

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KABUK ELEMANLAR KULLANILARAK MODELLENEN ÇELİK ÇERÇEVE  
SİSTEMLERİN DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Erman ŞİMŞEK**

**ARALIK 2010  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KABUK ELEMANLAR KULLANILARAK MODELLENEN ÇELİK ÇERÇEVE  
SİSTEMLERİN DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**İnş. Müh. Erman ŞİMŞEK**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“İnşaat Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 08.11.2010  
Tezin Savunma Tarihi : 20.12.2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKKÖSE  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Şevket ATEŞ  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2010**

## ÖNSÖZ

“Kabuk Elemanlar Kullanılarak Modellenen Çelik Çerçeve Sistemlerin Dinamik Davranışının İncelenmesi” isimli bu çalışma; Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmayı bana öneren, çalışmam boyunca bilgi ve becerilerini benimle paylaşan, her türlü yardım ve desteğini benden esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKKÖSE’ye sonsuz teşekkürlerimi sunmaktan büyük gurur ve mutluluk duyarım.

Tez çalışmalarım sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Süleyman ADANUR’a, Yrd. Doç. Dr. Şevket ATEŞ’e, Yrd. Doç. Dr. Barış SEVİM’e ve Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK’a teşekkür ederim. Ayrıca, öğrenim hayatım süresince bana bilgi ve emeği geçen, tüm hocalarımı saygıyla anarım.

Çalışmalarım sırasında bana büyük destek veren ve yalnız bırakmayan çok sevdiğim arkadaşlarım Yunus Emre ARIK’a ve Sinan SÜTÇÜ’ye teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen babam Şükrü ŞİMŞEK’e, annem Nilgün ŞİMŞEK’a, kardeşim Nilbahar ŞİMŞEK’e müteşekkir olduğumu belirtmek isterim. Ayrıca bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Erman ŞİMŞEK

Trabzon 2010

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

ÖNSÖZ .....	II
ÖZET .....	VI
SUMMARY .....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VIII
TABLO LİSTESİ .....	XII
SEMBOL LİSTESİ .....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması .....	2
1.2.1. Merkezi Çaprazlı Çerçeve (MÇÇ) Sistemler ile İlgili Çalışmalar .....	2
1.2.2. Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve (DÇÇ) Sistemler İle İlgili Çalışmalar.....	8
1.3. Tezin İçeriği .....	11
1.4. Çelik Yapılar Hakkında Genel Bilgiler .....	12
1.4.1. Çelik Yapıların Tarihi Gelişimi.....	12
1.4.2. Çelik Malzemenin Özellikleri .....	12
1.4.3. Çelik Malzemesinin Avantaj ve Dezavantajları.....	14
1.4.4. Hadde Ürünleri .....	15
1.4.5. Çelik Yapılarda Birleşim Araçları.....	17
1.4.5.1. Perçinler.....	17
1.4.5.2. Kaynaklı Birleşimler .....	18
1.4.5.3. Bulonlu Birleşimler .....	19
1.5. Depreme Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı .....	20
1.5.1. Moment Aktaran Çerçeve (MAÇ) Sistemler.....	20
1.5.2. Merkezi Çaprazlı Çerçeve (MÇÇ) Sistemler .....	22
1.5.3. Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve (DÇÇ) Sistemler .....	23
1.6. Zaman Tanım Alanında Lineer Dinamik Hareket Denklemleri.....	25
1.6.1. Doğal Frekans ve Modların Hesabı.....	25
1.6.2. Mod Süperpozisyon Yöntemi.....	29
1.7. SAP2000’de Zaman Tanım Alanında Lineer Olmayan Dinamik Analiz.....	34



1.8.	SAP2000 Yapısal Analiz Programı ile Çerçeve Analizi .....	35
1.8.1.	SAP2000’de Kabuk Eleman (Shell Element) .....	35
1.8.2.	SAP2000’de Lineer Olmayan Bağlantı Elemanı (Nlink Element) .....	36
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	38
2.1.	Giriş .....	38
2.2.	Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çerçeve Sistemlerde Kolon-Kiriş Birleşim Detayları .....	38
2.2.1.	Bağlantı Kiriş Uzunluğu (e) .....	40
2.2.2.	Kirişte Plastik Mafsallın Yeri .....	41
2.2.3.	Bulon Gövde Enkesit Alanı .....	41
2.2.4.	Alın Levhası Kalınlık Tayini .....	43
2.2.5.	Minimum Kolon Başlık Kalınlığı Tayini .....	43
2.3.	Çalışmada Dikkate Alınan Sistemlerin Sonlu Eleman Modelleri .....	45
2.3.1.	Moment Aktaran Çerçeve (MAÇ) Sistemlerin Sonlu Eleman Modelleri .....	47
2.3.2.	Merkezi Çaprazlı Çerçeve (MÇÇ) Sistemlerin Sonlu Eleman Modelleri .....	47
2.3.3.	Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve (DÇÇ) Sistemlerin Sonlu Eleman Modelleri .....	48
2.4.	SAP2000’de Birleşim Bölgelerinin Modellenmesi .....	63
2.5.	Yer Hareketi .....	66
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER .....	67
3.1.	Giriş .....	67
3.2.	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	67
3.2.1.	Yer Değiştirmeler .....	67
3.2.2.	Kayma Gerilmeleri .....	100
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	118
5.	KAYNAKLAR .....	121
ÖZGEÇMİŞ		

## ÖZET

Bu tez çalışmasında, bir boyutlu çubuk elemanlardan teşkil edilebilecek moment aktaran çerçeve ile merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler, kabuk elemanlar (shell elements) ile modellenerek zaman tanım alanında analiz edilmiştir. Çalışmada, çerçevelerin kolon-kiriş birleşimleri doğrusal olmayan bağlantı (non-linear link) elemanlarıyla modellenmiştir. Bu amaçla moment aktaran çerçeve ile çeşitli merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler SAP2000 programı ile modellenmiş ve analiz edilmiştir. Çalışmada, moment aktaran çerçeve ile merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin dinamik davranışı tek açıklıklı bir, iki ve üç katlı çerçeve sistem dikkate alınarak incelenmiştir. Bu çerçeve sistemlerde açıklık mesafesi 7.60m, kat yükseklikleri 4.0m alınmış ve 3 adet moment aktaran çerçeve, 3 adet diyagonal merkezi çaprazlı çerçeve, 3 adet Ters V merkezi çaprazlı çerçeve, 15 adet diyagonal dışmerkez çaprazlı çerçeve ve 15 adet Ters V diyagonal dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemin sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Üst üste gelen kabuk elemanlar arasında gerilme aktarımını sağlayabilmek amacıyla doğrusal olmayan boşluk elemanlar (Gap Elements) kullanılmıştır. SAP2000 programında bulonlar çubuk eleman olarak tanımlanmıştır. Bu elemanların sadece çekme aksenal kuvvetini taşıması için SAP2000 programında gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler ile ilgili literatür araştırması, çelik yapılar hakkında genel bilgiler, depreme dayanıklı çelik yapı tasarımı ve zaman tanım alanında lineer ve lineer olmayan dinamik hareket denklemleri verilmektedir. İkinci bölümde, süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeve sistemlerde kolon-kiriş birleşim detayları, SAP2000’de birleşim bölgelerinin modellenmesi ve çalışmada dikkate alınan sistemlerin sonlu eleman modelleri verilmiştir. Üçüncü bölüm, gerçekleştirilen analizlerden elde edilen bulgular ve bunların irdelenmesinden oluşmaktadır. Dördüncü bölümde ise, bu tez çalışmasından çıkarılan sonuçlar ve öneriler verilmektedir. Beşinci bölüm, tezde yararlanılan kaynaklara ayrılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Moment Aktaran Çerçeve, Merkezi Çaprazlı Çerçeve, Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve, Kabuk Eleman, Boşluk Eleman, Lineer Olmayan Bağlantı Elemanı, Sonlu Eleman Yöntemi

## SUMMARY

### **Investigation Of Dynamic Behavior Of Steel Frame Systems Modeled By Using Shell Elements**

In this study, moment resisting frames, concentrically and eccentrically braced steel frames are modeled by using shell elements and analysed using time history analyses which can be constituted of one dimensional elements. In the study, the column-beam connections of the frames are modeled by using non linear link elements. For this purpose, moment resisting frames and different types of concentrically and eccentrically braced steel frames are modeled and analysed with SAP2000 program. In the study the dynamic behavior of moment resisting frame, concentrically and eccentrically braced steel frames are investigated. One, two and three stories with one span are considered. The span length and story heights are taken 7.60m and 4.0m respectively and the finite element of 3 moment resisting frames, 3 concentrically diagonal braced frames, 3 concentrically chevron braced frames, 15 eccentrically diagonal braced frames and 15 eccentrically chevron braced frames are formed.

