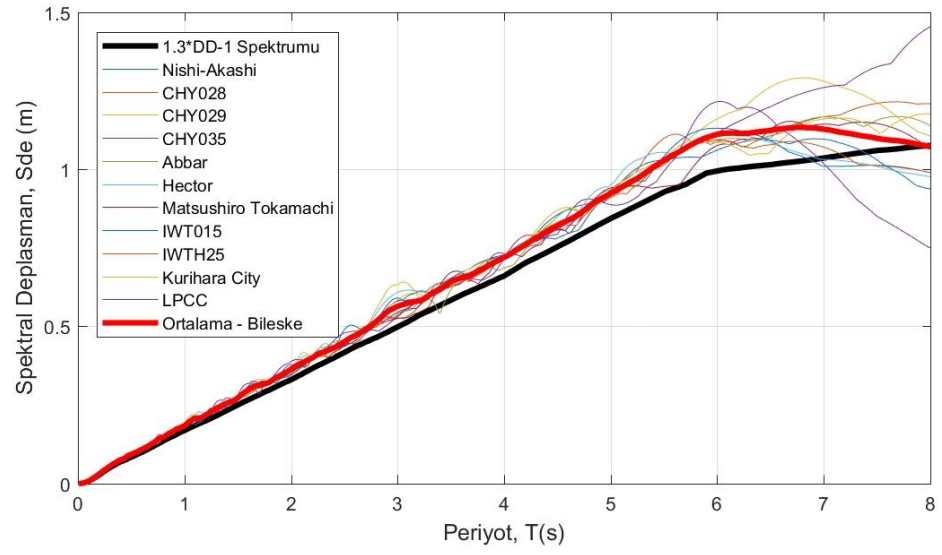
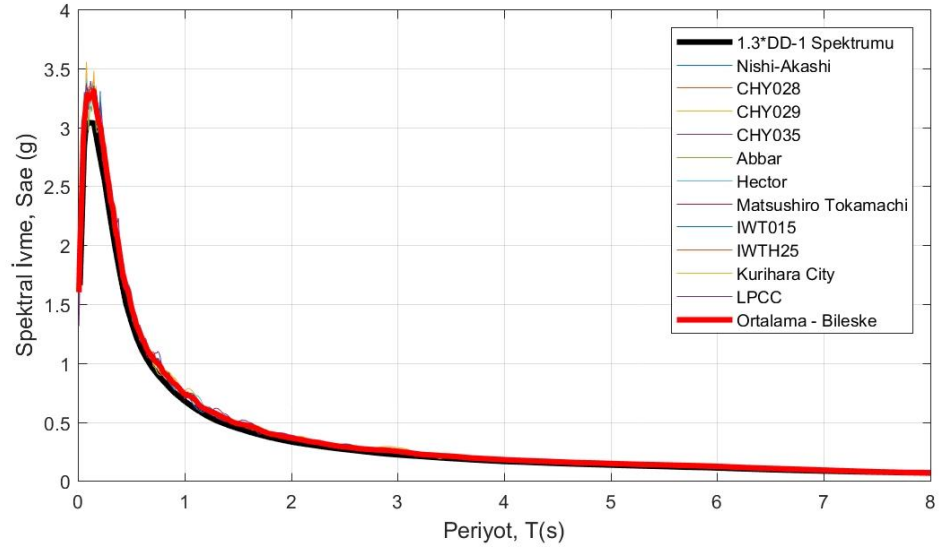
Şekil 2.13. 1999 Hector Mine depremine ait ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş ivme, hız ve yer değiştirme kayıtları



Şekil 2.14. 1990 Manjil depremine ait ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş ivme, hız ve yer değiştirme kayıtları



Şekil 2.15. 1995 Kobe depremine ait ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş ivme, hız ve yer değiştirme kayıtları



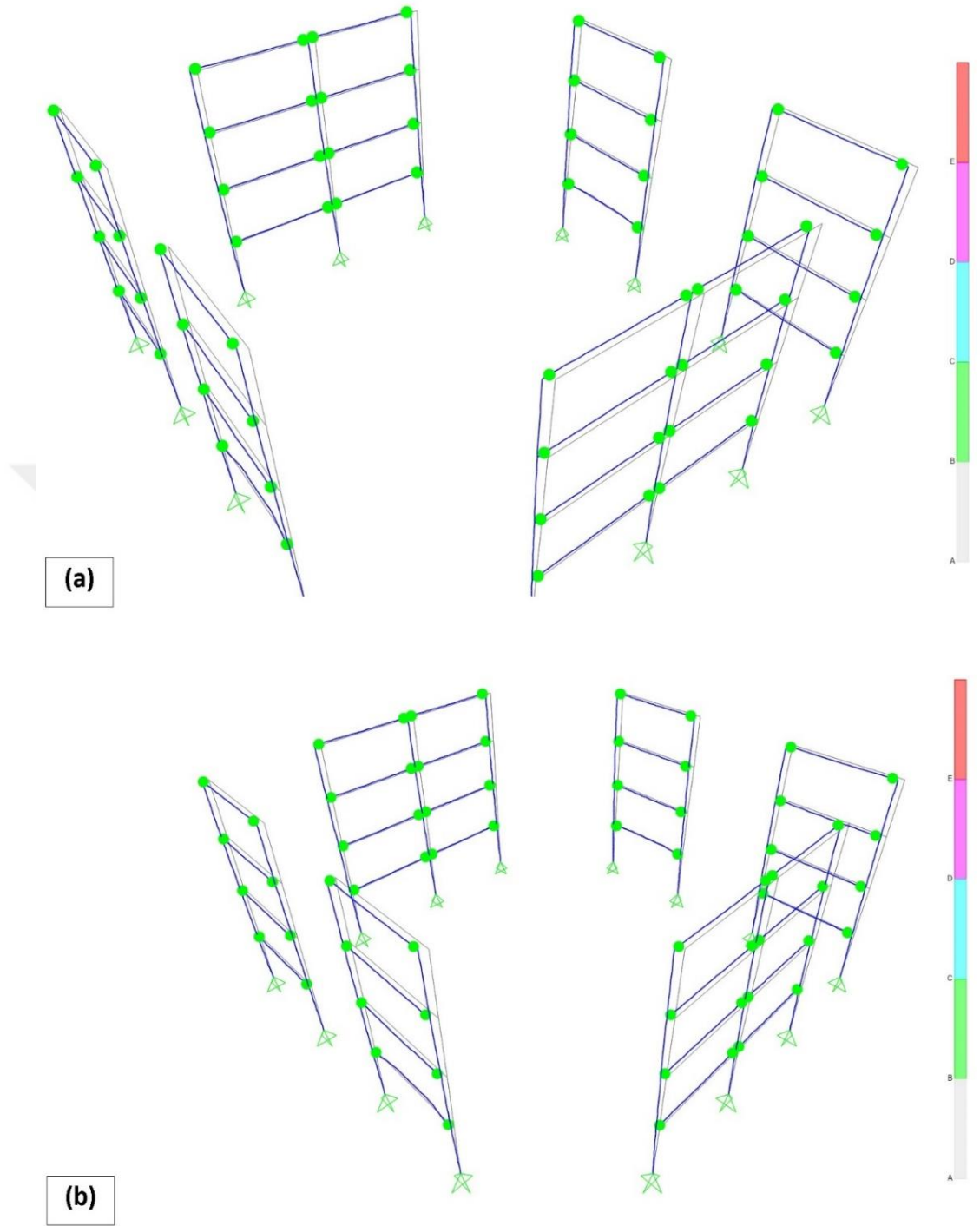
Şekil 2.16. Tüm kayıtların tasarım spektrumuna göre ölçeklenmesi

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

HC ve SPC birleşimli SMF sistemlerin deprem davranışlarının karşılaştırılmasında, plastik mafsallaşma sonucu birleşim dönme kapasitelerinin aşılması ölçütü kullanılmıştır. Bu bölümde, birleşimlerde dönme kapasitesinin aşılması sonuçları haricinde kat yanal ötelenmeleri de sunulmuştur. Ancak, çerçevenin davranışını en iyi niteleyen ve gösteren ölçütün birleşimlerdeki zorlanmalar olmasından hareketle, bölümün son kısmında yapılan tartışmaların tümü, birleşimlerdeki dönme kapasitesi aşımalarını esas almaktadır.

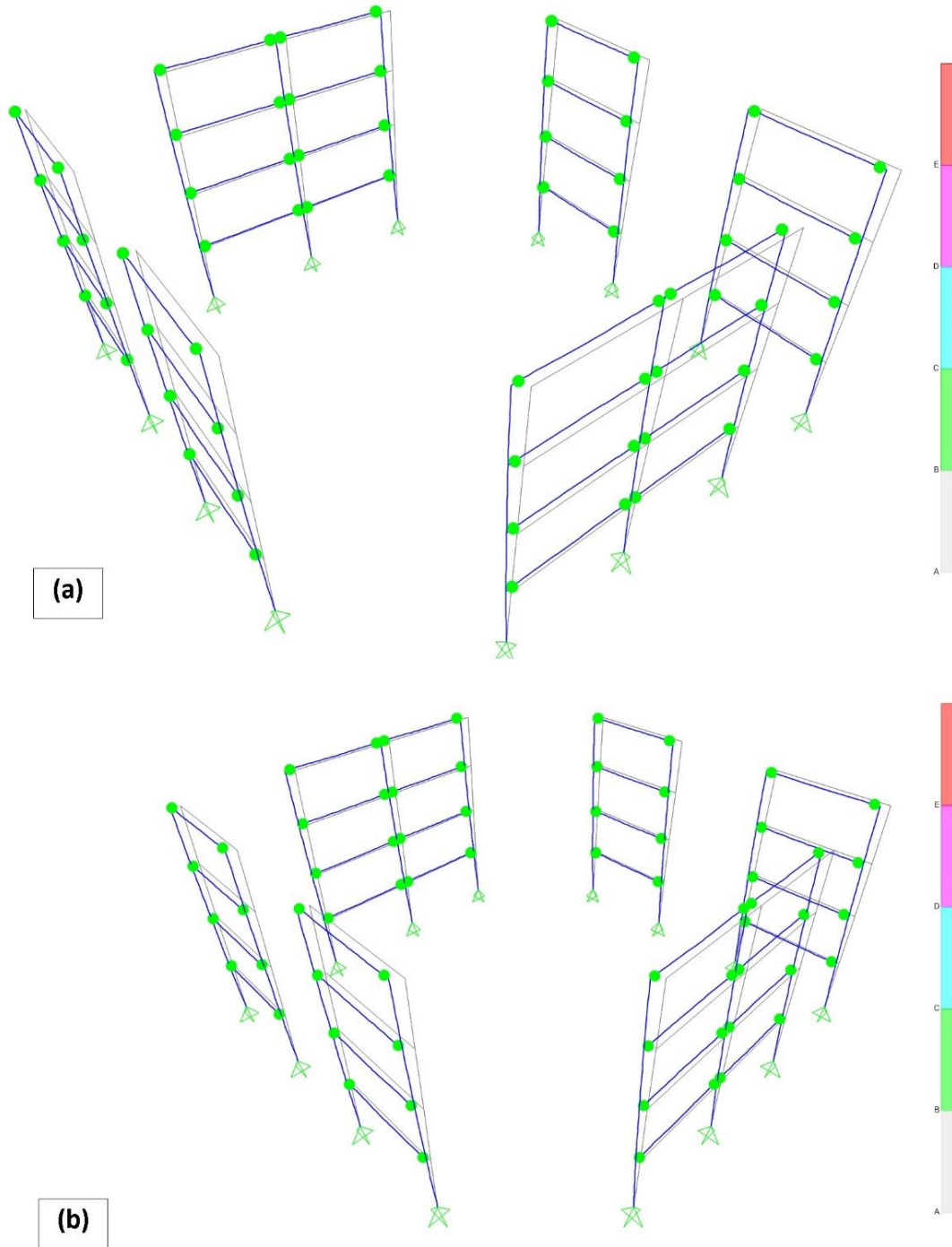
3.1. Kolon-Kiriş Birleşimlerindeki Dönme Açıları ve Zorlanmalar

HC ve SPC birleşim detaylarına sahip çerçeve modelinin, 1999 Hector Mine deprem kaydının 2475, 4950, 9900, 12375, 14850, 17325, 19800 ve 22225 yıl dönüş periyodu değerlerine göre ayarlanmış seviyeleri altında yapılan analizlerinden elde edilen birleşim zorlanmaları, Şekil 3.1-3.8’de gösterilmektedir. Aynı çerçeve modelinin, 1990 Manjil depreminin aynı dönüş periyodu değerlerine göre yapılan doğrusal olmayan analizlerinden elde edilen birleşim durumları, Şekil 3.9-3.16’da gösterilmektedir. HC birleşimli çerçeve modeli, 1990 Manjil depreminin 19800 ve 22275 yıl dönüş periyodu değerlerine göre ayarlanmış seviyeleri altında stabilitesini tamamen yitirmektedir. Bu sebeple, HC birleşimli çerçevenin, 1990 Manjil deprem kaydının 19800 ve 22275 yıl dönüş periyoduna tekabül eden sonuçları, Şekil 3.15 ile 3.16’ya dahil edilememiştir. Son olarak, 1995 Kobe depreminin 2475, 4950, 9900, 12375, 14850, 17325, 19800 ve 22225 yıl dönüş periyodu değerlerine karşılık gelen şiddetleri altında yapılan analizlerin sonuçları, Şekil 3.17-3.24’te gösterilmiştir. HC ve SPC birleşimli SMF sistem, 1995 Kobe depreminin 22275 yıla kadar olan dönüş periyodu değerleri altında birleşim göçmesine uğramamıştır. Bu sebeple, 1995 Kobe depremi için daha büyük dönüş periyodu ve deprem şiddeti değerleri de kullanılmıştır. HC birleşimli SMF sistemde ilk birleşim göçmesi 32175 yıl dönüş periyodu altında gerçekleşmiştir (Şekil 3.25).



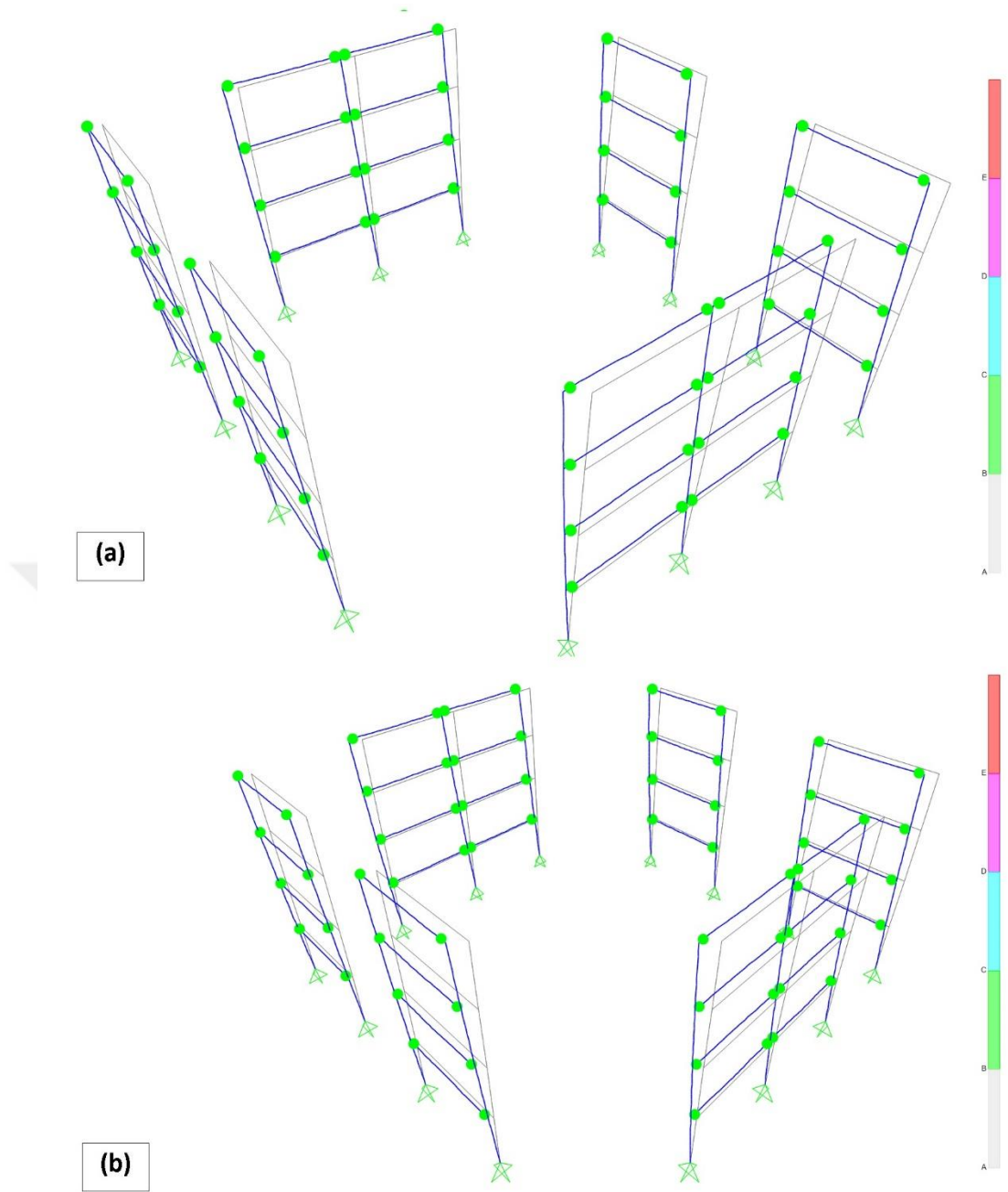
Şekil 3.1. 1999 Hector Mine deprem kaydının 2475 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu

Şekil 3.1-.3.25'te birleşimlerdeki zorlanmalar, beş davranış bölgesine ayrılmıştır. A ve B sınır değerleri ile sınırlanan kısım (gri), plastik mafsalların oluşması muhtemel kiriş uç bölgelerinin elastik davranış bölgesinde kaldığını, yani kiriş uçlarında akmanın başlamadığını göstermektedir.



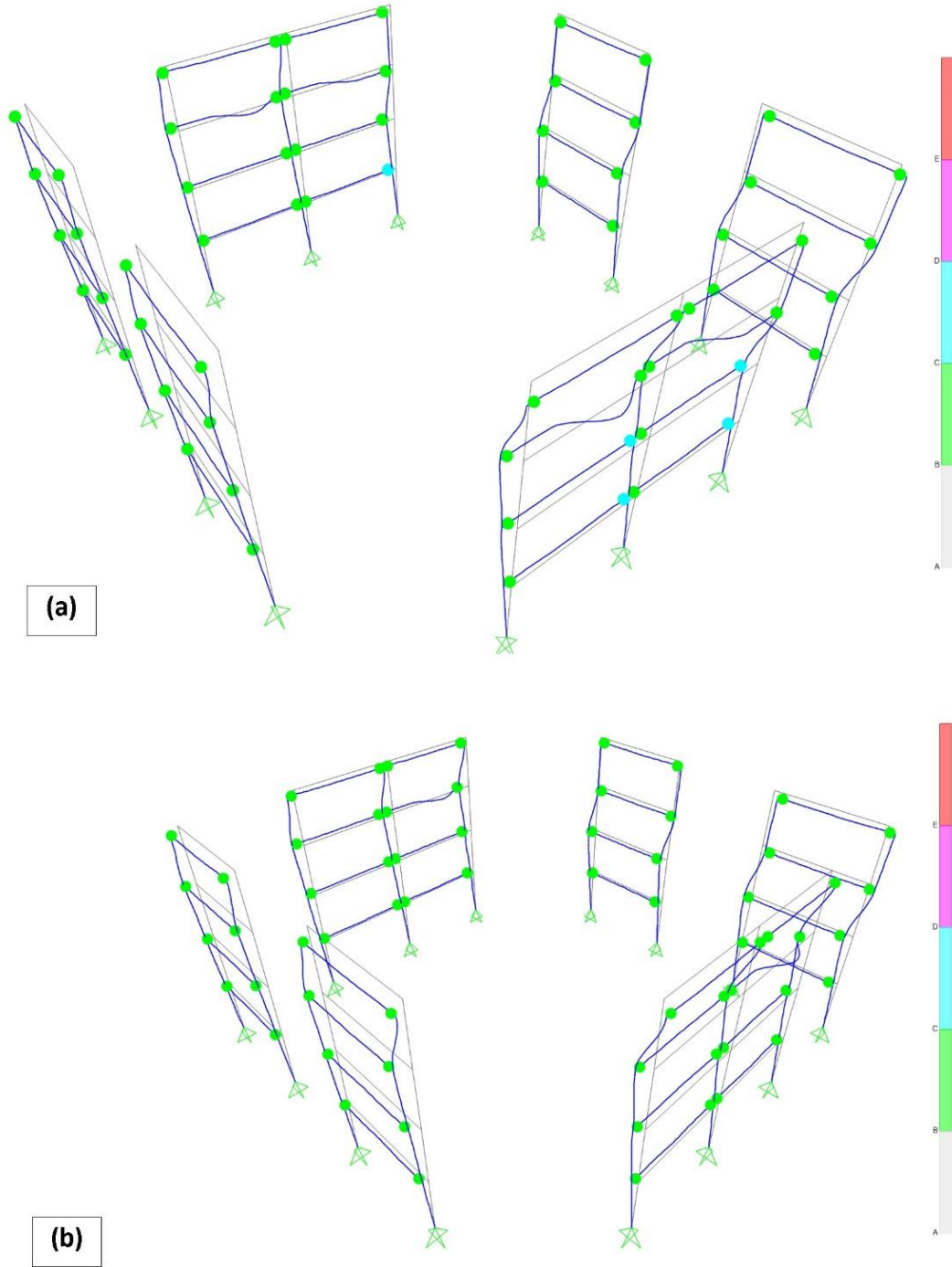
Şekil 3.2. 1999 Hector Mine deprem kaydının 4950 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu

B noktası, akmanın ilk başladığı zorlanma durumunu, yani akma dönme açısına (θ_y) ulaşıldığını göstermektedir. Sırasıyla, B-C (yeşil), C-D (açık mavi), D-E (mor) bölgeleri, sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme öncesi (GÖ) performans seviyelerine karşılık gelmektedir.



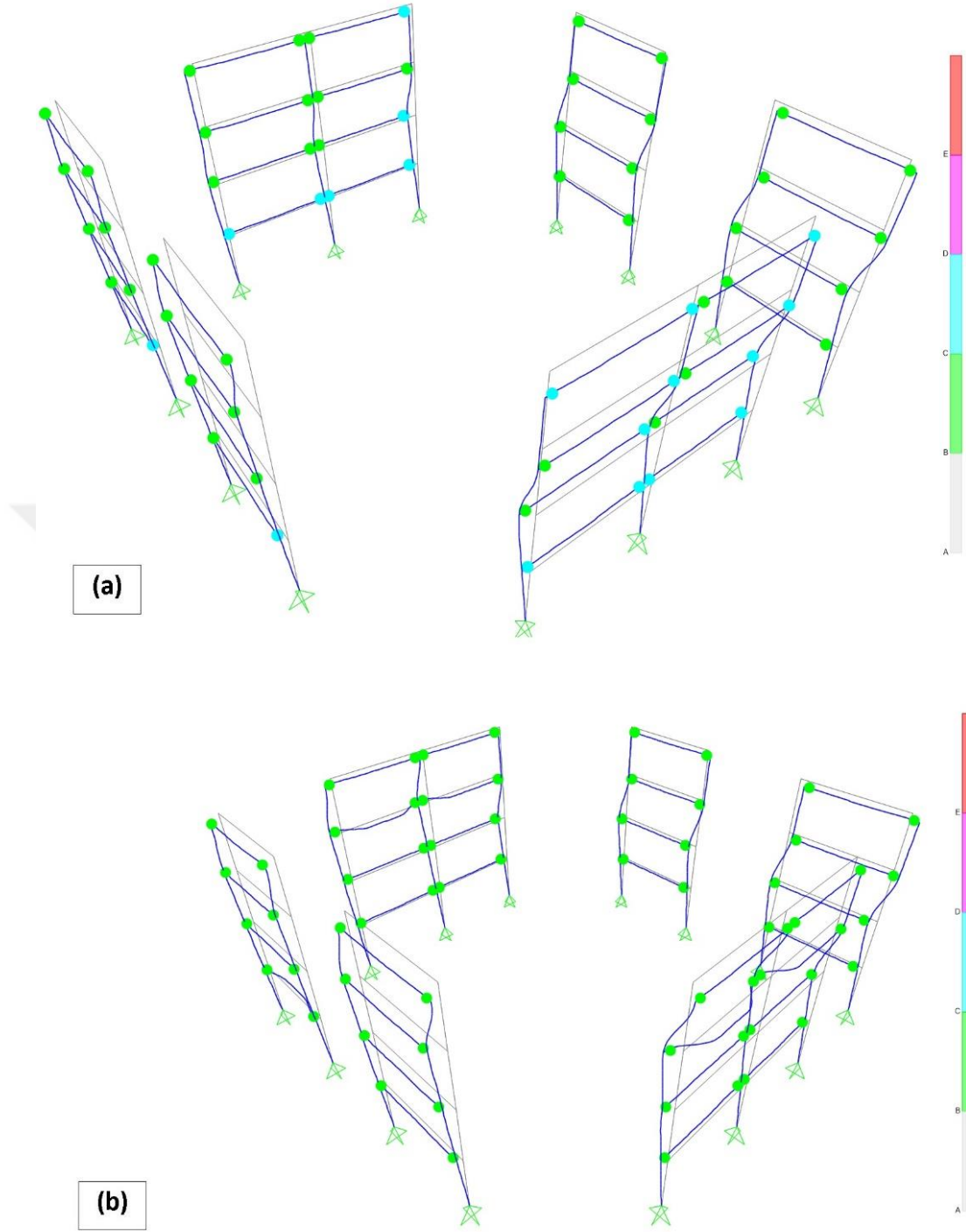
Şekil 3.3. 1999 Hector Mine deprem kaydının 9900 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu

Son olarak, E seviyesinin ötesi (kırmızı bölge) plastik mafsallaşma bölgesinde dönme kapasitesinin tamamen aşıldığını, yani birleşimin göçtüğünü ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında önemli olan ölçüt, mafsallaşma bölgesinde dönme kapasitesinin aşılması, yani birleşimin tamamen göçmesi olduğu için, birleşimlerin E düzeyini aştığı (mafsalların kırmızıya döndüğü) dönüş periyodu değerleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

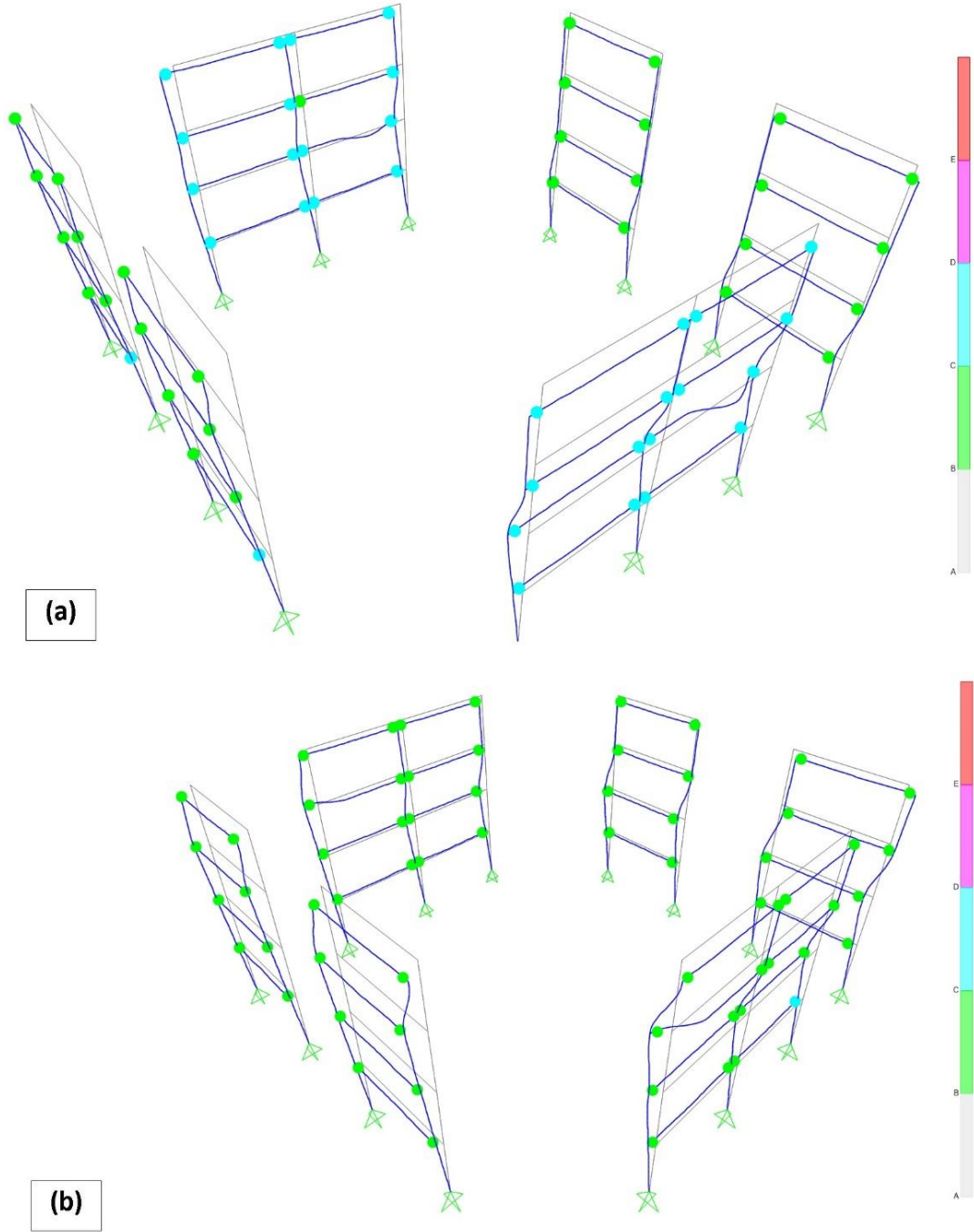


Şekil 3.4. 1999 Hector Mine deprem kaydının 12375 yıl tekrarlanma periyodu için
(a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu

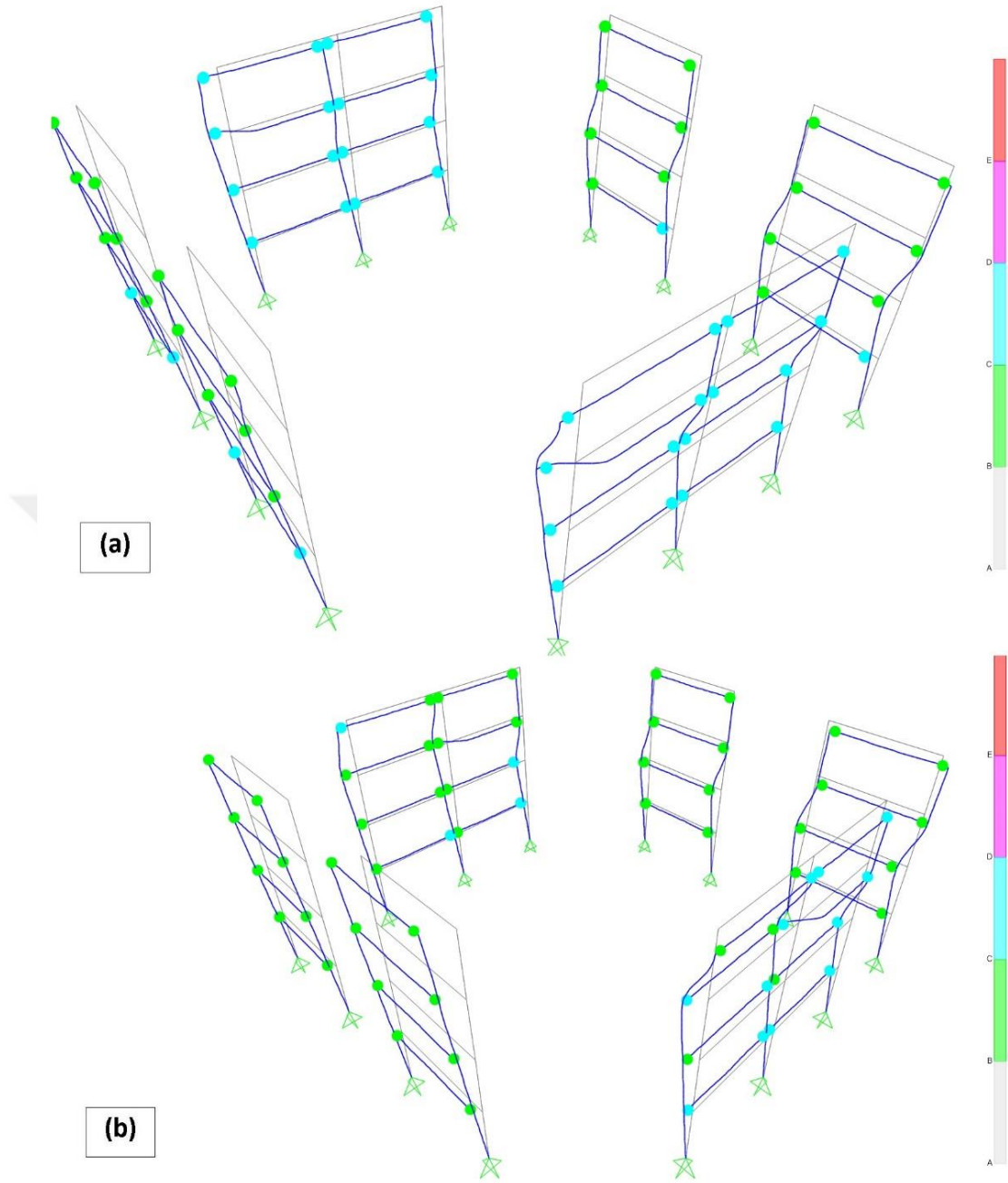
Bir önceki bölümde de ifade edildiği üzere, her iki birleşim türünün de dönme sınır değerleri (0,04 ve 0,06 radyan), kiriş ucunda izin verilen dönme sınır değerinin ($9.\theta_y$) altında kalmaktadır. Bu nedenle, grafiklerde gösterilen kırmızı bölge (E seviyesinin üstü) HC ve SPC birleşimlerin sırasıyla 0,04 ve 0,06 radyan dönme sınır değerlerini aştığını ifade etmektedir.