Nonlinear gap elements are used with the aim of transferring the stresses between the shell elements which are at the same plane. In SAP2000 program the bolts are described as one dimensional elements. The necessary adjustments are performed in SAP2000 program to ensure these elements to bear only axial tension force.

This thesis consists of five chapters. In the first chapter, a literature survey associated with concentrically and eccentrically braced steel frames, general information about steel structures, design of earthquake resisting structures and linear and nonlinear equation of dynamic motion in time history case are given. In the second chapter, the details of column-beam connection in high ductility steel frame systems, modeling of connection areas in SAP2000 and the finite element models considered in the study are given. The third chapter consists of the findings and the examination of these findings which are obtained from the analyses. The results and suggestions obtained from this thesis are given in the fourth chapter. Finally, the references are presented in the fifth chapter.

**Key words:** Moment Resisting Frame, Concentrically Braced Frame, Eccentrically Braced Frame, Shell Element, Gap Element, Nonlinear Link Element, Finite Element Method

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çeliğin gerilme-şekil değiştirme diyagramı .....	13
Şekil 1.2. Çelik yapılarda sıklıkla kullanılan hadde ürünleri.....	17
Şekil 1.3. Perçinler.....	18
Şekil 1.4. Bulonlu birleşimler .....	19
Şekil 1.5. MAÇ sistemlerin kolon-kiriş birleşimlerinde panel bölgesi.....	21
Şekil 1.6. MAÇ sistemlerde enerji tüketen durumlar .....	21
Şekil 1.7. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemlere örnekler: a) Diyagonal Merkezi Çaprazlı Sistem b) X-Merkezi Çaprazlı Sistem c) V-Merkezi Çaprazlı Sistem d) Ters V-Merkezi Çaprazlı Sistem .....	22
Şekil 1.8. Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere örnekler: a) Diyagonal Dışmerkez Çaprazlı Sistemler b) Diyagonal Dışmerkez Çaprazlı Sistemler c) V-Dışmerkez Çaprazlı Sistem d) Ters V-Dışmerkez Çaprazlı Sistem.....	23
Şekil 1.9. DÇÇ sistemlerde bağlantı kirişi.....	24
Şekil 1.10. Mod süperpozisyon yöntemi.....	30
Şekil 1.11. Mod süperpozisyon yönteminde modal koordinatlar ve çözüm.....	33
Şekil 1.12. Dört düğüm noktalı kabuk eleman .....	36
Şekil 1.13. Kabuk elemanda gerilmeler.....	36
Şekil 2.1. Kolon-kiriş birleşiminde, kolon başlık yüzeyindeki moment (Mf) ve kolon ağırlık eksenini üzerindeki moment (Mc).....	39
Şekil 2.2. Kolon-kiriş birleşiminde plastik mafsallın yeri .....	41
Şekil 2.3. Kolon-kiriş birleşim geometrisi ve ilgili parametreler .....	42
Şekil 2.4. Minimum kolon başlık kalınlığı için gerekli c ve k1 değerleri .....	44
Şekil 2.5. Minimum kolon başlık kalınlığı hesabında için kullanılan k değeri .....	45
Şekil 2.6. Kolon, kiriş ve çapraz için kullanılan profil en kesiti.....	46
Şekil 2.7. MAÇ sistemlere ait bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri .....	50

Şekil 2.8. D-MÇÇ sistemlere ait bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri .....	51
Şekil 2.9 Ters V-MÇÇ sistemlere ait bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri .....	52
Şekil 2.10. D-DÇÇ sistemlerin e1 için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri.....	53
Şekil 2.11. D-DÇÇ sistemlerin e2 için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri.....	54
Şekil 2.12. D-DÇÇ sistemlerin e3 için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri.....	55
Şekil 2.13. D-DÇÇ sistemlerin e4 için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri.....	56
Şekil 2.14. D-DÇÇ sistemlerin e5 için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri.....	57
Şekil 2.15. Ters V-DÇÇ sistemlerin e1 için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri	58
Şekil 2.16. Ters V-DÇÇ sistemlerin e2 için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri	59
Şekil 2.17 Ters V-DÇÇ sistemlerin e3 için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri	60
Şekil 2.18. Ters V-DÇÇ sistemlerin e4 için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri	61
Şekil 2.19. Ters V-DÇÇ sistemlerin e5 için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri	62
Şekil 2.20. SAP2000’de modellenmiş örnek bir çerçeve modeli .....	64
Şekil 2.21 Kolon-kiriş birleşim bölgesi .....	64
Şekil 2.22 Çapraz-kiriş birleşim bölgesi.....	65
Şekil 2.23. Çapraz-kolon birleşim bölgesi.....	65
Şekil 2.24. SAP2000’de boşluk (Gap) eleman davranışı.....	66
Şekil 2.25 Erzincan depreminin ivme-zaman ilişkisi .....	66
Şekil 3.1. MAÇ-1, D-MÇÇ-1 ve Ters V-MÇÇ-1 modellerinin deformasyon yapmış halleri .....	70
Şekil 3.2. MAÇ-2, D-MÇÇ-2 ve Ters V-MÇÇ-2 modellerinin deformasyon yapmış halleri .....	71
Şekil 3.3. MAÇ-3, D-MÇÇ-3 ve Ters V-MÇÇ-3 modellerinin deformasyon yapmış halleri .....	72
Şekil 3.4. D-DÇÇ-1-e1, D-DÇÇ-1-e2, D-DÇÇ-1-e3, D-DÇÇ-1-e4 ve D-DÇÇ-1-e5 modellerinin deformasyon yapmış halleri .....	73

Şekil 3.5.	D-DÇÇ-2-e1, D-DÇÇ-2-e2, D-DÇÇ-2-e3, D-DÇÇ-2-e4 ve D-DÇÇ-2-e5 modellerinin deformasyon yapmış halleri. ....	75
Şekil 3.6.	D-DÇÇ-3-e1, D-DÇÇ-3-e2, D-DÇÇ-3-e3, D-DÇÇ-3-e4 ve D-DÇÇ-3-e5 modellerinin deformasyon yapmış halleri.. ....	77
Şekil 3.7.	Ters V-DÇÇ-1-e1, Ters V-DÇÇ-1-e2, Ters V-DÇÇ-1-e3, Ters V-DÇÇ-1-e4 ve Ters V-DÇÇ-1-e5 modellerinin deformasyon yapmış halleri. ....	79
Şekil 3.8.	Ters V-DÇÇ-2-e1, Ters V-DÇÇ-2-e2, Ters V-DÇÇ-2-e3, Ters V-DÇÇ-2-e4 ve Ters V-DÇÇ-2-e5 modellerinin deformasyon yapmış halleri .....	81
Şekil 3.9.	Ters V-DÇÇ-3-e1, Ters V-DÇÇ-3-e2, Ters V-DÇÇ-3-e3, Ters V-DÇÇ-3-e4 ve Ters V-DÇÇ-3-e5 modellerinin deformasyon yapmış halleri .....	83
Şekil 3.10.	MAÇ-1, D-MÇÇ-1 ve Ters V-MÇÇ-1 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi .....	85
Şekil 3.11.	MAÇ-2, D-MÇÇ-2 ve Ters V-MÇÇ-2 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi .....	86
Şekil 3.12.	MAÇ-3, D-MÇÇ-3 ve Ters V-MÇÇ-3 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi .....	87
Şekil 3.13.	D-DÇÇ-1-e1, D-DÇÇ-1-e2, D-DÇÇ-1-e3, D-DÇÇ-1-e4 ve D-DÇÇ-1-e5 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi ..	88
Şekil 3.14.	D-DÇÇ-2-e1, D-DÇÇ-2-e2, D-DÇÇ-2-e3, D-DÇÇ-2-e4 ve D-DÇÇ-2-e5 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi ..	90
Şekil3.15.	D-DÇÇ-3-e1, D-DÇÇ-3-e2, D-DÇÇ-3-e3, D-DÇÇ-3-e4 ve D-DÇÇ-3-e5 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi ..	92
Şekil 3.16.	Ters V-DÇÇ-1-e1, Ters V-DÇÇ-1-e2, Ters V-DÇÇ-1-e3, Ters V-DÇÇ-1-e4 ve Ters V-DÇÇ-1-e5 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi.....	94
Şekil 3.17.	Ters V-DÇÇ-2-e1, Ters V-DÇÇ-2-e2, Ters V-DÇÇ-2-e3, Ters V-DÇÇ-2-e4 ve Ters V-DÇÇ-2-e5 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi.....	96
Şekil 3.18.	Ters V-DÇÇ-3-e1, Ters V-DÇÇ-3-e2, Ters V-DÇÇ-3-e3, Ters V-DÇÇ-3-e4 ve Ters V-DÇÇ-3-e5 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi.....	98
Şekil 3.19.	MAÇ-1, D-MÇÇ-1 ve Ters V-MÇÇ-1 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa) .....	103

Şekil 3.20. MAÇ-2, D-MÇÇ-2 ve Ters V-MÇÇ-2 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa) .....	104
Şekil 3.21. MAÇ-3, D-MÇÇ-3 ve Ters V-MÇÇ-3 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa) .....	105
Şekil 3.22. D-DÇÇ-1-e1, D-DÇÇ-1-e2, D-DÇÇ-1-e3, D-DÇÇ-1-e4 ve D-DÇÇ-1-e5 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa).....	106
Şekil 3.23. D-DÇÇ-2-e1, D-DÇÇ-2-e2, D-DÇÇ-2-e3, D-DÇÇ-2-e4 ve D-DÇÇ-2-e5 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa).....	108
Şekil3.24. D-DÇÇ-3-e1, D-DÇÇ-3-e2, D-DÇÇ-3-e3, D-DÇÇ-3-e4 ve D-DÇÇ-3-e5 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa).....	110
Şekil 3.25. Ters V-DÇÇ-1-e1, Ters V-DÇÇ-1-e2, Ters V-DÇÇ-1-e3, Ters V-DÇÇ-1-e4 ve Ters V-DÇÇ-1-e5 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa).....	112
Şekil 3.26. Ters V-DÇÇ-2-e1, Ters V-DÇÇ-2-e2, Ters V-DÇÇ-2-e3, Ters V-DÇÇ-2-e4 ve Ters V-DÇÇ-2-e5 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa).....	114
Şekil 3.27. Ters V-DÇÇ-3-e1, Ters V-DÇÇ-3-e2, Ters V-DÇÇ-3-e3, Ters V-DÇÇ-3-e4 ve Ters V-DÇÇ-3-e5 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa).....	116

## TABLULAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 2.1. Modellerde kullanılan elemanlara ait boyutlar (mm).....	47
Tablo 2.2. MAÇ sistemlere ait sonlu eleman modellerinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayıları.....	47
Tablo 2.3. D-MÇÇ ve Ters V-MÇÇ sistemlere ait sonlu eleman modellerinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayıları .....	48
Tablo 2.4. D-DÇÇ sistemlere ait sonlu eleman modellerinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayıları.....	48
Tablo 2.5. Ters V-DÇÇ sistemlere ait sonlu eleman modellerinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayıları.....	49



## SEMBOL LİSTESİ

$l_0$	: Prizmatik deney çubuğu uzunluğu
$F_0$	: Prizmatik deney çubuğu kesiti
$S$	: Prizmatik deney çubuğuna uygulanan kuvvet
$\sigma_p$	: Orantılı sınır gerilmesi
$\sigma_E$	: Elastik sınır gerilmesi
$\sigma_A$	: Akma sınır gerilmesi
$\sigma_B$	: Kopma sınır gerilmesi
$\epsilon_{pl}$	: Plastik şekil değiştirme
$h$	: Profil yüksekliği
$b$	: Başlık genişliği
$t_w$	: Gövde kalınlığı
$t_f$	: Başlık kalınlığı
$d$	: Perçin gövde çapı
$l$	: Ham perçin gövde boyu
$s$	: Birleşim toplam kalınlığı
$e$	: Bağlantı giriş uzunluğu
$[M]$	: Sistem kütle matrisi
$[C]$	: Sistem sönüm matrisi
$[K]$	: Sistemin rijitlik matrisi
$\{U\}$	: Sistemin yer değiştirme vektörü
$\{\dot{U}\}$	: Sistemin hız vektörü
$\{\ddot{U}\}$	: Sistemin ivme vektörü
$\{P\}$	: Dış yük vektörü
$\alpha$	: Faz açısı
$\omega_n$	: Doğal açısal frekans
$\{\phi\}$	: Hareketin genlik vektörü
$\omega_i$	: Doğal frekans
$\{\phi\}_i$	: Titreşim modu
$[I]$	: Birim matris
$[\Phi]$	: Normalleştirilmiş birim matris

$M_r$	: r. genelleştirilmiş kütle
$C_r$	: r. genelleştirilmiş sönüm
$K_r$	: r. genelleştirilmiş rijitlik
$P_r$	: r. genelleştirilmiş kuvvet
$\{\Phi\}_r$	: Normalleştirilmiş mod
$\omega_r$	: r. titreşim moduna karşılık gelen açısal frekans
$q_r(t)$	: r. titreşim moduna ait modal koordinat
$\{P_n\}$	: Lineer olmayan bağlantı elemanların lineer olmayan serbestlik derecesinden doğan yük vektörü
$[K_L]$	: Lineer olmayan bağlantı elemanların lineer serbestlik dereceleri için ve bütün lineer elastik elemanların rijitlik matrisi
$[K_N]$	: Bütün lineer olmayan serbestlik dereceleri için lineer efektif rijitlik matrisi
$S_{12}$	: Kayma gerilmeleri
$M_f$	: Kolon başlık yüzeyindeki moment
$M_c$	: Kolon ağırlık eksenini üzerindeki moment
$M_{pr}$	: Kiriş üzerinde muhtemel plastik mafsall oluşum noktasında kiriş kesitinin plastik moment taşıma kapasitesi
$W_p$	: Plastik mafsall noktasında kiriş kesitinin etkin plastik modülü
$S_x$	: Ele alınan kesitin (x-x) asal eksenine göre statik momenti
$V_p$	: Plastik mafsall noktasındaki kesme kuvveti
$P$	: Kiriş üzerine etkiyen tekil yük
$w$	: Kiriş üzerine etkiyen yayılı yük
$M_{pr}$	: Bağlantı kirişinin plastik moment taşıma kapasitesi
$V_p$	: Bağlantı kirişinin plastik moment taşıma kapasitesi
$d_c$	: Kolon kesiti yüksekliği
$d_b$	: Kiriş kesitinin yüksekliği
$t_{pl}$	: Alın levhası kalınlığı
$T_{ub}$	: Bir bulonun dış dibi enkesiti ile taşıyabileceği maksimum çekme kuvveti
$A_b$	: Bulon gövde enkesit alanı
$L$	: Kolon geometrik eksenini

$V_g$	:Başlık yüzeyinde özağırlık yüklerinden dolayı oluşan kesme kuvveti
$d_c$	:Kolon kesit yüksekliği
$\tau_{sem}$	:Bulona ait kayma emniyet gerilmesi
$n$	:Birleşimdeki bulon sayısı
$t_{pl}$	:Minimum alın levhası kalınlığı
$\sigma_{yp}$	:Alın levhasının akma sınır gerilmesi
$g$	:Bulon sıraları arasındaki ara mesafe
$t_p$	:Minimum alın levhası kalınlığı
$\sigma_{yc}$	:Kolonun akma sınır gerilmesi
$t_{cf}$	:Kolon ve kiriş başlık kalınlığı
MAÇ	:Moment aktaran çerçeve
MÇÇ	:Merkezi çaprazlı çerçeve
DÇÇ	:Dışmerkez çaprazlı çerçeve
D-DÇÇ	:Diyagonal dışmerkez çaprazlı çerçeve
Ters V-DÇÇ	:Ters V dışmerkez çaprazlı çerçeve

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Geçmişte meydana gelen büyük depremler, bina türü çelik yapıların deprem güvenliklerinin yetersiz olduğunu göstermiştir. Bu yapıların deprem güvenliklerinin sağlanabilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde, çelik yapıların sismik etkilere karşı daha dayanıklı olması konusunda çeşitli yöntemler ve fikirler geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir.

Betonarme ve çelik binaların güçlendirilmesiyle ilgili farklı uygulamalar mevcuttur. Bu uygulamalardan en yaygın olarak kullanılanı çapraz elemanların moment aktaran çerçevelerde kullanılması şeklindedir. Çaprazlar, moment aktaran çerçeve sistemlerde merkezi ve dış merkezi olarak uygulanabilmektedir.