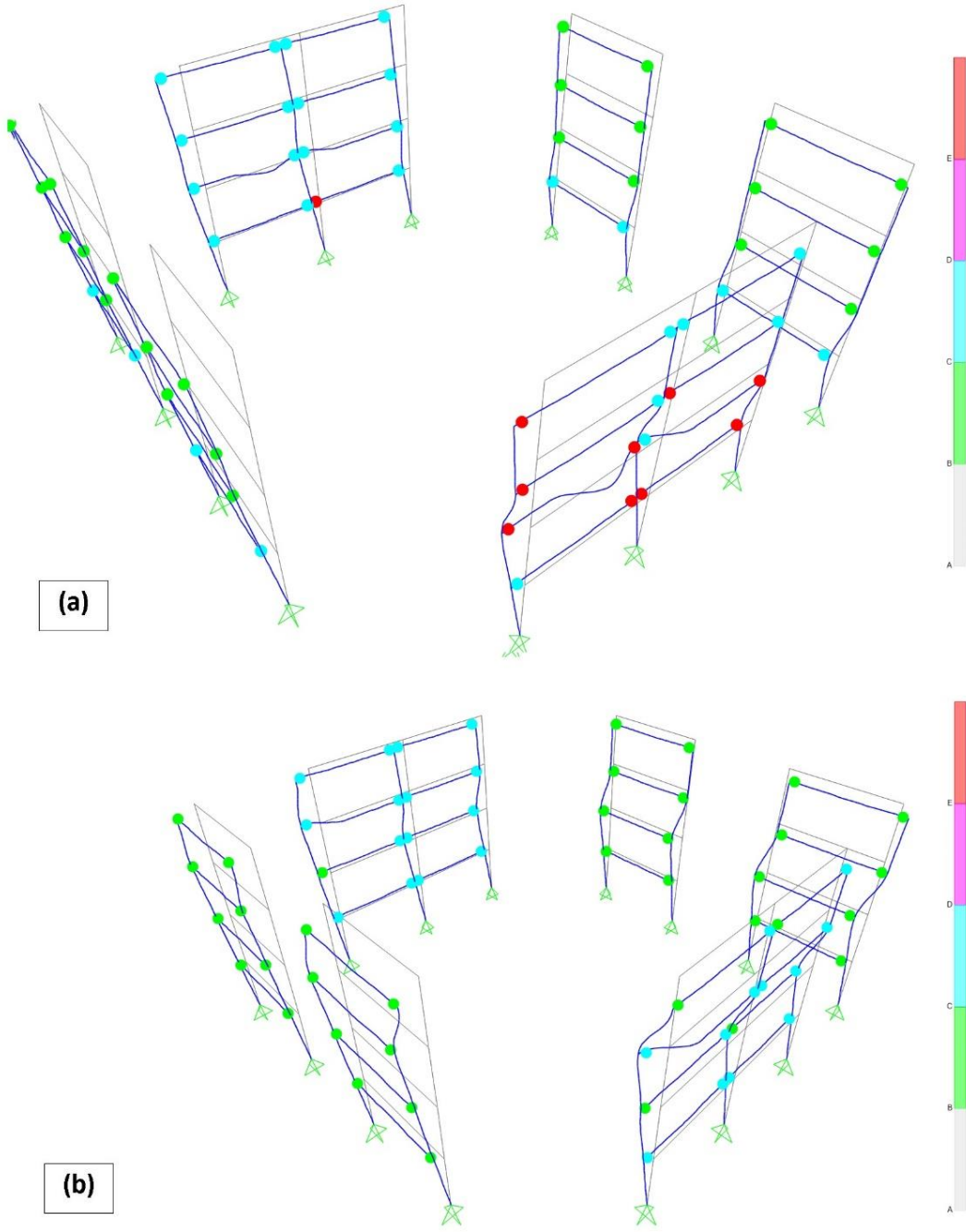
Şekil 3.5. 1999 Hector Mine deprem kaydının 14850 yıl tekrarlanma periyodu için
(a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



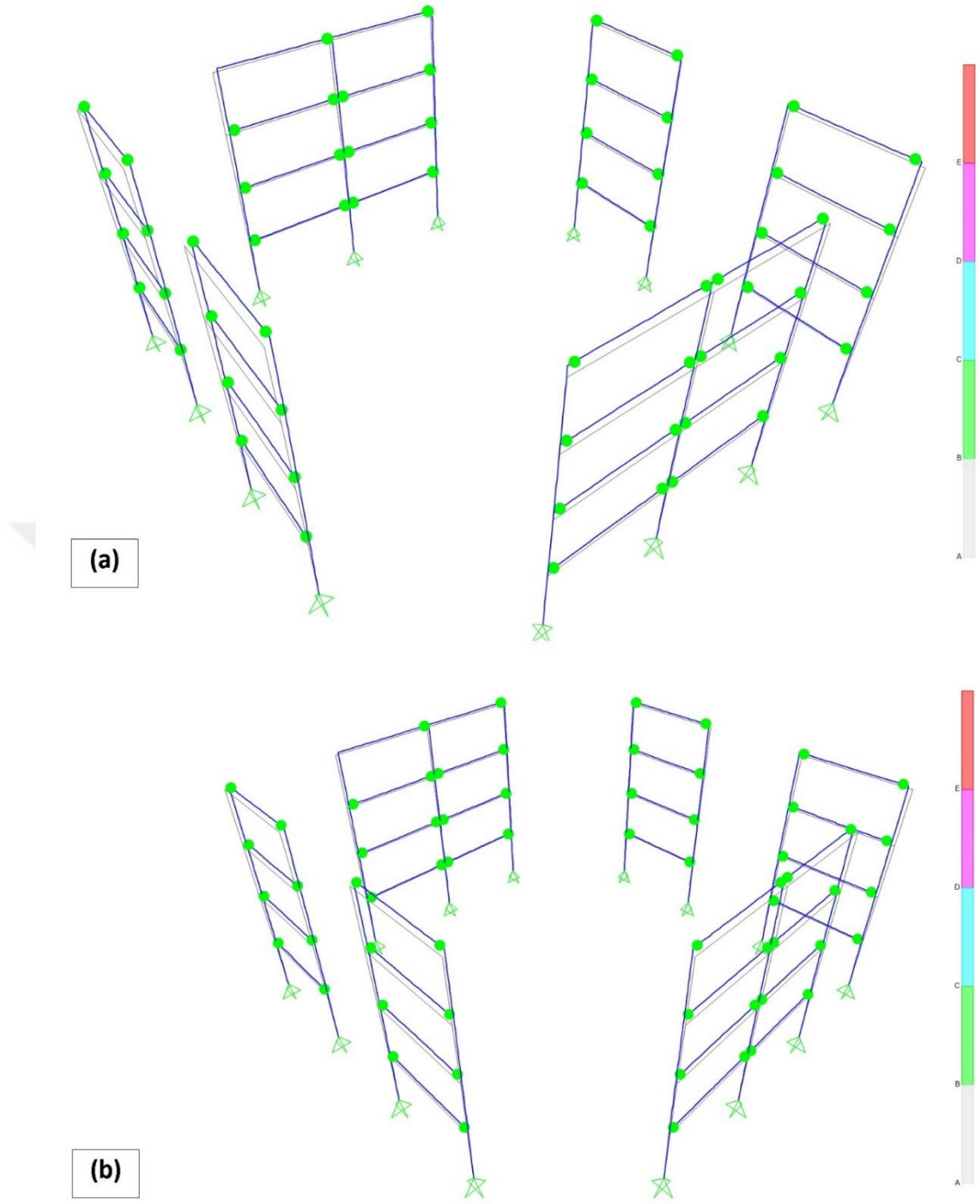
Şekil 3.6. 1999 Hector Mine deprem kaydının 17325 yıl tekrarlanma periyodu için
(a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



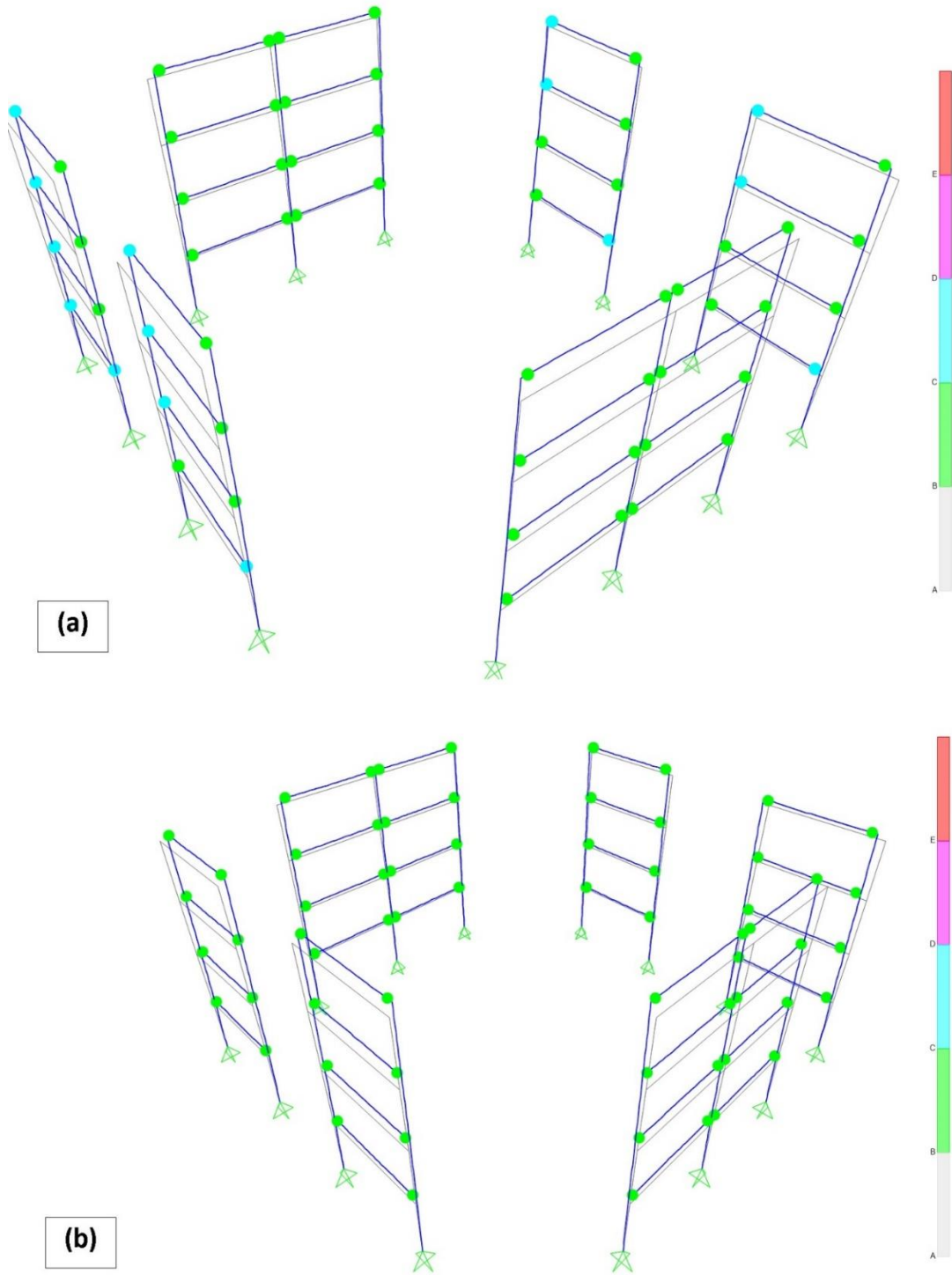
Şekil 3.7. 1999 Hector Mine deprem kaydının 19800 yıl tekrarlanma periyodu için
(a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



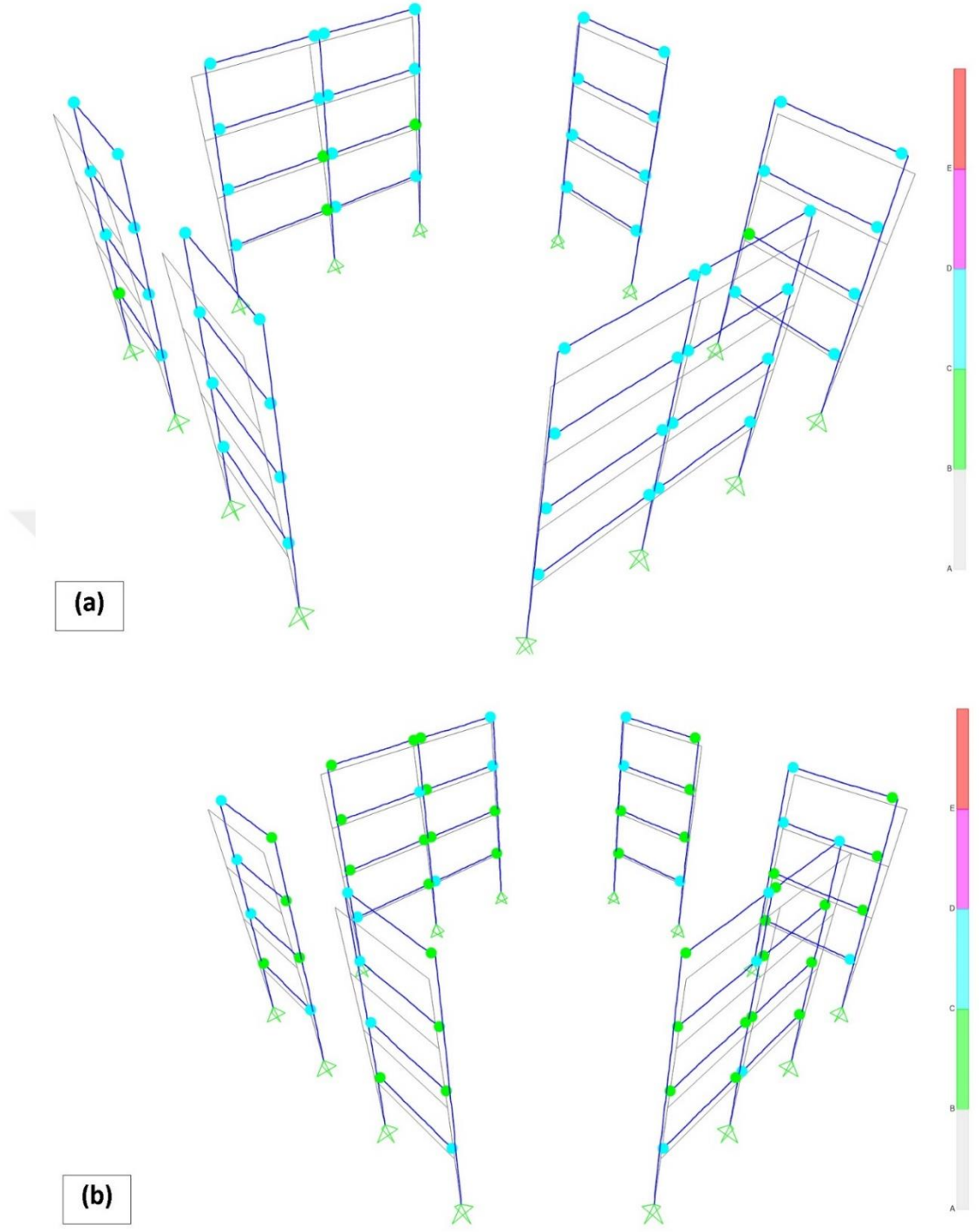
Şekil 3.8. 1999 Hector Mine deprem kaydının 22275 yıl tekrarlanma periyodu için
(a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu

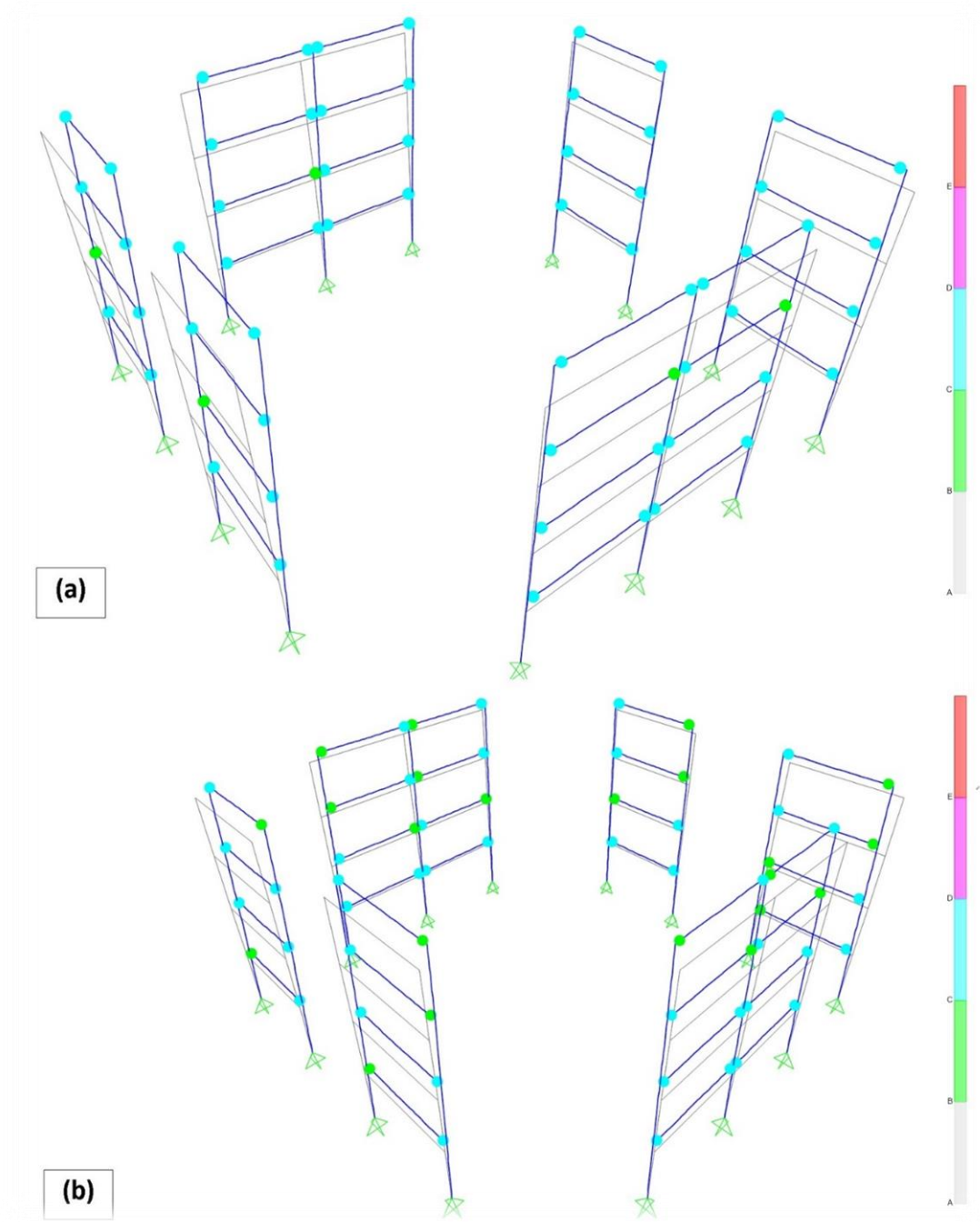


Şekil 3.9. 1990 Manjil deprem kaydının 2475 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu

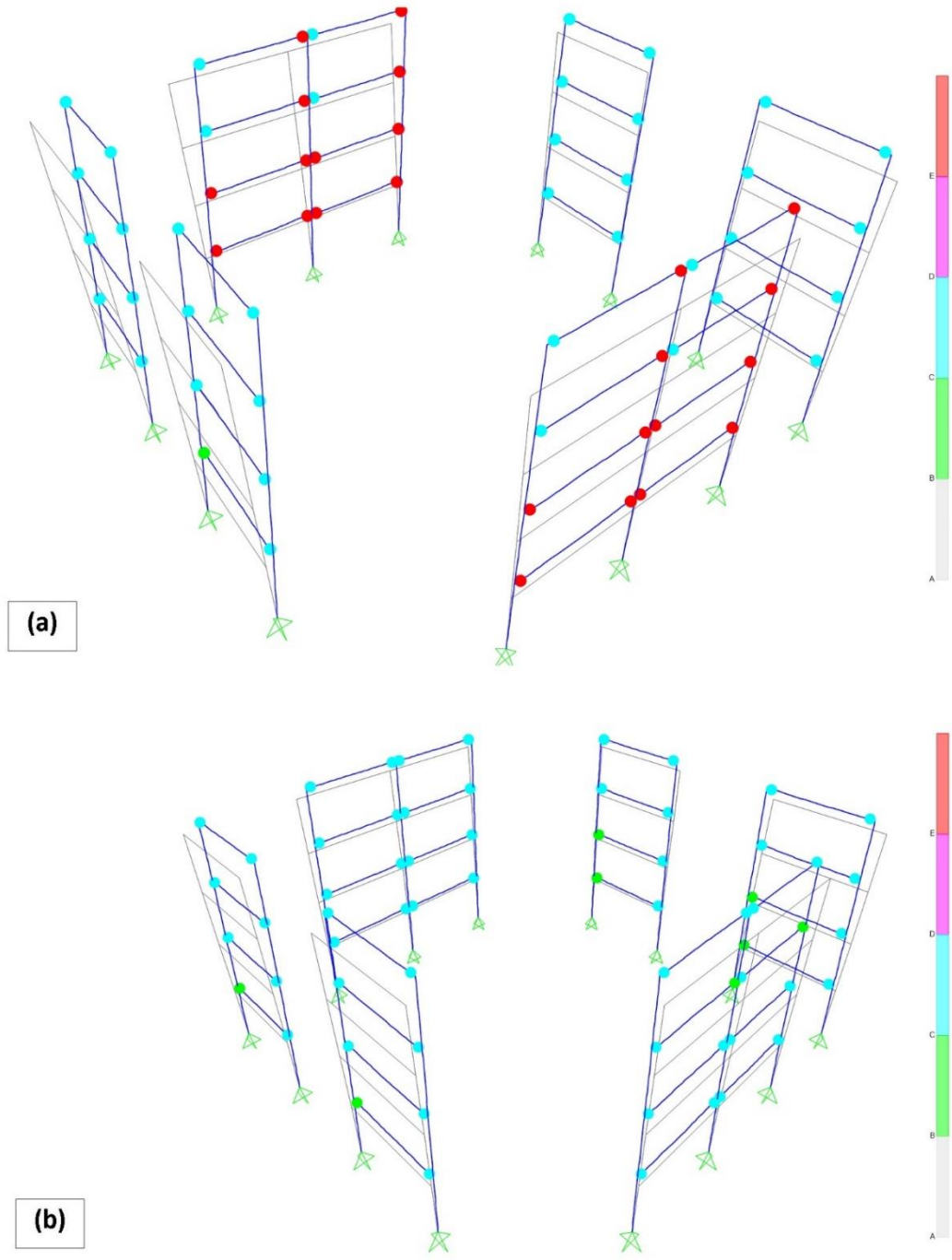


Şekil 3.10. 1990 Manjil deprem kaydının 4950 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu

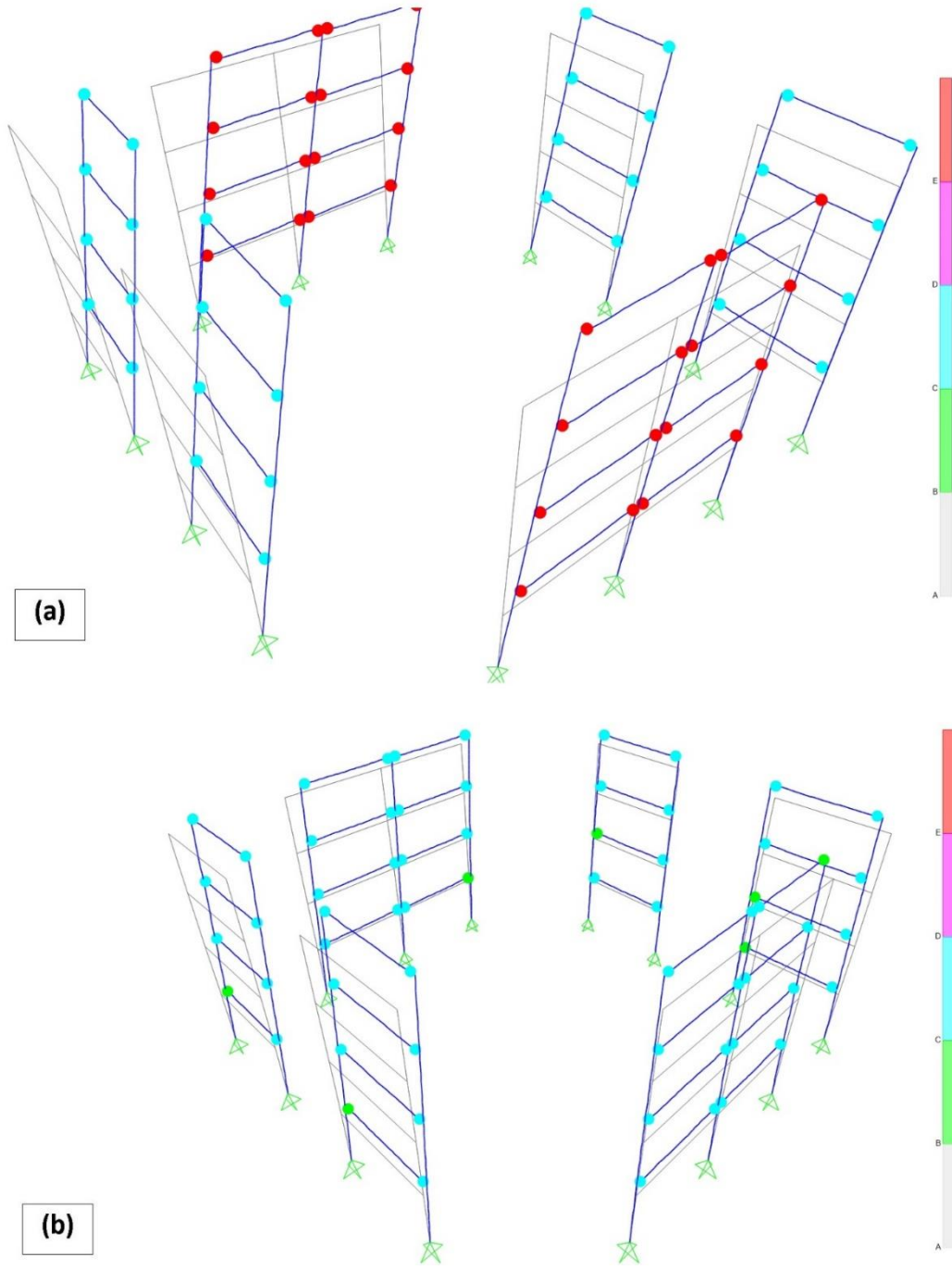




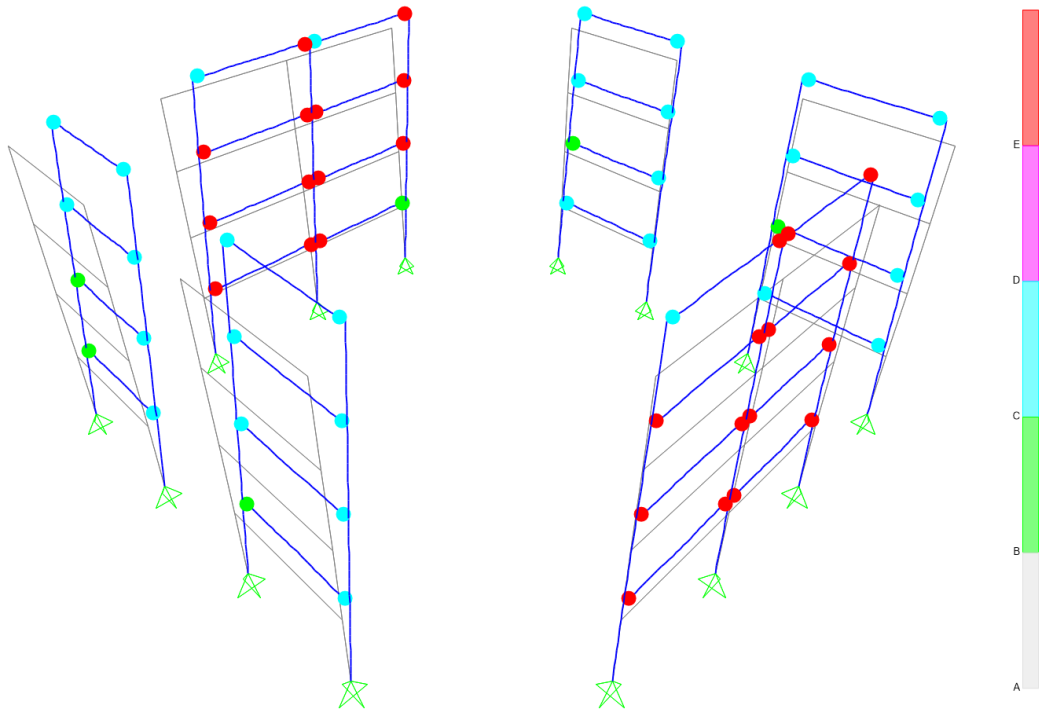
Şekil 3.12. 1990 Manjil deprem kaydının 12375 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



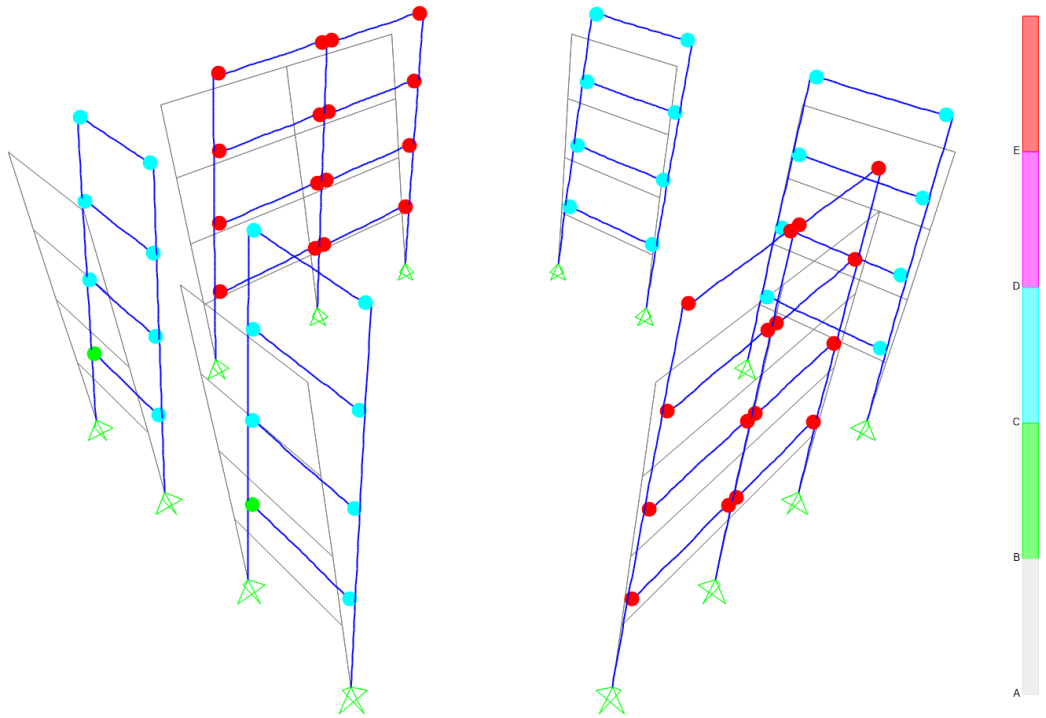
Şekil 3.13. 1990 Manjil deprem kaydının 14850 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



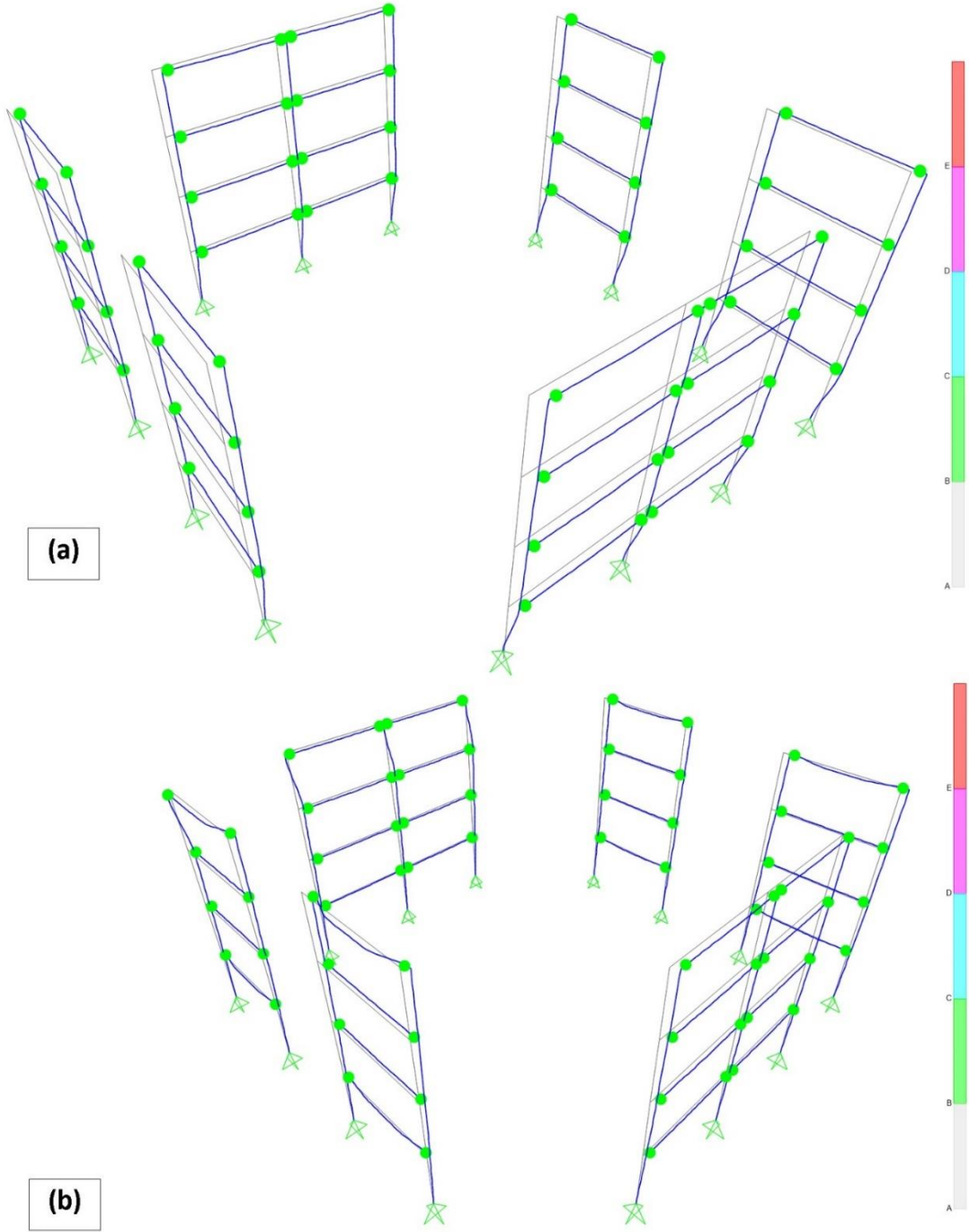
Şekil 3.14. 1990 Manjil deprem kaydının 17325 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