Moment aktaran ve merkezi çaprazlı çerçeve sistemler, çelik yapıların sismik tasarımında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, bu sistemler sismik tasarımda gerekli olan rijitlik ve sünekliğin her ikisini birden sağlayamamaktadır. Moment aktaran rijit çerçeve sistemler, sünekliği sağlamak için yeterli enerji yutma kapasitesine sahiptir. Ancak, bu çerçeve sistemlerde yeterli rijitliği sağlayabilmek ve yer değiştirmeleri belli seviyede tutabilmek için büyük boyutlu elemanlara ve panel bölgesinde çift plaklara ihtiyaç vardır. Bunun aksine, merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerde ise yer değiştirmeler etkili bir şekilde engellenmesine rağmen enerji yutma kapasitesi zayıftır. Son yıllarda dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemler bu iki sisteme alternatif olmuştur. Dışmerkez çaprazlı çerçevelerde diyagonal çapraz elemanlardaki aksenal kuvvetler, bağlantı kirişinde meydana gelen eğilme momenti ve kesme kuvveti vasıtasıyla diğer kolon ve çaprazlara aktarılmaktadır. Uygun bir yapısal geometriyle dışmerkez çaprazlı bir çerçeve, merkezi çaprazlı benzer bir çerçevenin rijitliğine yakın elastik bir rijitliğe sahip olabilir. Diğer yandan büyük bir deprem sırasında meydana gelebilecek aşırı bir yükleme durumunda bağlantı kirişleri doğrusal olmayan bir davranış sergileyerek moment aktaran rijit bir çerçevenin enerji yutma kapasitesine sahip olabilir (Malley ve Popov, 1984; Hjelmstad ve Popov, 1984). Böylece, uygun bir tasarım ile dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler sismik tasarımın hem rijitlik hem de süneklik şartını etkili bir şekilde karşılayabilir.

Çapraz elemanların kullanım şekli, kesiti, birleşim yeri ve benzeri özellikleri, yapının deprem performansını doğrudan etkilemektedir. Çünkü çapraz elemanlar, yapıda oluşacak plastik mafsalların yerini ve özelliklerini, dolayısıyla oluşacak plastik şekil değiştirmeleri etkilemektedir. Bu durum doğal olarak yapının sünekliğini, sistemin doğal periyodunu ve yapısal davranış katsayısını etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda, kullanılan her bir çapraz elemanın yapının deprem performansını arttırmadığı, hatta başlangıçta bu tip güçlendirme elemanlarının dikkate alındığı boyutlandırmanın, yapının sismik performansını olumsuz etkilediği ifade edilmektedir. Özellikle, kuvvetli yer hareketine maruz yapıların doğrusal olmayan davranışlarında kullanılan berkitme elemanlarının burkulması ile birlikte yapının performansının ani bir şekilde düştüğü de görülmektedir. Bu durumda, yapının sünekliği ve bunun sonucunda da yapının enerji yutma kapasitesi önemli ölçüde azalmaktadır (Korkmaz vd., 2008).

## **1.2. Literatür Araştırması**

### **1.2.1. Merkezi Çaprazlı Çerçeve (MÇÇ) Sistemler ile İlgili Çalışmalar**

MÇÇ sistemlerin çoğu, rüzgâr yüklerini lineer elastik bölgede kalarak taşıyabilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Diyagonal çapraz elemanlar daima çekme kuvveti altında çalışacak şekilde tasarımı yapılan MÇÇ sistemler genellikle yapılarda yatay yüklerin taşınması için kullanılırlar.

Martinelli vd. (1996), şiddetli depremler altında merkezi güçlendirilmiş moment aktaran çelik çerçeve sistemlerin lineer olmayan dinamik davranışını araştırdılar. Bu çalışmanın birinci bölümünde uçlarında elastik olmayan mafsalları bulunan lineer olmayan kiriş elemanın tanıtımına yer verilmiştir. İkinci bölümünde ise, iki örnek uygulama verilmiştir. Birinci uygulama, Eurocode8'e (EC8) uygun olarak tasarlanan 6 katlı moment aktaran çelik çerçeve sistemdir. Burada merkezi çapraz elemanlar sadece iç kat sapsmalarını sınırlı tutmak amacıyla konulmuştur. Bu sistemin sismik davranışı belirlendi ve çapraz elemanları olmayan çerçeve sistem ile karşılaştırılmıştır. İkinci uygulama ise, EC8'e göre tasarlanan 6 katlı merkezi güçlendirilmiş çelik çerçeve sistemdir. Merkezi güçlendirilmiş çelik çerçeve sistemin davranışına tasarımda dikkate alınmayan kolonların eğilme rijitliği ve direncinin etkisini analiz etmek amacıyla sismik yükleme altında bu sistemin lineer olmayan davranışı incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, sistemde merkezi çapraz

elemanların kullanılmamasının yumuşak kat davranışına sebebiyet verdiği ve merkezi çapraz elemanlarla güçlendirilmiş sistemin lineer olmayan davranışının moment aktaran çerçeveninkine oranla daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Filiatrault ve Tremblay (1998), şiddetli depremlere maruz ve sadece çekmeye çalışan çapraz elemanlarla güçlendirilmiş çerçevelerin tasarımı üzerine bir çalışma gerçekleştirdiler. Bunun için yarı ölçekli oluşturulan iki katlı modeller sarsma tablasında test edilmiştir. Sarsma tablası deneylerinden elde edilen çapraz elemanlardaki çekme kuvvetleri statik deneylerden elde edilen çeliğin akma mukavemetiyle normalleştirildiğinde, sadece çekmeye çalışan çapraz elemanlardaki çekme kuvvetlerinde artış elde edilmiştir. Çekme kuvvetlerindeki bu artışın yüksek şekil değiştirme oranı altında çeliğin akma mukavemetinin artmasından meydana geldiğini göstermiştir. Bu çalışma sonucunda, bu işlemin henüz tasarım aşamasındaki çapraz güçlendirme elemanlarındaki kuvvetlerin artışını tahmin etmek için önerilmiştir.

Moghaddam vd. (2005) sismik yüklere maruz MÇÇ sistemlerin dinamik davranışının optimizasyonu için deformasyonun üniform dağılım kavramına dayalı bir metodoloji geliştirmiştir. Bu metodoloji, yapısal özelliklerin optimum dağılımını elde etmek için ardışık bir optimizasyon işlemine dayanmaktadır. Bu yaklaşımda, yapıda kullanılan ve etkisiz kalan malzemenin kuvvetli bölgelerden zayıf bölgelere doğru yavaş yavaş kaydırılmaktadır. Bu işlem, üniform deformasyon elde edilene kadar devam etmektedir. Böylece yapının sismik performansının iyileştirilebileceği gösterilmiştir. Bu yaklaşım, merkezi çapraz elemanlar ile güçlendirilmiş çerçevelerde optimum kuvvet dağılımının elde edilmesinde kullanılmıştır.

Kim ve Choi (2005), çeşitli katlara ve açıklıklara sahip ters V-MÇÇ (Chevron Braces) modelleri ile sıradan MÇÇ modellerinin statik itme analizleri (pushover analysis) yapılarak bu sistemlerin aşırı dayanım, süneklik ve davranış artım faktörleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, lineer olmayan artımsal dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Modeller, büyük sismik yüklere göre tasarlanmıştır. Ayrıca, sismik yüklerin esas olarak çapraz elemanlar tarafından taşınabilmesi amacıyla kolon kiriş birleşimlerinin mafsalı olduğu kabul edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; statik itme analizi ile hesaplanan davranış artım faktörleri, yönetmeliklerde verilen davranış artım faktörlerinden genellikle daha küçük elde edilmiştir. Yalnız burada düşük katlı özel çapraz elemanlarla güçlendirilmiş çerçeve modellerini hariç tutmak gerekmektedir. Artımsal dinamik analiz sonuçları statik itme analiz sonuçları ile genellikle örtüşmüştür.