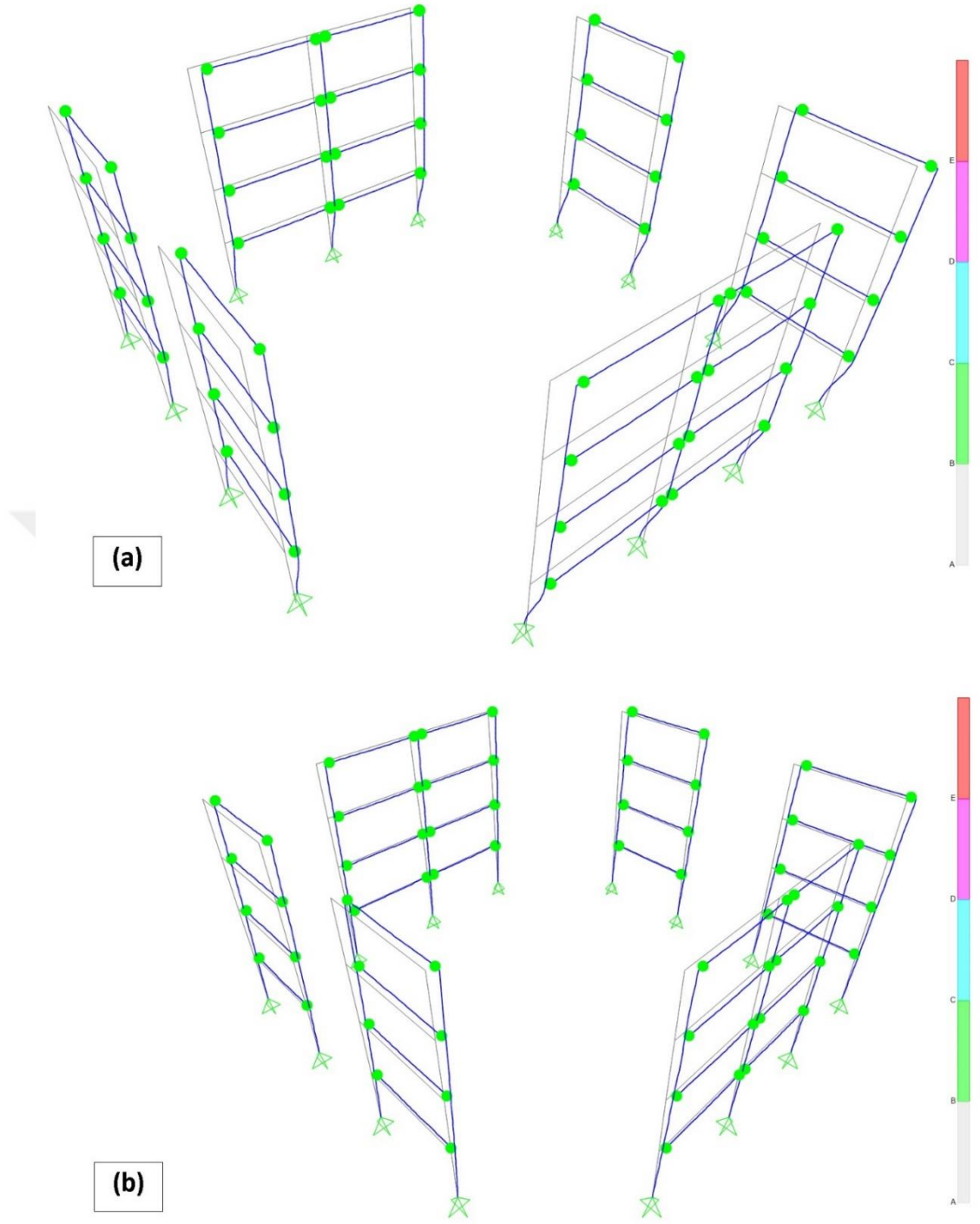
Şekil 3.15. 1990 Manjil deprem kaydının 19800 yıl tekrarlanma periyodu için SPC birleşimli SMF çerçevede birleşimlerin durumu



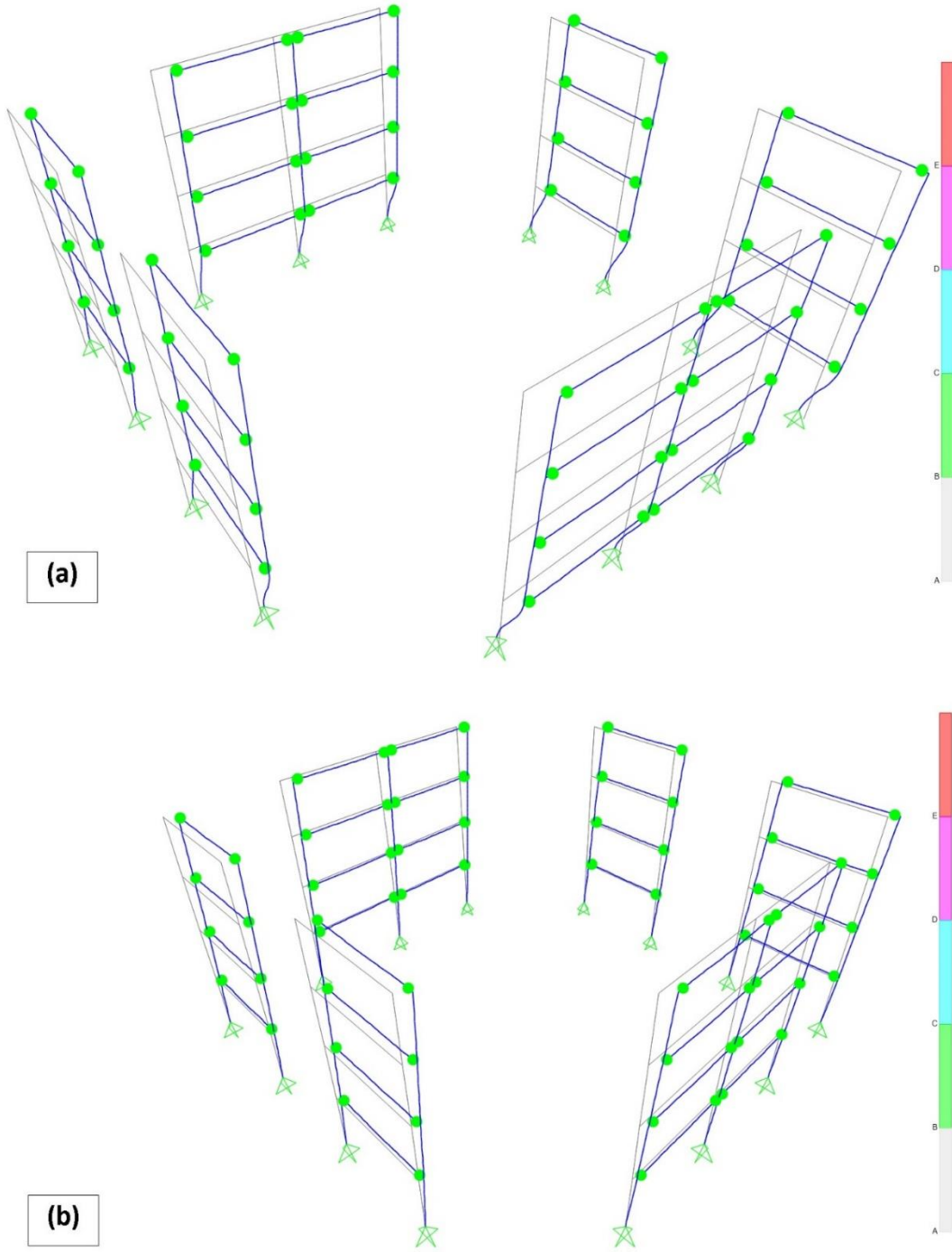
Şekil 3.16. 1990 Manjil deprem kaydının 22275 yıl tekrarlanma periyodu için SPC birleşimli SMF çerçevede birleşimlerin durumu



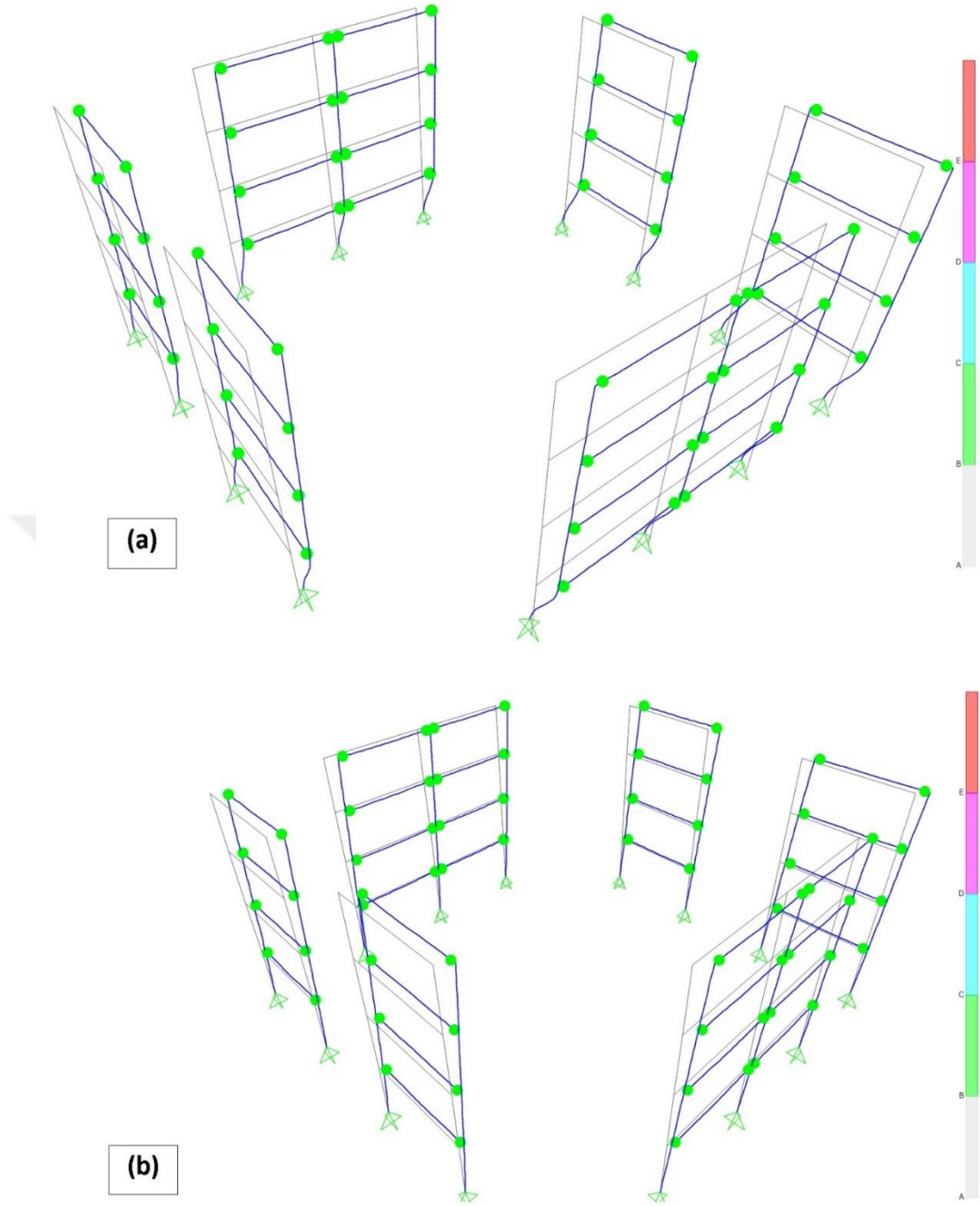
Şekil 3.17. 1995 Kobe deprem kaydının 2475 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



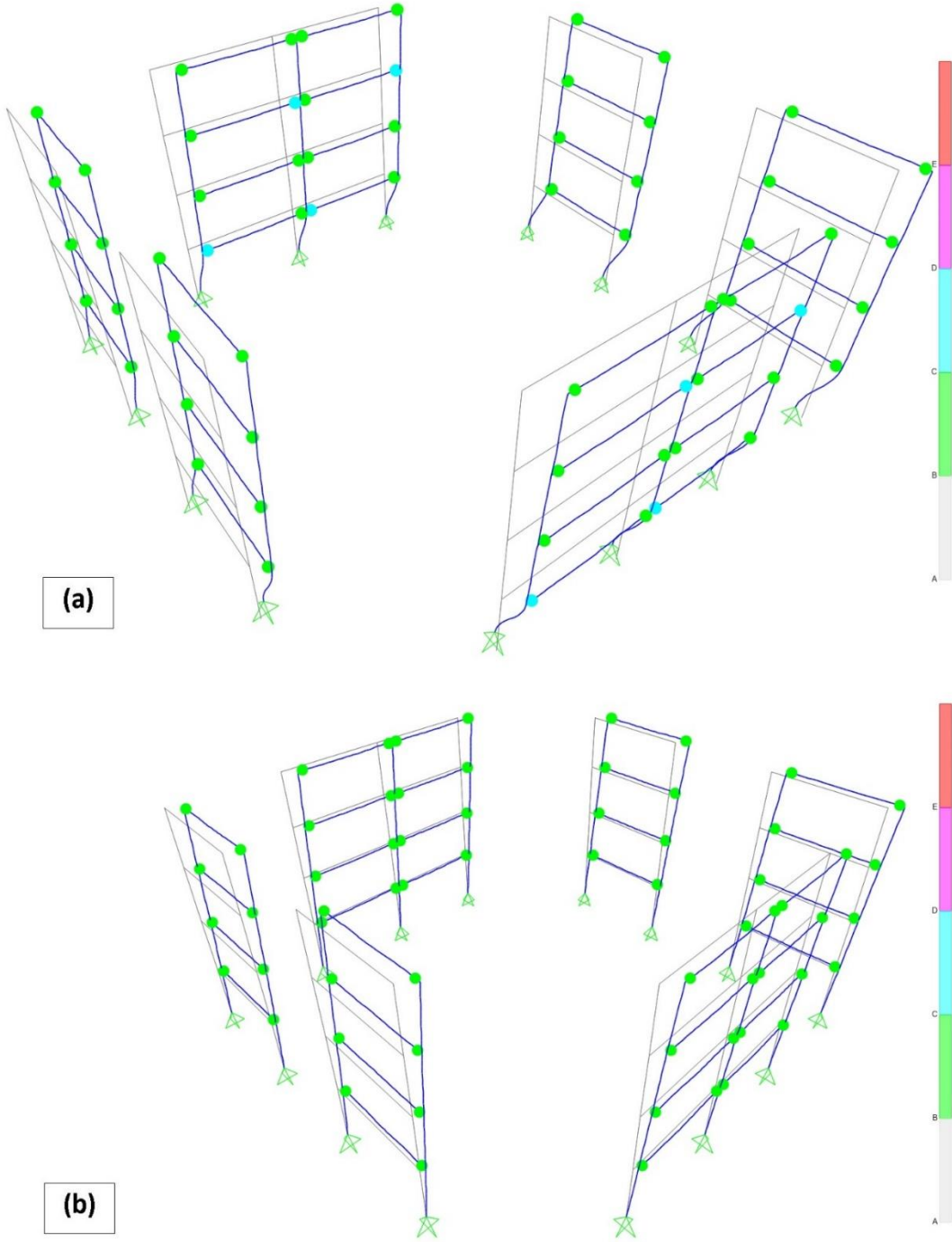
Şekil 3.18. 1995 Kobe deprem kaydının 4950 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



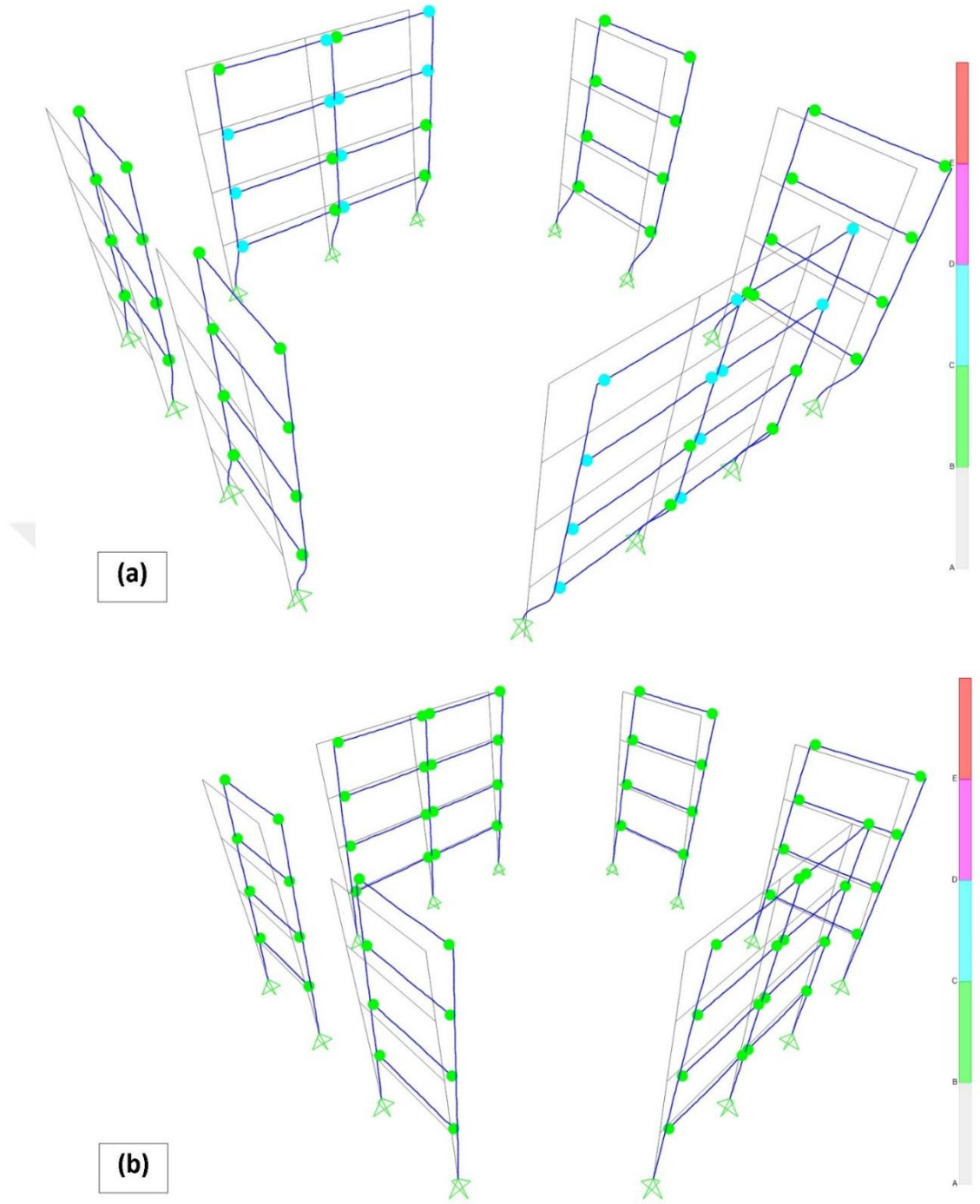
Şekil 3.19. 1995 Kobe deprem kaydının 9900 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