Moghaddam vd. (2005) deformasyonun üniform dağılımına dayalı sismik yer hareketine maruz bırakılmış merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin dinamik davranışının optimizasyonu için bir metodoloji sunmuşlardır. Yapısal özelliklerin optimum dağılımını elde etmek için, ardışık bir optimizasyon işlemi benimsenmiştir. Bu yaklaşımda, yapısal özellikler modifiye edilerek etkisiz malzeme dereceli olarak yapının güçlü bölgelerinden zayıf bölgelerine kaydırılmıştır. Bu işlem üniform bir deformasyon dağılımı elde edilinceye kadar devam ettirilmiştir. Böyle bir yapının sismik performansının optimum olduğu ve geleneksel yöntemlerle tasarlanandan daha iyi davranış sergilediği gösterilmiştir. Çerçeve modellerin meşakkatli analizlerinden kaçınmak için eşdeğer bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntemde, tasarım amaçları için yeterli doğrulukta olduğu gösterilen indirgenmiş kayma çerçeve modeli üzerinde optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Aydın ve Boduroğlu (2006) düzlem çerçeveler için X tipi çelik diyagonallerin optimum yerleşimi için optimizasyon yöntemini kullandılar. Öncelikle, optimum yerleşim için diyagonallerin optimum yer ve büyüklükleri tanımlandı. Çalışmada birinci mod etkisindeki kararlı yapısal davranış, başlangıç durumlarından ve giriş hareketinden bağımsız olan transfer fonksiyonları ile ifade edilmiştir. Amaç fonksiyonları yapının birinci moduna karşı gelen transfer fonksiyonu tepe deplasmanı ve taban kesme kuvveti olarak seçilmiştir. Optimizasyon yönteminde, tasarım değişkenleri olarak eklenen diyagonallere ait olan rijitlik parametreleri tanımlanmıştır. Lagrange çarpanları yöntemi kullanılarak optimumluk kriterleri türetilmiştir. Ortaya çıkan doğrusal olmayan denklem takımı en dik yön algoritması (Steepest Direction Search Algorithm) ile çözülmüştür. Yapının davranışı hem transfer fonksiyonlarına bağlı olarak hem de El Centro deprem kuvvetleri altında araştırılmıştır.

Moghaddam ve Hajirasouliha (2006) merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin sismik deformasyon taleplerinin tahmininde statik itme analizinin (pushover analysis) doğruluğunu araştırmışlardır. Statik itme analizinin güvenilirliği, tasarım spektrumu temsil eden 15 sentetik deprem kaydına maruz bırakılan 5, 10 ve 15 katlı çerçeveler üzerinde doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilerek araştırmışlardır. Önceden belirlenmiş yatay yüklerle gerçekleştirilen statik itme analizi, iç kat sürüklenmelerini şüpheli şekilde vermiştir. Bu olumsuzluğu gidermek için merkezi çaprazlı çerçevelerin sismik davranışını tahminde basitleştirilmiş analitik bir model önerilmiştir. Bu yaklaşımda çok katlı bir çerçeve statik itme analizi gerçekleştirilerek eşdeğer bir kayma çerçevesine

indirgenmiştir. Geleneksek kayma çerçeve modeli, kayma yer değiştirmelerine ek olarak eğilme yer değiştirmelerini de hesaba katan ilave yaylarla modifiye edilmiştir. Modifiye edilen bu modellerin doğrusal olmayan statik analize kıyasla gerçek çerçeve yapıların doğrusal olmayan dinamik davranışlarının belirlenmesinde daha iyi olduğu gösterilmiştir.

Marino ve Nakashima (2006), ters V-MÇÇ (Chevron Braces) sistemlerin sismik performansını incelediler. Bu çalışmada, EuroCode8'in (EC8) ters V çaprazlı çerçeveler için şart koştuğu davranış faktörü ( $q$ ) dikkatli bir şekilde analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, çapraz elemanların narinliğine bağlı olarak ters V-MÇÇ sistemlerin elastik rijitliği ve gerçek dayanımının önemli derecede değiştiği görülmüştür. Ayrıca, çekme durumundaki çapraz elemanın akma dayanımı ve basınç durumundaki çapraz elemanın burkulma sonrası dayanımı toplanarak bu çapraz eleman çiftinin dayanımını hesaplamada yeni bir metot önerilmiştir. Bu metot, çapraz eleman narinliğini düşünmeksizin tasarlanan ters V-MÇÇ sistemlerin aynı elastik rijitliğe, benzer gerçek dayanıma ve dolayısıyla benzer sismik performansa sahip olacağını gösterilmiştir. Yine bu çalışmada, çapraz elemanın burkulma sonrası dayanımının elde edilmesinde biri burkulma diğeri akma dayanımına dayalı iki yöntem keşfedilmiştir. Her iki yöntemde de yaklaşık olarak aynı performans elde edilmiştir. Bununla birlikte, akma dayanımına dayalı yöntemin tasarımda daha kolay ele alındığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, ters V-MÇÇ sistemler için uygun davranış faktörü ( $q$ ) araştırılmıştır. Eğer bu metot kullanılırsa, EC8'de  $q=2.5$  koşuluna kıyasla  $q=3.5$  ile tasarlanmış çerçeve sistemin maksimum iç kat sapması, moment aktaran sünek çerçeve sistemlerinkine hemen hemen eşit olacağı belirlenmiştir. Bu değer daha büyük olmasına rağmen, bu çapraz elemanlar için gerekli kesit alanları ile EC8'in kullanıldığı zaman gerekli olan çapraz elemanların alanları daha kısa çapraz elemanlar için çok benzerdir.

Moghaddam ve Hajirasouliha (2006) merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin sismik deformasyonun belirlenmesinde statik itme analizinin (pushover analysis) potansiyelini araştırdılar. Bir tasarım spektrumuna izafeten 15 sentetik deprem yer hareketine maruz 5, 10 ve 15 katlı çerçeve sistemin lineer olmayan dinamik analizi yapılarak statik itme analizinin güvenilirliği test edilmiştir. Önceden belirli yatay yüklerle gerçekleştirilen statik itme analizinin iç kat sapsmalarını belirlemesinin tartışılabilir olduğunu gösterdiler. Bu çalışmada, bu olumsuz durumu aşabilmek için merkezi güçlendirilmiş çelik çerçevelerin sismik davranışının elde edilmesi için basitleştirilmiş bir analitik model önerilmiştir. Bu yaklaşımda, bir statik itme analizi gerçekleştirilerek çok katlı bir çerçeve eşdeğer bir kayma çerçevesine indirgenmektedir. Kayma yer değiştirmelerine ek olarak eğilme yer



değiştirmelerini hesaba katabilmek için bilinen kayma çerçevesine ilave yaylar eklenmiştir. Gerçek yapıların lineer olmayan dinamik davranışının belirlenmesinde bilinen statik itme analizine kıyasla yenilenen bu kayma çerçeve modellerinin daha iyi olduğu gösterilmiştir.

Tama vd. (2006) bu çalışmada, farklı şekillerde düzenlenmiş olan merkezi düşey çaprazlama sistemler kullanıldığında yönetmeliklere uyumlu olarak tasarlanan bir çelik çerçevenin kapasitesindeki değişimleri incelenmiştir. Uygulanan merkezi düşey çaprazlama şeklinin çerçeve davranışına etkisi araştırılmıştır.

Qian vd. (2007), merkezi çapraz elemanlar ile güçlendirilmiş uzay çerçevelerde hasarın yerini ve boyutunu saptamak amacıyla iki aşamalı hasar saptama yaklaşımı geliştirdiler. Bu yaklaşım, hasar yeri belirleyen vektörler metodu ile öz değer duyarlılık analizinden oluşmaktadır. Uzay çerçeve eleman ve birleşimlerinde hasarı belirlemek üzere uzay çerçeve elemanlarda karakteristik gerilmeleri hesaplamak için kullanılan formüllerin türetilmesiyle ve birleşimlerdeki karakteristik gerilmelerin tanımlanmasıyla hasar yeri belirleyen vektörler metodu genişletilmiştir. Ayrıca hasarlı yapıların modal kütle normalizasyon sabitlerinin basit hesapları geliştirilmiştir. Önerilen bu yaklaşımın etkinliğini doğrulamak amacıyla çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş bir uzay çerçeve modelinin sayısal analizi ve deneysel testi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayla, çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş uzay çerçevelerdeki eleman ve bağlantılarda hasarlar belirli seviyeye ulaştıklarında iki aşamalı hasar saptama yaklaşımının etkili olduğu gösterilmiştir.

Korkmaz vd. (2008) bu çalışmada farklı merkezi çaprazlı çelik çerçeve modelleri incelenmiştir. Modellerde, ilk kat kolon yüksekliğini farklı ve ilk katları çaprazsız olarak dikkate alınmıştır. Böylelikle farklı yapısal özelliklerdeki merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin, doğrusal olmayan deprem davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Analizlerde, dört tip çerçeve modeli üç farklı çapraz eleman ile modellenmiş, toplam on iki adet merkezi çaprazlı çerçeve model üzerinde çalışılmıştır. Yapılar boyutlandırıldıktan sonra elastik ötesi davranışlarının incelenmesi amacıyla, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleri (pushover analysis) yapılmıştır. Ardından performansa bağlı analiz yöntemlerinde yer değiştirme katsayıları yöntemi kullanılarak hedef yer değiştirme değerleri belirlenmiştir.