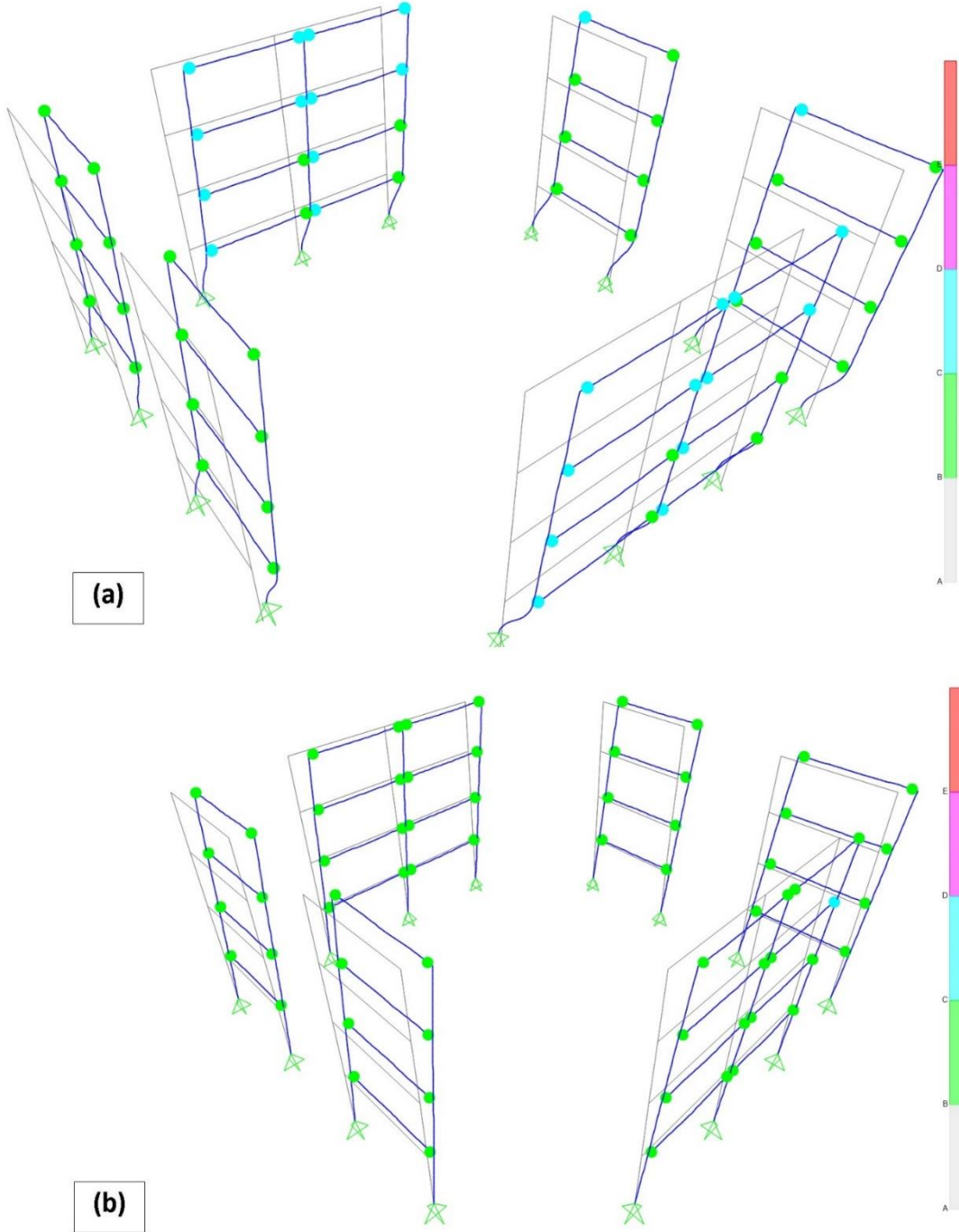
Şekil 3.20. 1995 Kobe deprem kaydının 12375 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



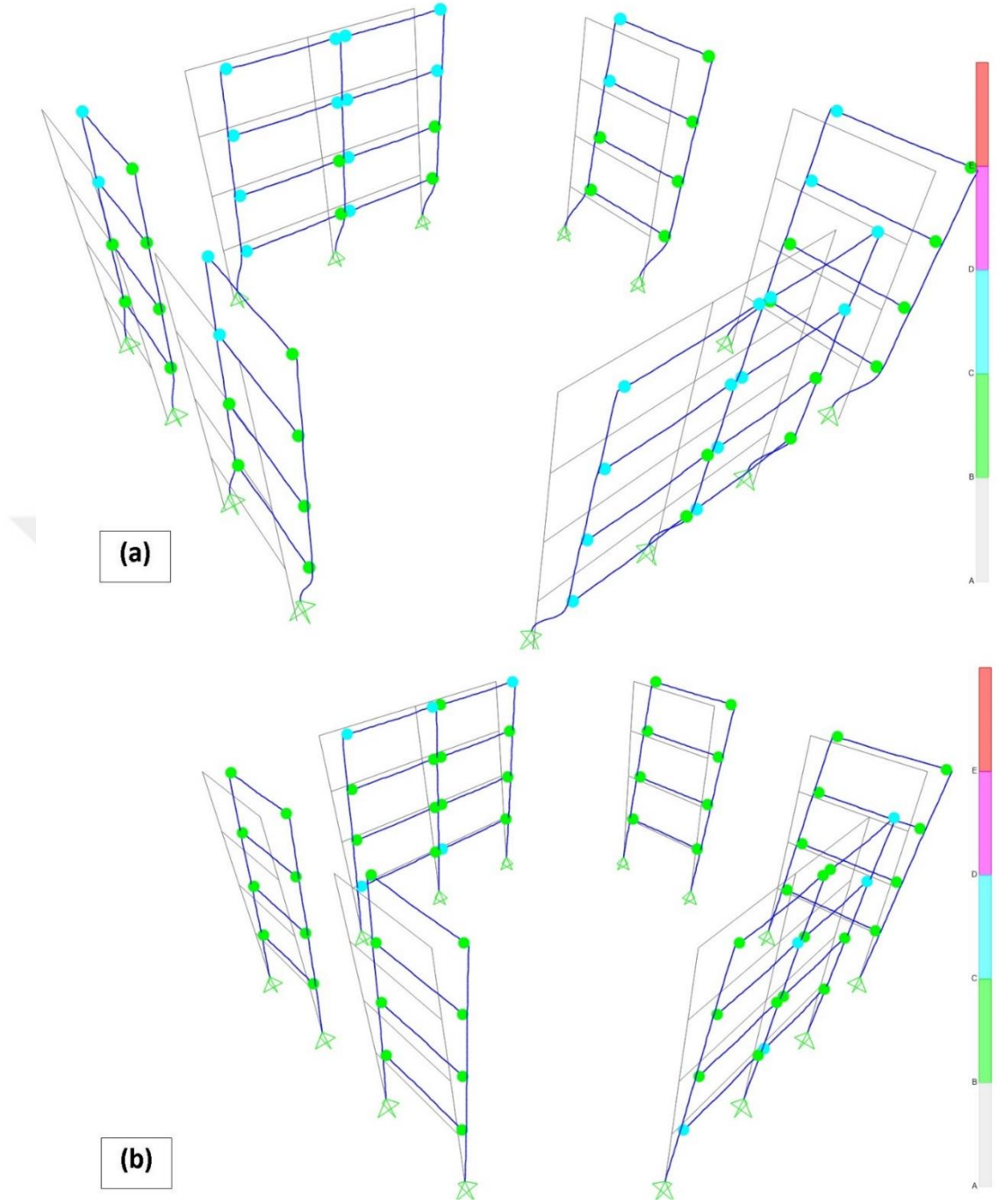
Şekil 3.21. 1995 Kobe deprem kaydının 14850 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



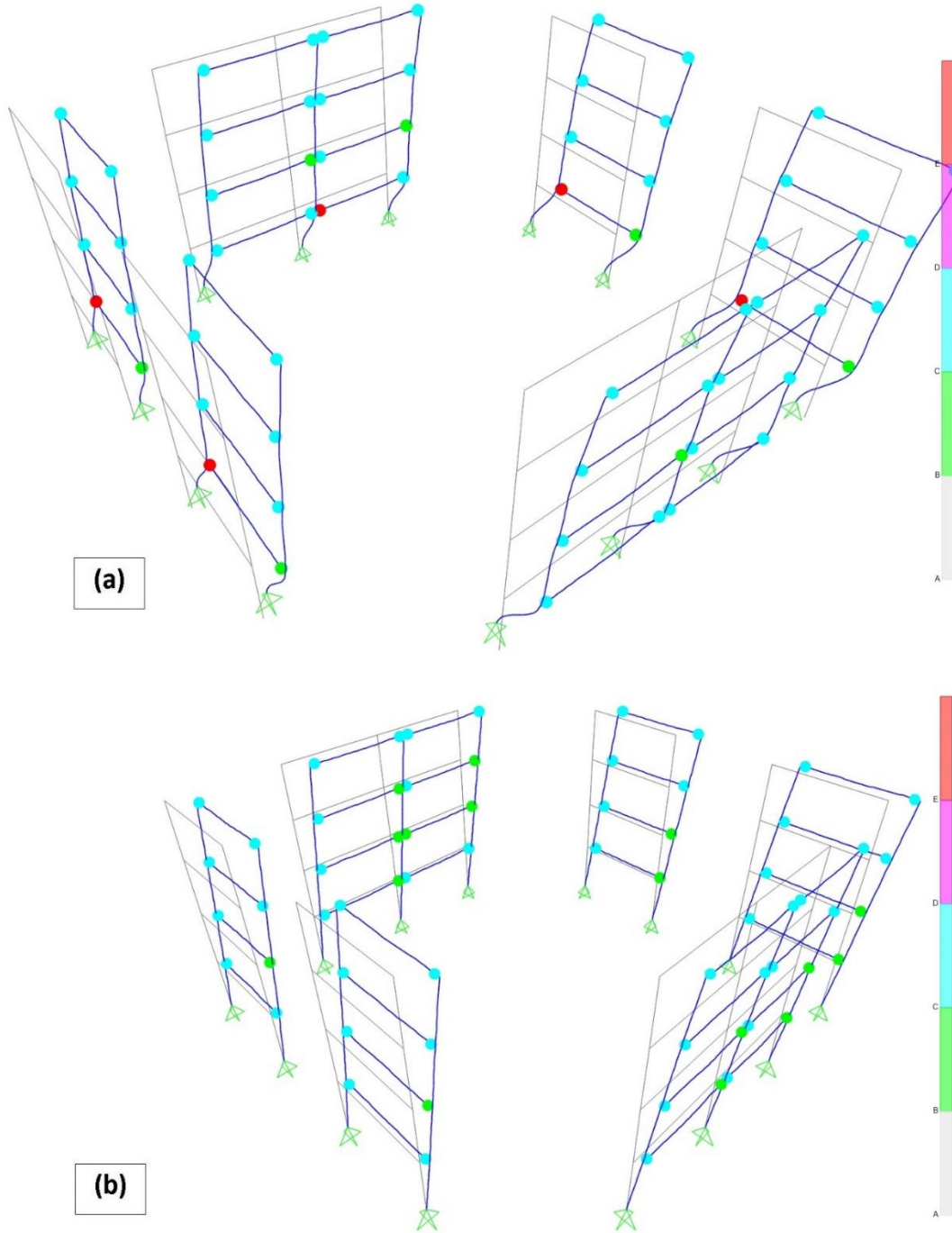
Şekil 3.22. 1995 Kobe deprem kaydının 17325 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



Şekil 3.23. 1995 Kobe deprem kaydının 19800 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



Şekil 3.24. 1995 Kobe deprem kaydının 22275 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu



Şekil 3.25. 1995 Kobe deprem kaydının 32175 yıl tekrarlanma periyodu için (a) HC; (b) SPC birleşimli SMF çerçevelerde birleşimlerin durumu

3.2. Kat Yatay Yer Değiştirmeleri

İki birleşim türüne sahip çerçevelerin davranışlarının karşılaştırılmasında birleşim dönme kapasitesinin aşılması ölçütünün kullanımı daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bilindiği üzere, deprem hareketleri sebebiyle katlarda ortaya çıkan yanal ötelenmeler

de çerçeve deprem davranışlarının karşılaştırılmasında sıklıkla kullanılan bir ölçüttür. Ancak, bu ölçüt çerçevelerin yük taşıma ve şekil değiştirme kapasitelerinin aşılp aşılmadığını tam anlamıyla gösteren bir ölçüt değildir. Mevcut çalışmanın temel amacı, çerçevelerin göçmeye ulaştığı deprem seviyelerinin belirlenmesi olduğu için yanal ötelenme değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmamıştır. Ancak, gelecekte bu konuda yapılacak araştırmalara ışık tutması amacıyla, her iki birleşim türüne sahip model çerçevenin üç deprem kaydı altında x ve y doğrultularında yaptığı ötelenmeler, Ek A'da sunulmuştur. Bu ötelenmeler, kat seviyeleri için verilmiş olup, bu sayede katlardaki yatay ötelenme açılarının da elde edilebilmesine olanak sağlayacak veriler sunulmuştur.

3.3. Bulgular

Her iki birleşim tipi ve üç deprem kaydı için kolon-kiriş birleşim göçmesinin başladığı dönüş periyodu değerleri Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. Çizelgede sunulan değerlerden de görüleceği üzere, SPC birleşim, SMF çerçevelerde birleşim göçmesinin meydana geldiği deprem dönüş periyodu değerini önemli bir biçimde arttırmakta, yani birleşimlerin göçmesini önemli oranda zorlaştırmaktadır. Daha önce de ifade edildiği gibi, bu üç deprem kaydı arasında en zorlayıcı olanı 1990 Manjil depremidir. Manjil depreminin PGA değeri (0.209g), diğer iki depreme göre düşüktür (0,330g ve 0,833g). Ancak, ortalama 20 saniye etki süresine sahip 1995 Kobe ve 1998 Hector Mine depremlerine göre (Çizelge 2.2), 1990 Manjil depreminin uzun sürmesi (53 saniye) birleşimler için daha zorlayıcı olmuştur ve birleşimlerin çerçeve davranışlarına katkılarının daha net ortaya çıkmasını sağlamıştır. 1990 Manjil depremi altında HC birleşimli çerçevelerde birleşim göçmesinin meydana geldiği dönüş periyodu 14850 yıl olarak belirlenmişken (Şekil 3.13), SPC birleşimli çerçevelerde bu periyot 19800 yıla çıkmıştır (Şekil 3.15). 1995 Kobe depreminde HC birleşimlerde göçme periyodu 32175 yıl olarak belirlenmişken (Şekil 3.25), SPC birleşimli çerçevelerde birleşim kapasitesi incelenen en büyük dönüş periyodu altında dahi aşılmamıştır. 1998 Hector Mine depreminde ise 22275 yıl dönüş periyotlu deprem hareketi altında birleşim göçmesine maruz kalan çerçeve (Şekil 3.8), SPC birleşim kullanımı durumunda 27225 yıl dönüş periyodu değerine kadar birleşim göçmesine uğramamıştır.

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	27225 yıl
1990 Manjil	14850 yıl	19800 yıl
1995 Kobe	32175 yıl	-

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bağlantı özelliklerinin ve dönme kapasitesinin, süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeve (SMF) davranışına etkilerinin incelendiği bu çalışma kapsamında, zaman-tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler için, faylanma mekanizması, faya uzaklık, deprem şiddeti ve zemin koşulları olarak yapının yer aldığı varsayılan konuma benzer özellikler taşıyan üç deprem (1990 Manjil, 1995 Kobe, 1998 Hector Mine) seçilmiştir. Bu üç depreme ait toplam 11 adet kayıt, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (ÇŞB, 2018) tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirilmiş deprem kayıtları yapıya uygulanmıştır.

DD-1 deprem düzeyi, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan maksimum deprem seviyesini ifade etmektedir. Bu deprem düzeyinin dönüş periyodu 2475 yıldır. Bu çalışma kapsamında, 2475 yılın tam katlarına (2475, 4950, 9900, 12375, 14850, 17325, 19800, 22275, 24750, 27225, 29700, 32175 yıl) sahip deprem düzeyleri oluşturulmuş ve yapıdaki birleşimlerin hangi deprem seviyesinde göçmeye ulaşacağı tespit edilmiştir. Birleşimlerin dayanım ve süneklikleri deprem dönüş periyodu cinsinden ifade edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde, her iki düzlemsel doğrultuda dörder açıklıklı ve toplam dört katlı bir SMF sistemi kullanılmıştır. Model yapının herhangi bir yapısal düzensizliği bulunmamaktadır. Geleneksel alın levhalı guseli (HC) ve yan levhalı (SPC) olmak üzere iki farklı kolon-kiriş birleşim tipine sahip iki modelin analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak, SPC birleşimin yapı deprem davranışına katkıları belirlenmiştir. SPC ve HC birleşimler, tam kısıtlanmış (FR) kolon-kiriş birleşim sınıfında yer almaktadır.