Amadio vd. (2008), viskoelastik çaprazlarla güçlendirilmiş kısmen tutulu beton-çelik kompozit elemanlardan oluşan hibrit çerçeve sistemlerin dinamik davranışını araştırdılar. Çaprazların viskoelastik katkıları ve düğüm noktalarının direnme mekanizmalarını dikkate alan sayısal bir model geliştirilmiştir. Bu modelin doğruluğu, serbest titreşime maruz yarı

rijit düğüm noktalı tek katlı iki açıklıklı kompozit çerçeve üzerinde yapılan deney sonuçları ile kontrol edilmiştir. Aynı çerçeve üzerinde farklı deprem yer hareketleri ve farklı maksimum yer ivmeleri için zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece, kiriş-kolon birleşim geometrisinin ve viskoelastik çapraz elemanların özelliklerinin hibrit sistemin performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kısmen tutulu çerçevenin rijitliği ve kiriş-kolon birleşim noktalarının plastik histerik davranışı, yıkıcı depremler altında yapının performansına önemli katkıda bulunmuştur. Bu davranış sırasında, düğüm noktasında sadece sınırlı hasarlar meydana gelmiştir. Bu ise, hibrit çerçeve sistemlerde viskoelastik çapraz elemanların etkin bir biçimde kullanılabileceğini göstermiştir.

Korkmaz vd. (2008) merkezi ve dışmerkez olarak çeşitli şekillerde güçlendirilmiş çelik binaların doğrusal olmayan deprem davranışlarını incelediler. Bunun için x yönünde 2, y yönünde 3 açıklığa sahip 6 katlı bir bina dikkate alınmıştır. Bu bina için 7 farklı şekilde merkezi çapraz eleman, 5 farklı şekilde dışmerkez çapraz eleman ile güçlendirilmiş toplam 12 model hazırlanmıştır. Çalışmaya esas alınan modellerin birinci derece deprem bölgesinde ve Z4 yerel zemin sınıfında olduğu kabul edilmiştir. Binalar boyutlandırıldıktan sonra elastik ötesi davranışlarının incelenmesi amacıyla doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, plastik mafsallar ilk olarak çapraz eleman üzerinde meydana gelmektedir. Bu durum, çapraz elemanların plastik mafsallaşmalarda pozitif bir etki sağladığını ve binada ilk plastik mafsall oluşumlarını üzerlerine aldıklarını göstermektedir. Bununla birlikte, çalışmada genel olarak mevcut binaların güçlendirilmesinde kullanılan çapraz elemanların kapasite üzerinde önemli etkilerinin olduğu, özellikle dış merkezi çaprazlarla güçlendirilen çelik binanın merkezi çaprazlarla güçlendirilen çelik binaya göre daha sünek davrandığı vurgulanmıştır.

Yoo vd. (2008), MÇÇ sistemlerin sismik performansına bağlantı parametrelerinin etkisini incelediler. Bu parametreler, kiriş-kolon birleşimleri, çapraz elemanların birleşim açısı ve bunların elastik olmayan deformasyon kapasiteleridir. MÇÇ sistemlerde çeşitli birleşim detayları için analizler gerçekleştirildi. Sonuçlar, kiriş-kolon-çapraz eleman bağlantılarının uygun şekilde seçilmesinin MÇÇ sistemlerin performansını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen önemli sonuçlardan biri, dik açığa yakın bir şekilde tasarlanan çapraz elemanların kendi üzerinde ve kaynak bölgelerinde çatlakların erken oluşmasıdır.

Yoo vd. (2009), tekrarlı yüke maruz çok katlı X-MÇÇ sistemlerin lineer olmayan davranışı ile bayrak levhası davranışını incelemek üzere kapsamlı bir çalışma

gerçekleştirdiler. Bu çalışmada, çok katlı X-MÇÇ sistemlerin sismik performansına çerçeve elemanların ve bayrak levhasının etkisini incelemek üzere bir parametrik çalışmaya da yer verdiler. Laboratuvar ve bilgisayar modelleri üzerinde gerçekleştirdikleri analizler, kiriş-kolon bağlantılarının, çapraz elemanların kiriş ve kolonla yapmış olduğu açının, çapraz elemanların elastik olmayan deformasyon eğiliminin, bayrak levhası geometrisi ve kalınlığının, kiriş ve kolon kalınlığının, çapraz elemanların bağlantı bölgesindeki kaynak uzunluğunun, çerçeve geometrisinin ve çapraz elemanların eğiklik açısının X-MÇÇ sistemlerin deprem performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Şöyle ki, X-MÇÇ sistemlerde, kiriş ve kolon boyutlarının moment aktaran çerçeve sistemlerdeki kiriş ve kolon boyutlarından daha büyük seçilmesinin yanal kuvvetlerin etkisinde sistemin performansını arttırmıştır. Boyutları arttırılmış kirişlerin ve kolonların yanal kuvvetlere karşı tepkileri farklı mekanizmalarla olmuştur. Kiriş boyutlarının arttırılması çapraz elemanın etkili uzunluğunu azaltmış, kolon boyutlarının arttırılması ise plastik mafsalların varlığında eğik elemanların dirençlerini arttırmıştır. X-MÇÇ sistemlerde kalın bayrak levhalarının kullanılması, bağlantı bölgelerinde bayrak levhalarının rijitliğini önemli derecede arttırmış, levhalarda azaltılmış gerilmeler daha erken gözlenmiş ve bayrak levhalarının bulunduğu kolon-kiriş birleşim bölgelerinde akmalar gözlenmiştir. Bayrak levha kalınlığının daha da artmasıyla azalan gerilme değerleri bayrak levhalarındaki akmalar ile kaynak çatlaklarının oluşumunu azaltmıştır. Boyutları arttırılmış kiriş, tahmin edilen kaynak çatlaklarının daha erken oluşmasına, yanal kuvvetler etkisi altında kalın bayrak levhaları ile bağlanmış çapraz elemanlarda çatlaklara ve kat ötelenmelerinin azalmasına neden olmuştur. Boyutları arttırılmış kolon ise kaynak çatlaklarını azaltmıştır.

### **1.2.2. Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve (DÇÇ) Sistemler ile İlgili Çalışmalar**

Malley ve Popov (1984) ile Hjelmstad ve Popov (1984) dışmerkez çaprazlı çerçevelerin (DÇÇ) yatay yüklere karşı dayanımda çok etkin olduğunu bu çalışmalarında gösterdiler. Bazı basit örnekler üzerinde çalışmalar yaparak sismik aktivitesi yoğun olan bölgelerde DÇÇ sistemlerin davranışının temel karakteristiklerini ortaya koydular.

Berman ve Bruneau (2007), içi boş dikdörtgen kesitli çapraz eleman geliştirdiler. Bu çaprazların dışmerkez yerleştirilerek güçlendirilmiş çerçevelerde deneysel ve analitik bir inceleme yaptılar. Bu çapraz elemanlar kullanıldığında yatay çapraz elemanlara gerek

olmadığını tespit ettiler. Geliştirdikleri bu boru şeklindeki hibrit çapraz elemanların AISC Deprem Yönetmeliği'nde tanımlı bağlantı elemanları için öngörülen maksimum dönmeye ulaşabileceğini ve hatta geçebileceğini, bunun ise geniş başlıklı bağlantı elemanlara benzer süneklik düzeyi sağlayabileceğini gösterdiler. Deneysel çalışmalar sırasında, en azından kullanılan numunelerde kesme kuvveti-moment etkileşiminin ihmal edilebileceğini ve pekleşmeden dolayı kesitin plastik kayma ve plastik moment taşıma kapasitesinin aşıldığını belirlediler.