Birleşimlerin göçmeye ulaştığı dönme açısı değerinin tespitinde iki ölçüt kullanılmıştır. Bu ölçütlerden ilki birleşim dönme sınır değeridir. TBDY (ÇŞB, 2018) ve ANSI/AISC 358-16 (AISC, 2016b) standartlarına uygun olarak, HC ve SPC birleşimlerin dönme açısı sınır değerleri sırasıyla 0,04 ve 0,06 radyan alınmıştır. Birleşimlerin göçme sınırlarını belirleyen ikinci ölçüt ise, kiriş ucu sınır dönme

değeridir. TBDY (ÇŞB, 2018), kiriş ucundaki dönme sınır değerinin, kiriş akma dönme açısı değerinin 9 katı olarak alınması gerektiğini öngörmektedir. Ancak, bu çalışma kapsamında modellenen yapının deprem çerçevelerindeki kirişlerin (IPE 450, IPE 500 ve IPE 600) tümünün sınır uç dönme açısı değerleri, 0,04 ve 0,06 radyan birleşim dönme sınır değerlerinin altında kalmaktadır. Bu sebeple, birleşimlerin göçmeye ulaştığı dönme açısı değerlerini birleşim dönme sınırları kontrol etmiştir.

Yapılan deprem analizleri, özellikle uzun süreli depremlerde SPC birleşimdeki ilave dönme kapasitesinin SMF çerçeve davranışına önemli katkılar sağladığını göstermiştir. 53 saniye süren 1990 Manjil depreminde, SPC birleşim kullanılarak, 14850 yıl olan birleşim göçmesinin gerçekleştiği deprem dönüş periyodu değeri 19800 yıla çıkarılmıştır. Daha şiddetli ve kısa depremlerde, SPC birleşimin SMF sistem davranışına katkıları daha sınırlı kalsa da dönüş periyodu değerlerinde kayda değer artışlar gerçekleşmiştir.

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). SAP2000 Structural Analysis and Design v. 24.1.0, 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.

Dlubal, Structural Analysis and Design Software (2022). Steel joint with haunch for connecting beam to column. <https://www.dlubal.com/en/downloads-and-information/examples-and-tutorials/models-to-download/003152>

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.

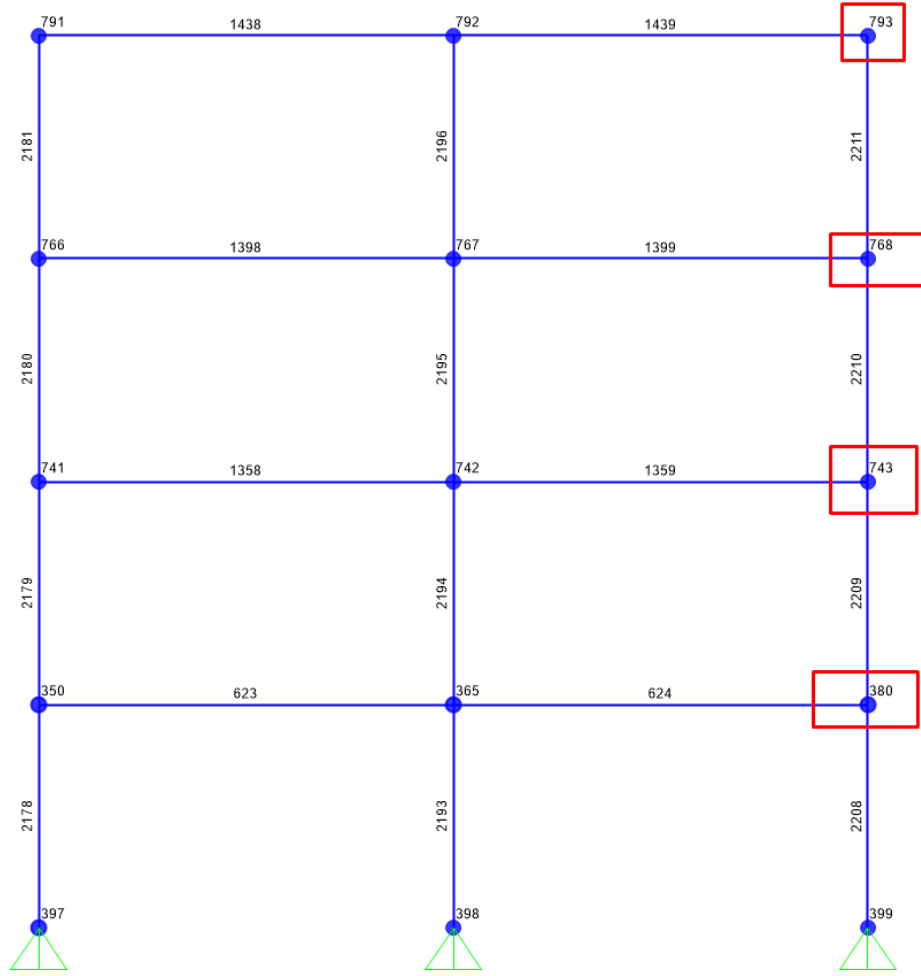
Zhang, W., Jia, S., Xiong, X., Chen, Z., Liu, H., Su, T. ve Du, Q. (2021). Investigation of side plate connections in an S-CFST column frame under a column-loss scenario. *Structures*, 32, 1302-1319. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.03.039>

EKLER

EK-A

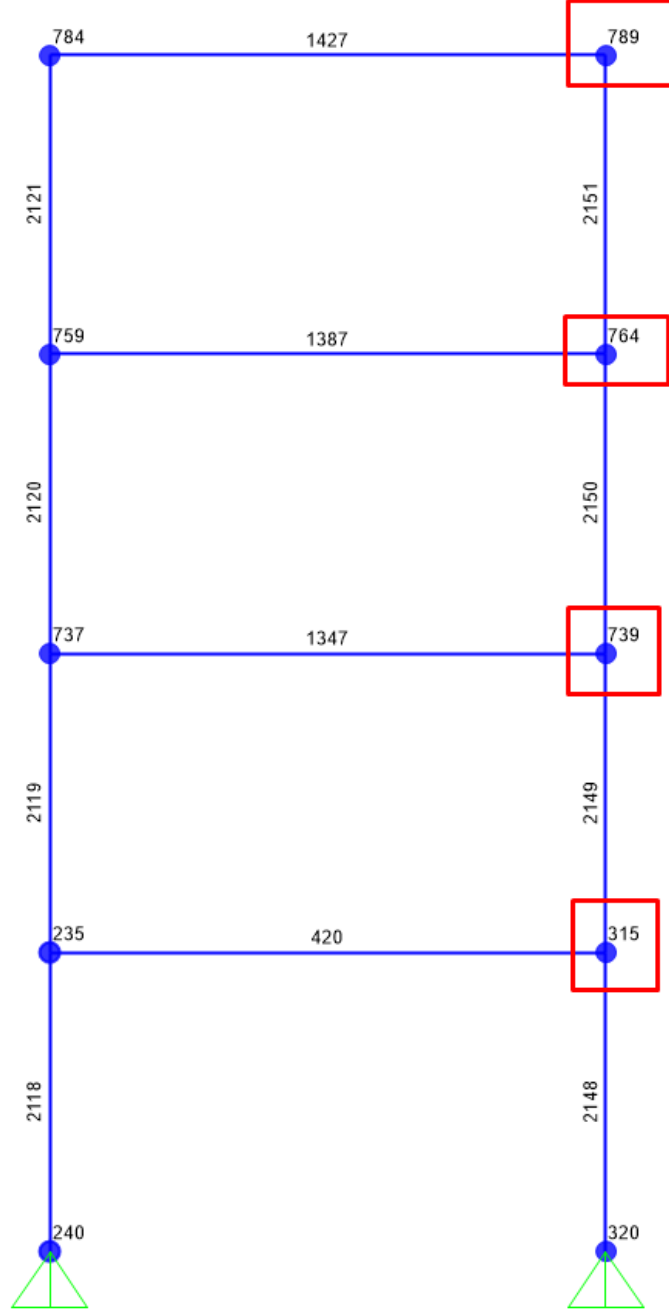
Bu bölümde HC ve SPC birleşimli modellerin kat yanal ötelenmeleri grafikler halinde sunulmuştur. HC birleşimli çerçevelerin x yönündeki deplasmanları için sunulan grafiklerde açık mavi, kırmızı, yeşil ve turuncu ile gösterilen grafikler sırasıyla zemin, 1, 2, ve 3. katlardaki, yani 380, 743, 768 ve 793 numaralı düğümlerdeki (Şekil A.1) yanal deplasmanları ifade etmektedir. SPC birleşimli çerçevelerde aynı kat ötelenmeleri sırasıyla kırmızı, yeşil, pembe ve mavi renkleri ile gösterilmektedir. HC birleşimli çerçevelerin y yönündeki deplasmanları için sunulan grafiklerde açık yeşil, turuncu, mavi ve pembe ile gösterilen grafikler sırasıyla zemin, 1, 2, ve 3. katlardaki, yani 315, 739, 764 ve 789 numaralı düğümlerdeki (Şekil A.2) yanal deplasmanları ifade etmektedir. SPC birleşimli çerçevelerde aynı deplasmanlar, sırasıyla açık mavi, kırmızı, yeşil, turuncu renkleri ile gösterilmiştir. Bu bölümde sadece 2475, 4950 ve 9900 yıl ile HC birleşim göçmesinin gerçekleştiği dönüş periyodu değerleri için grafikler sunulmuştur. 1998 Hector Mine depremine ait x ve y doğrultularındaki deplasmanların grafikleri sırasıyla Şekil A.3 ve A.4; 1995 Kobe depremine ait x ve y doğrultularındaki deplasmanların grafikleri sırasıyla Şekil A.5 ve A.6; 1990 Manjil depremine ait x ve y doğrultularındaki deplasmanların grafikleri sırasıyla Şekil A.7 ve A.8’de gösterilmiştir. Bu grafiklerden görüleceği üzere, HC ve SPC birleşimli SMF çerçevelerin yanal deplasmanları arasındaki farklar, birleşimlerdeki zorlanmalar kadar kayda değer değildir. Bu nedenle, SPC birleşimlerin SMF çerçeve davranışına katkısının ifade edilmesinde birleşim dönme açısı ve zorlanma ölçütünün kullanımının ne kadar doğru ve yerinde olduğu açıkça görülmektedir.

İŞARETLİ DÜĞÜMLERDEN PLASTİK MAFSAL YER DEĞİŞTİRME OKUMALARI YAPILMIŞTIR.

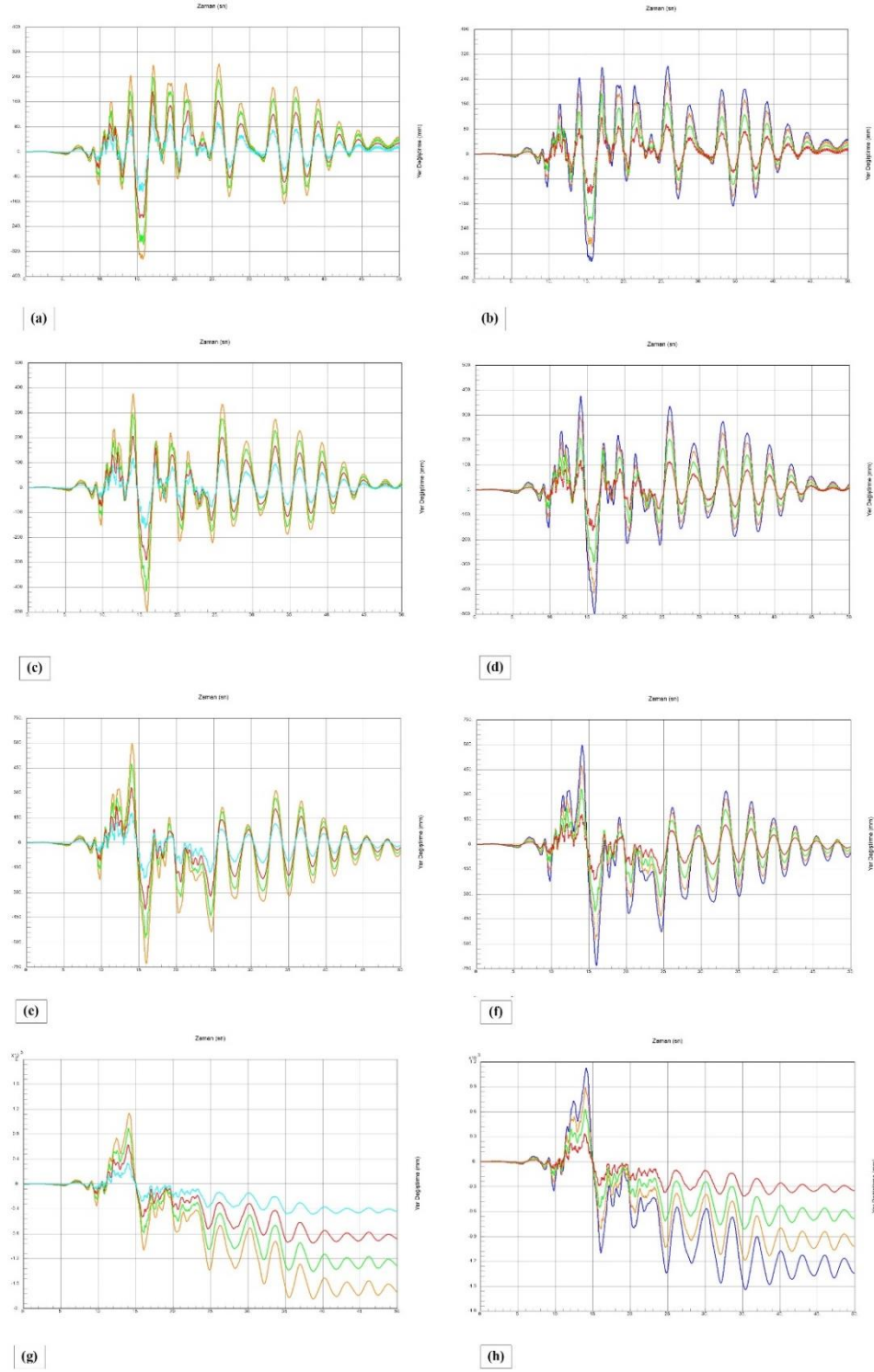


Şekil A.1. x yönünde incelenen birleşimler

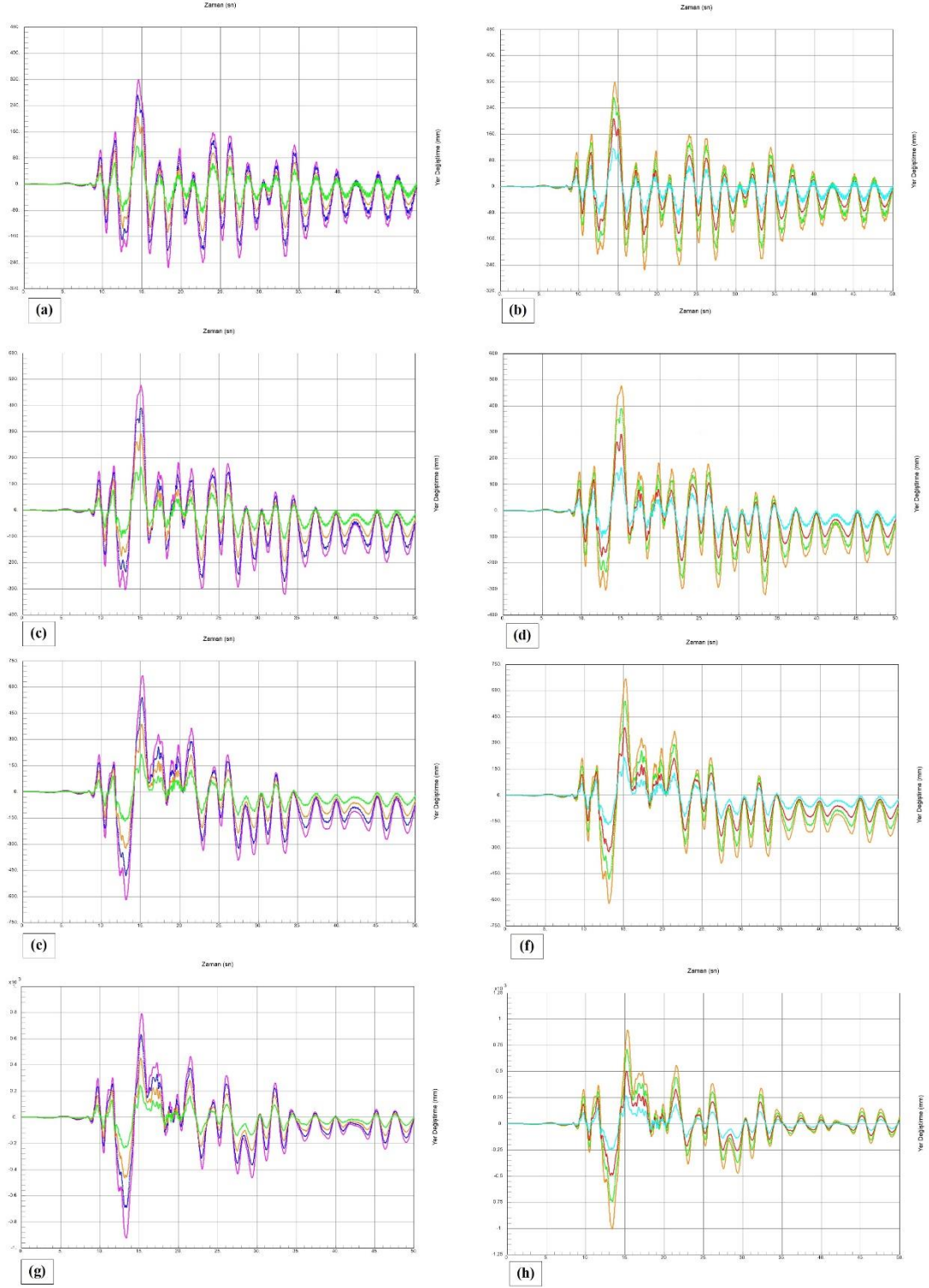
İŞARETLİ DÜĞÜM NOKTALARINDA PLASTİK MAFSAL
YER DEĞİŞTİRME DATALARI OKUNMUŞTUR.