Rossi ve Lombardo (2007), kapasite tasarım ilkelerine göre tasarımı yapılmış ve dışmerkez çaprazlı çerçevelerin sismik davranışına bağlantı elemanının dayanım artım faktörünün etkisini incelediler. Bu amaçla bağlantı elemanlarının deformasyon kapasitesinin dikkat çekici bozulmalarını karakterize eden göçme mekanizmasını oluşturmak için yapıların kabiliyetini doğru bir şekilde değerlendirebilmek için akma mukavemetinin belirli veya rastgele değerlerine göre artımsal dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. İlk analizler dışmerkez çaprazlı çerçevelerin deprem davranışlarının geleneksel değerlendirmelerine yönlendirirken, gerçek gerilme dağılımına yapısal davranışın duyarlılığının geniş olarak araştırılması ve kapasite tasarım ilkelerinin daha doğru bir şekilde kontrol etmek için akma dayanımının rastgele değerlerine göre bu analizler gerçekleştirilmiştir. Buradan elde edilen sonuçlara bağlı olarak, çalışmada ayrıca yapının tipine göre bina yönetmelikleri tarafından önerilen davranış katsayılarının analiz edilmesi sağlanmıştır.

Rasekh vd. (2008), özel bir dışmerkez çaprazlı bir sistemi ele aldılar. Bu sistemde, diyagonal çapraz eleman düz değildir. Bu şekilde tasarlanan çerçeve sistemin davranışı incelenmiştir. Neticede, klasik merkezi çapraz elemanlı sistemlere kıyasla dışmerkez çapraz elemanlı sistemlere daha az sismik kuvvet geldiği gösterilmiştir. Diğer yandan, şiddetli depremlerde lineer olmayan bölgedeki muhtemel sapmaların bu şekilde tasarlanan sistemin dayanımı ve rijitliğinde önemli bir bozulmaya sebep olmayacağı gösterilmiştir. Ayrıca, dışmerkez çapraz elemanlarda geometrik lineer olmama durumunun dikkate alınması yük-deformasyon değişiminin etkili bir şekilde kontrol edilebileceğini göstermiştir.

Özhendekçi ve Özhendekçi (2008) ters-V dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin ağırlığı ve elastik olmayan davranışını üzerinde çerçeve geometrisinin etkisini araştırmak üzere parametrik bir çalışma gerçekleştirdiler. Bunun için iterasyonla optimizasyona dayalı bir bilgisayar programı geliştirdiler. Bu araştırmada, 420 adet kayma akma bağlantı

elemanlı, 105 adet ara bağlantı elemanlı ve 105 adet eğilme akma bağlantı elemanlı ters-V dışmerkez çaprazlı çerçeve kullanıldı. 20 farklı yer hareketi için DRAIN-2DX program ile bu çerçeve sistemlerin her birinin elastik olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirdiler. Ağırlık ve çerçevelerin sismik davranışları üzerinde geometri seçiminin etkileri elde edilmiştir. Çerçevelerin sünekliklerini değerlendirmek için bazı çerçevelerin statik itme analizleri (pushover analysis) DRAIN-2DX programı ile yaptılar.

Mastrandrea ve Piluso (2009), dışmerkez çaprazlı çerçevelerin plastik tasarımında moment-kayma etkileşimi hakkındaki konuları incelemiştir. Özellikle, verilen bir göçme mekanizması için orta bağlantı kirişlerinin nihai kayma kuvvetleri ile uç momentlerinin hesaplanması için bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntemle orta bağlantı kirişlerinde nihai durumlarda oluşan iç etkiler ve plastik deformasyonları belirlemede kullanılan analitik formüllerin elde edilmesine imkân vermiştir. Ayrıca, eşdeğer moment kavramı aracılığıyla basit eğilmede plastik mafsallı bir eleman modellenmiştir. Böylece, çapraz elemanın akmasını ve orta bağlantı kirişinin dışındaki bölümlerdeki akmayı önlemek için gerekli tasarım parametrelerini tanımlamak mümkün olmuştur.

Geçmişte kapasite tasarım ilkelerine uyularak tasarlanan dışmerkez çapraz elemanlarla güçlendirilmiş çerçevelerin sismik davranışını veren analizde, bağlantı elemanına ait dayanım artım faktörünün önemli rolü olduğu altı çizilmiştir. Bununla birlikte bu faktör, yapıların elastik davranışına dayanarak tanımlandığı için birçok sismik davranışı açıklamak mümkün değildi. Bosco ve Rossi (2009), dışmerkez çapraz elemanlarla güçlendirilmiş çerçevelerin sismik davranışını tam anlamak için yeni bir parametre geliştirdiler. Bu parametre hasar dağıtma kapasite faktörü olarak adlandırıldı. Önerilen bu parametre elastik olmayan yapısal davranış esasına göre hesaplandı. Bu çalışmada, yapıların sismik davranışına bu parametrenin etkisi ve kapasite tasarım ilkelerine uygun olarak tasarlanan dışmerkez çapraz elemanlarla güçlendirilmiş çerçevelerde hasar dağıtma kapasite faktörünün dağılımı incelenmiştir.

Okazaki vd. (2009) dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerde kolon ile bağlantı eleman birleşimleri üzerinde deneysel bir çalışma yaptılar. Bu amaçla, 24 adet büyük ölçekli deney modeli tekrarlı yükler altında test edildi. Test parametreleri bağlantı eleman detayı, bağlantı eleman uzunluğu, bağlantı eleman kesiti ve tekrarlı yükleme şekli olarak belirlenmiştir. Test sonuçları, bağlantı eleman uzunluğu ne olursa olsun kolon ile bağlantı eleman birleşimlerinin başlık kaynaklarında çatlamaya hassas olduğunu göstermiştir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki yönetmeliklerde belirtilen bağlantı elemanlarındaki

plastik dönmeler ile karşılaşılmeden modellerin çoğu hasar görmüştür. Bununla birlikte, bu çalışmanın sonucunda iki adet kolon-bağlantı eleman birleşim detayı geliştirilmiştir. Bu iki birleşim detayının kullanıldığı test modelleri bağlantı elemanlarındaki plastik dönme şartını aşabilmiştir.

### 1.3. Tezin İçeriği

Literatür araştırması sonucu, merkezi ve dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerin dinamik davranışının genellikle klasik dinamik analiz yöntemleriyle ve statik itme analizi (pushover analysis) ile incelendiği görülmüştür. Bu çalışmalarda, çapraz elemanların moment aktaran çerçeve sistemlere kazandırdıkları avantajlar ve dezavantajlar ile tasarım aşamasında çapraz elemanların moment aktaran çerçeve sistemlerde efektif olarak ne şekilde kullanılabileceği ele alınmıştır. Ayrıca, bu çerçeve sistemlerde oluşturulan bağlantı kirişinin sisteme katkısı üzerine ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır. Literatürdeki bu çalışmalarda, genel olarak çerçeve sistemlerin bir boyutlu çubuk elemanlar (frame element) ile modellendiği görülmektedir. Çok katlı yapılarda bu elemanlardan oldukça faydalanılmaktadır.

Düzlem çelik bir çerçevenin dinamik analizi çubuk elemanlar dikkate alınarak gerçekleştirildiğinde yalnızca çubuklara ait kesit tesirleri elde edilir ve kullanılan programda seçili yönetmeliğe göre tasarımı yapılır. Çerçevenin çelik birleşim detayları ise analiz sonucu elde ettiği kesit tesirleri yardımı ile elde edilir. Aynı çerçeve sistem, kabuk elemanlar ve birleşim noktalarında lineer olmayan bağlantı elemanlar ile modellenirse herhangi bir kesit tahkiki ve birleşim noktalarında birleşim hesabı yapılmadan sonuçlar direk olarak yorumlanabilir. Yani, kabuk elemanlardaki gerilmeler ve birleşim noktalarındaki bulon ve kaynak kuvvetleri kolayca değerlendirilebilir.

Bu tez çalışmasında, bir boyutlu çubuk elemanlardan teşkil edilebilecek moment aktaran çerçeve ile merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler kabuk elemanlar (shell elements) ile modellenerek analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, çerçevelerin kolon-kiriş birleşimleri doğrusal olmayan bağlantı (non-linear link) elemanlarıyla modellenmiştir.

## 1.4. Çelik Yapılar Hakkında Genel Bilgiler

Çelik yapılar hakkında burada verilen bütün bilgilerin ayrıntılı şekli Odabaşı (1997)'de bulunabilir.