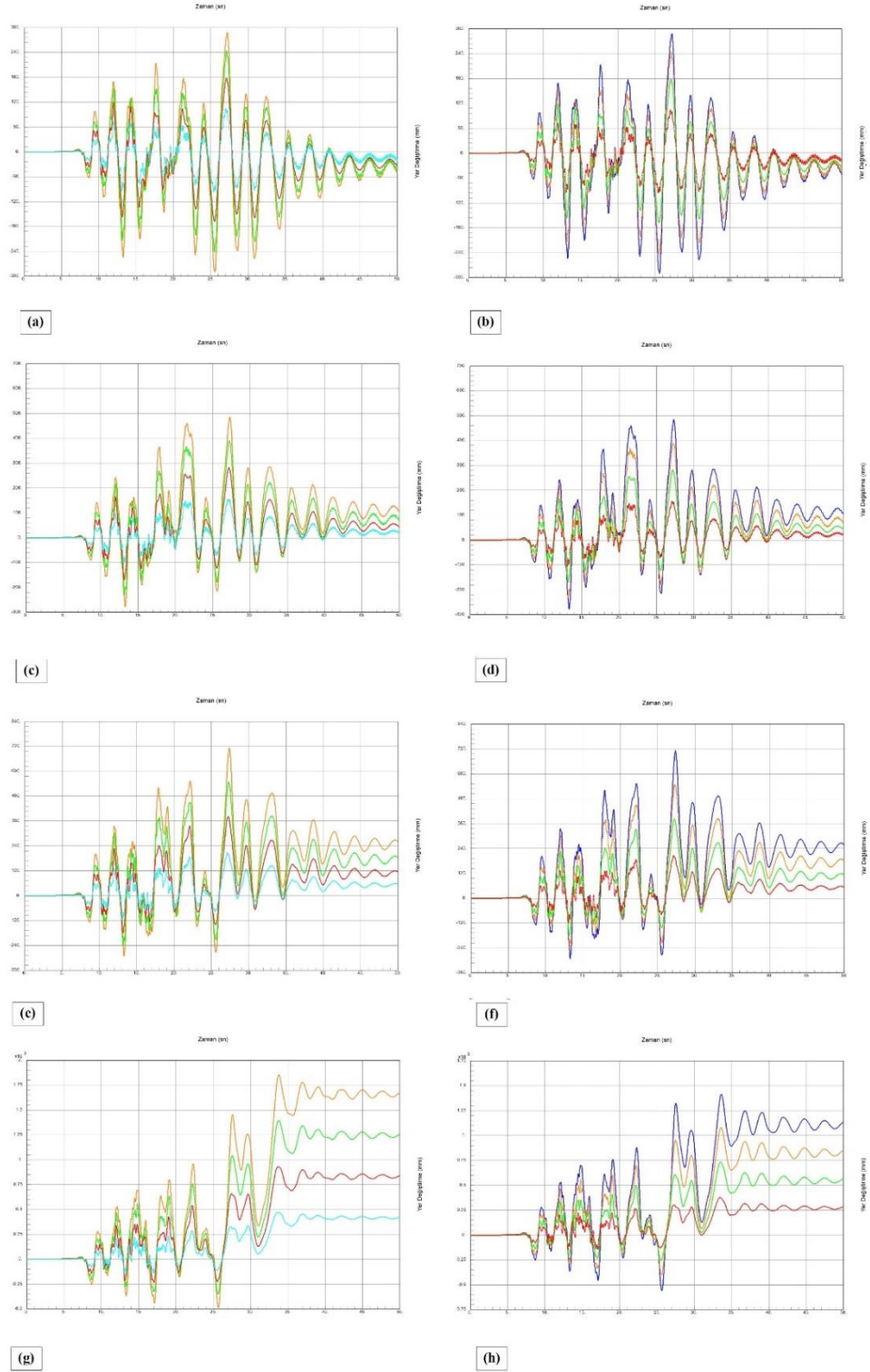
Şekil A.2. y yönünde incelenen birleşimler



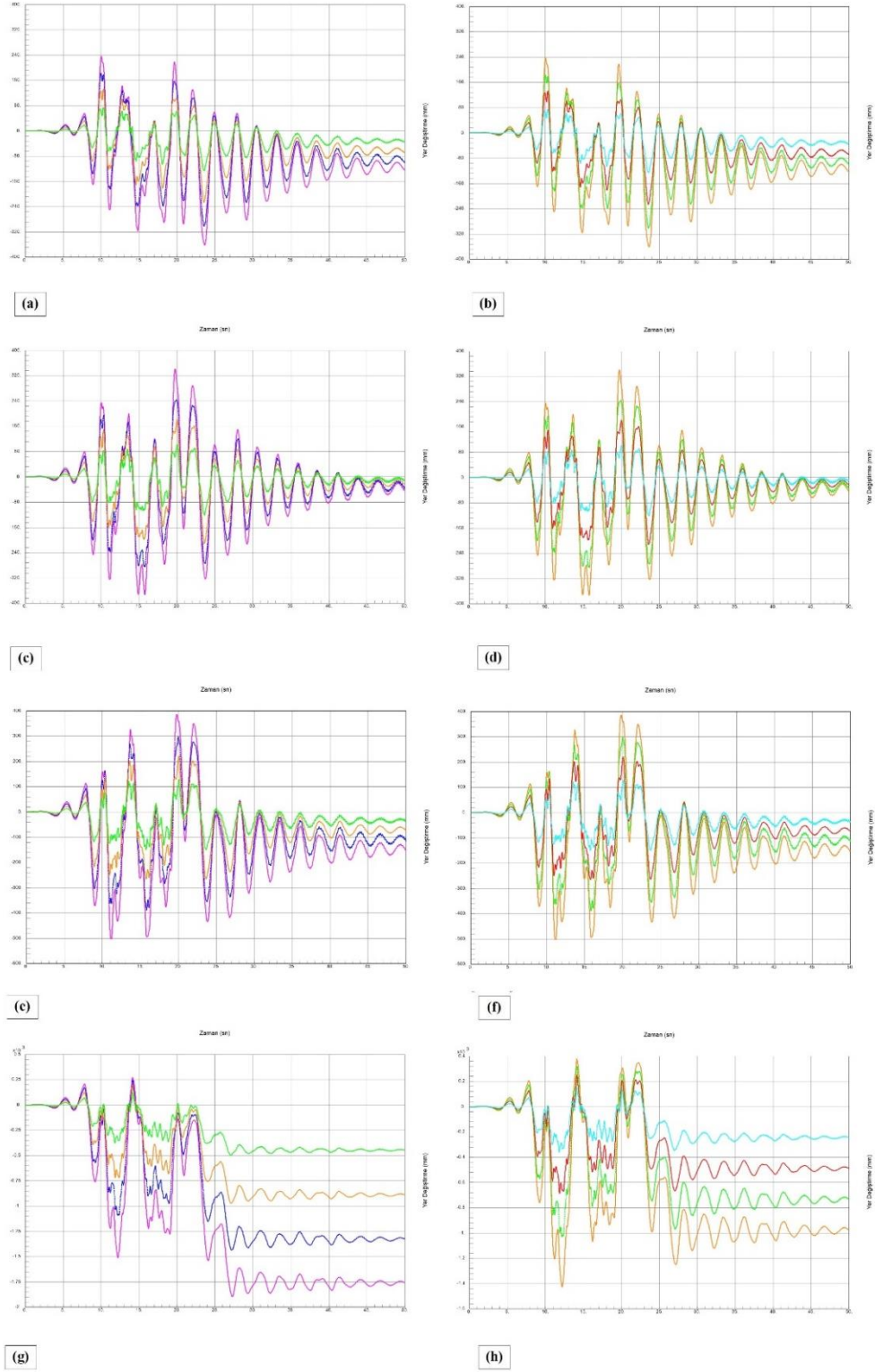
Şekil A.3. 1998 Hector Mine depreminin x doğrultusundaki kaydı için (a) 2475 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (b) 2475 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (c) 4950 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (d) 4950 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (e) 9900 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (f) 9900 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (g) 22250 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 22250 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri



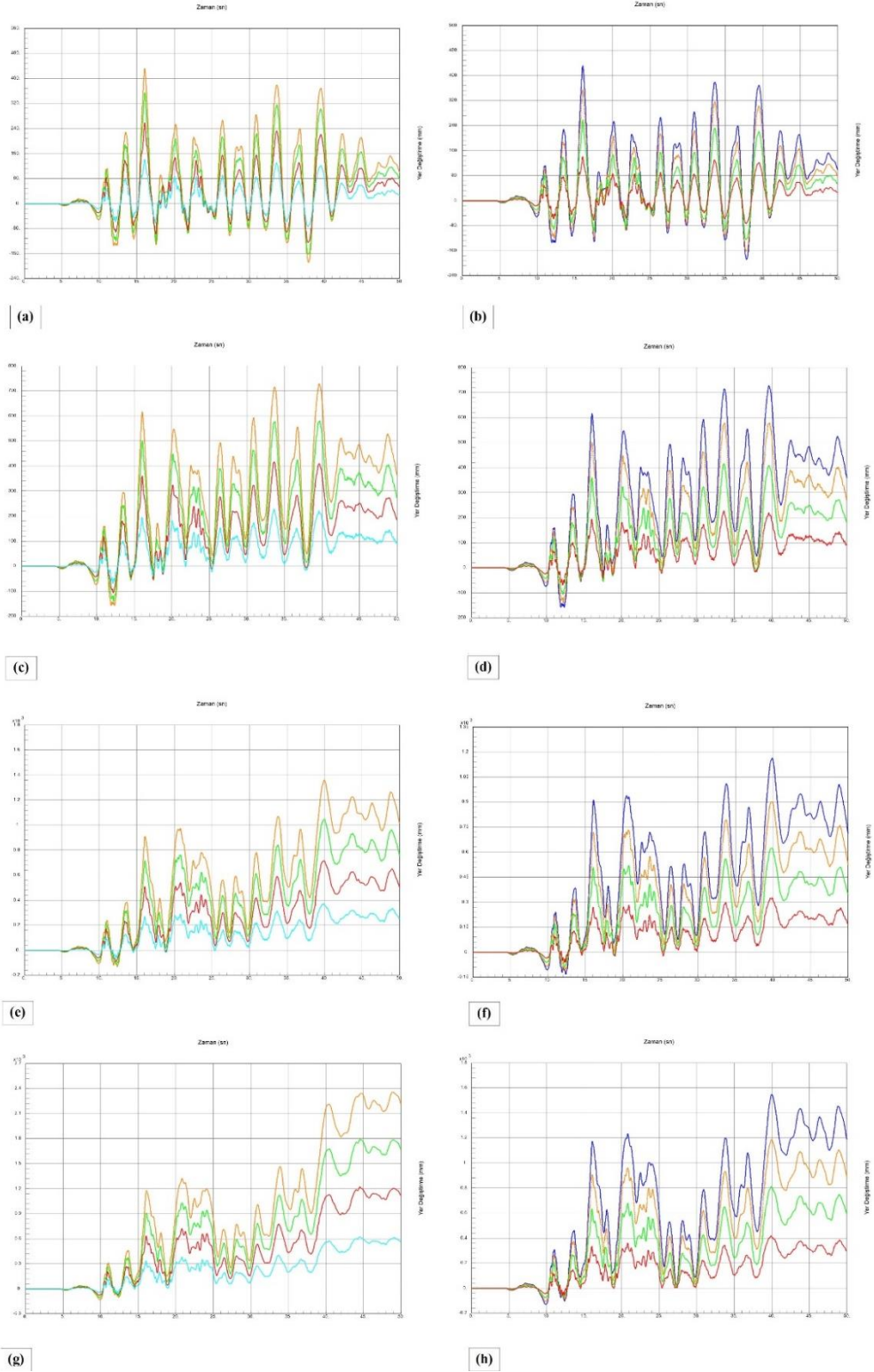
Şekil A.4. 1998 Hector Mine depreminin y doğrultusundaki kaydı için (a) 2475 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (b) 2475 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (c) 4950 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (d) 4950 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (e) 9900 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (f) 9900 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (g) 22250 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 22250 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri



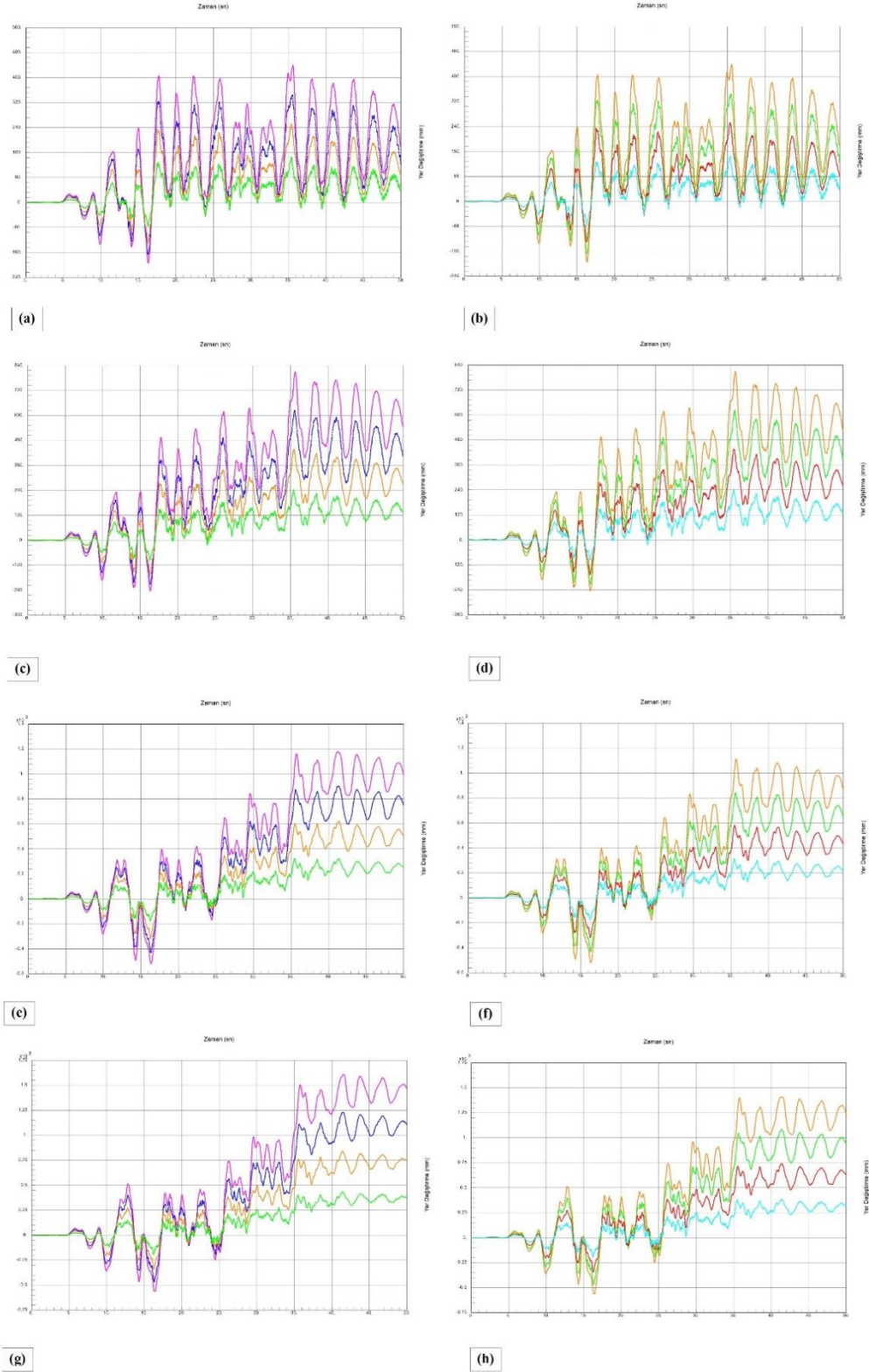
Şekil A.5. 1995 Kobe depreminin x doğrultusundaki kaydı için (a) 2475 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (b) 2475 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (c) 4950 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (d) 4950 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (e) 9900 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (f) 9900 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin; (g) 32175 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 32175 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri



Şekil A.6. 1995 Kobe depreminin y 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) 32175 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 32175 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri



Şekil A.7. 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) 14850 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 14850 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri



Şekil A.8. 1990 Manjil depreminin y 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) 14850 yıl dönüş periyodu için HC birleşimli çerçevenin; (h) 14850 yıl dönüş periyodu için SPC birleşimli çerçevenin kat yanal ötelenmeleri.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan YÜKSEL
Doğum Tarihi : 1984
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2010
Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi, 2023

Çalıştığı Kurumlar

Sayhan Mühendislik

Araştırma Alanları

Çelik Yapılar
Performansa Dayalı Tasarım
Deprem Mühendisliği