### 1.4.1. Çelik Yapıların Tarihi Gelişimi

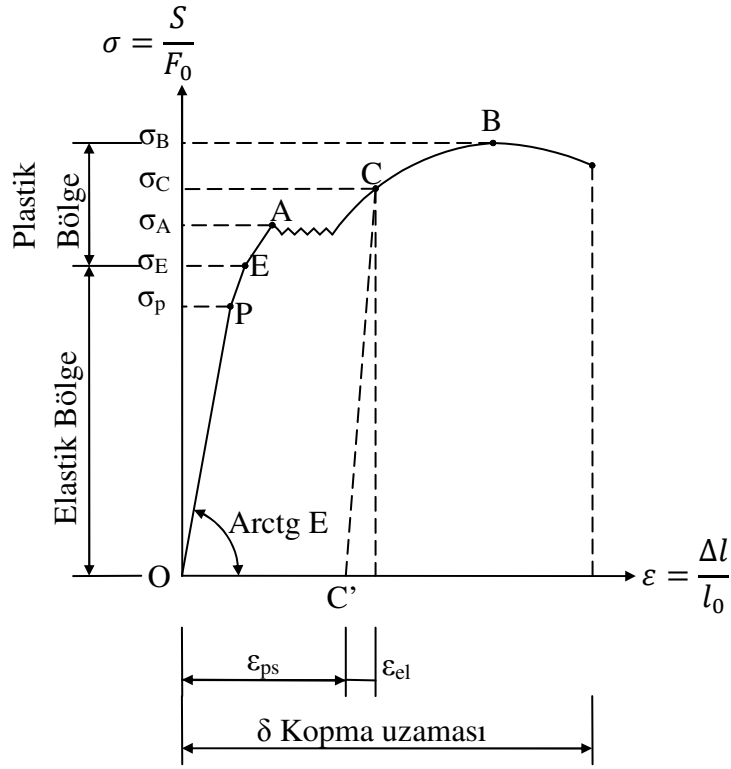
Mühendislik yapılarında yaklaşık iki yüz yıldan beri kullanılan demir malzemesi bilinmektedir. Bu malzemeye yapılan ilk mühendislik yapıları köprülerdir. İngiltere’de Coalbrookdale kasabası yakınında ve Severn nehri üzerinde 1779 yılında inşa edilen 31m açıklıklı kemer köprü bu alanda ilk örnektir. Kullanılan demir malzeme “font”tur. Çekme mukavemeti çok düşük olduğundan fontun uygulandığı yapılarda, hep basınç gerilmeleri alacak taşıyıcı sistemlere (kemer sistemler gibi) gidilmiştir. 1784 yılında, İngiltere’de “Cort” isimli bir araştırmacının geliştirdiği “puddler” adlı fırının devreye sokulmasıyla “dövme çelik” elde edilmiştir. Bunun sonucunda, dolu gövdeli veya kafes kirişli köprü inşaatları devreye girmiştir. 140m açıklıklı Britannia köprüsü, 131m açıklıklı Weischel köprüsü, dövme çelikle yapılmış yapıların çarpıcı örnekleridir. “Bessemer, Siemens-Martin, Thomas” yöntemlerinin 19. yüzyılın ikinci yarısında bulunmasıyla, ham demirin sıvı durumuna getirildikten sonra artırılması ve “dökme çelik” elde edilmesi sağlanmıştır. Böylece 20. yüzyıldan başlayarak dövme çelik yerini dökme çeliğe bırakmış, buna paralel olarak da modern çelik yapı tekniği geliştirilmiş ve bu alanda büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Çelik yapılarda gelişmenin ikinci aşaması, 20. yüzyıl başında kaynaklı birleşimlerin uygulama alanlarına girmesiyle gerçekleşmiştir. Böylece, gerek hal konstrüksiyonu ve karkas yapı, gerekse de köprü olarak çelik malzeme günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanılır duruma gelmiştir.

### 1.4.2. Çelik Malzemenin Özellikleri

Mekanik olarak işlenebilen yani, dövülerek, preslenerek, haddeden geçirilerek şekil alabilen demir alaşımlarına “çelik” denir. Çelik malzemenin bünyesinde, demirden başka, %0.16~0.20 kadar karbon (C) bulunur. Karbon miktarı arttıkça çeliğin hem mukavemeti, hem de sertliği artar. Ayrıca fosfor, kükürt, azot, silisyum, manganez, bakır gibi elementler de vardır. Çelik malzeme bünyesine krom, nikel, vanadyum, molibden gibi elementler

katılarak yüksek kaliteli çelikler üretilebilmektedir. Yüksek fırınlarda kok kömürü yakılarak demir cevherinin ergitilmesi sonucu, içinde %5 karbon bulunan ham demir elde edilir. Ham demirin özel fırınlarda katkılanmasıyla, bünyesinde %4 kadar karbon bulunan font (pik) üretilmiş olur. Thomas, Siemens-Martin, Bessemer yöntemleriyle özel fırınlarda ham demirin artırılıp, katkılanması sonucu da sıvı haldeki çelik malzeme elde edilir.

Yapılarda, bugün için kullanılan çelik malzemenin kristal bünyesi vardır, izotrop ve homojendir. Çelik bir numuneye çekme deneyi uygulanırsa, Şekil 1.1’de görülen gerilme-şekildeğiştirme diyagramı elde edilir. “ $l_0$ ” uzunluğunda, “ $F_0$ ” kesitindeki prizmatik deney çubuğuna, sıfırdan başlayarak yavaş yavaş artırılan “S” kuvveti uygulanır.



Şekil 1.1. Çeliğin gerilme-şekildeğiştirme diyagramı

$\sigma = \frac{S}{F_0}$  gerilmeleri, orantılı sınır gerilmesine ( $\sigma_p$ ) gelene dek malzeme lineer elastiktir. Hook kanunu geçerlidir ( $\epsilon = \frac{\sigma}{E}$ ). Gerilme, orantılı sınır gerilmesi ile elastik sınır gerilmesi ( $\sigma_E$ ) arasında kaldığı sürece malzeme Hook kanununa uymaz ancak yine elastiktir. Elastik sınır gerilmesinin aşılmasıyla malzemede plastik deformasyonlar başlar. Akma sınır gerilmesine ( $\sigma_A$ ) gelindiğinde malzeme kendini toparlar ve kopma, kopma sınır



gerilmesine ( $\sigma_B$ ) ulaşıldığında gerçekleşir. Plastik bölgeye geçildiğinde diyagramın herhangi bir “C” noktasında, kuvvet sıfırlanırsa çubuk ilk boyuna ( $l_0$ ) dönemez, çubukta bir plastik şekildeğiştirme ( $\epsilon_{pl}$ ) meydana gelir, sadece ( $\epsilon_{el}$ ) lik bir uzama kaybolur, yani diyagramda (O) noktası yerine (C’)noktasına gelinir. Diyagramda CC’ OP’ye paraleldir.

### 1.4.3. Çelik Malzemesinin Avantaj ve Dezavantajları

Herhangi bir malzemeyi kullanırken onun bütün özelliklerini çok iyi bilmek gerekir.

Çelik malzemenin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Homojen ve izotropdur. Üretimi belli bir denetim altında yapılır. Bu nedenlerle güvenlik katsayısı küçüktür ( $<2$ ).
- Yüksek mukavemetli olduğundan malzeme gideri bir hayli azalır, kullanıldığı yapının öz ağırlığını büyük ölçüde hafifletir.
- Çekme ve basınç mukavemetlerinin eşit olması sonucu çekme mukavemeti düşük diğer yapı malzemeleriyle gerçekleştirilmesi olanaksız sistemler çelik ile yapılabilirlik kazanır.
- Elastisite modülü çok yüksektir. Eğilme rijitliğinin etkin olduğu yerlerde uygun sonuçlar verir.
- Çelik yapı elemanlarının imalatı çoğunlukla atölyelerde gerçekleştirilir, şantiyede montaj yapılır. Bu nedenle inşaat süresi hava koşullarından etkilenmez ve bu yüzden uzamaz.
- Çelik bir yapıyı, az bir kayıpla söküp başka bir yerde kurmak olanağı vardır.
- Çelik yapılarda değişiklik veya takviye yapılması gayet kolaydır.
- Uygun bir planlamayla çelik bir yapının, iskele kurma gereksinimi doğmadan gerçekleştirilmesi olanağı bulunmaktadır.

Buna karşın, çelik malzemenin dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Yanıcı olmamakla beraber, ısı yükseldikçe mukavemetinde ve elastisite modülünde hızla düşüşler görülür.
- İyi bir ısı ileticisi olduğundan, ısı nedeniyle mukavemeti zayıflayan bölge hızla yayılır.
- Su veya bir kimyasal maddeyle ilişki, çelik malzemede paslanma (korozyon) olayını başlatır. Bunu önlemek için çelik elemanlar boyanmalı, periyodik boya bakımı yapılmalıdır. Bu husus çelik yapının bakım (işletme) giderlerini arttırır.

- Ses ve ısı açısından çok iyi bir iletken olması nedeniyle çelik yapılarda önemli bir yalıtım sorunu söz konusudur.

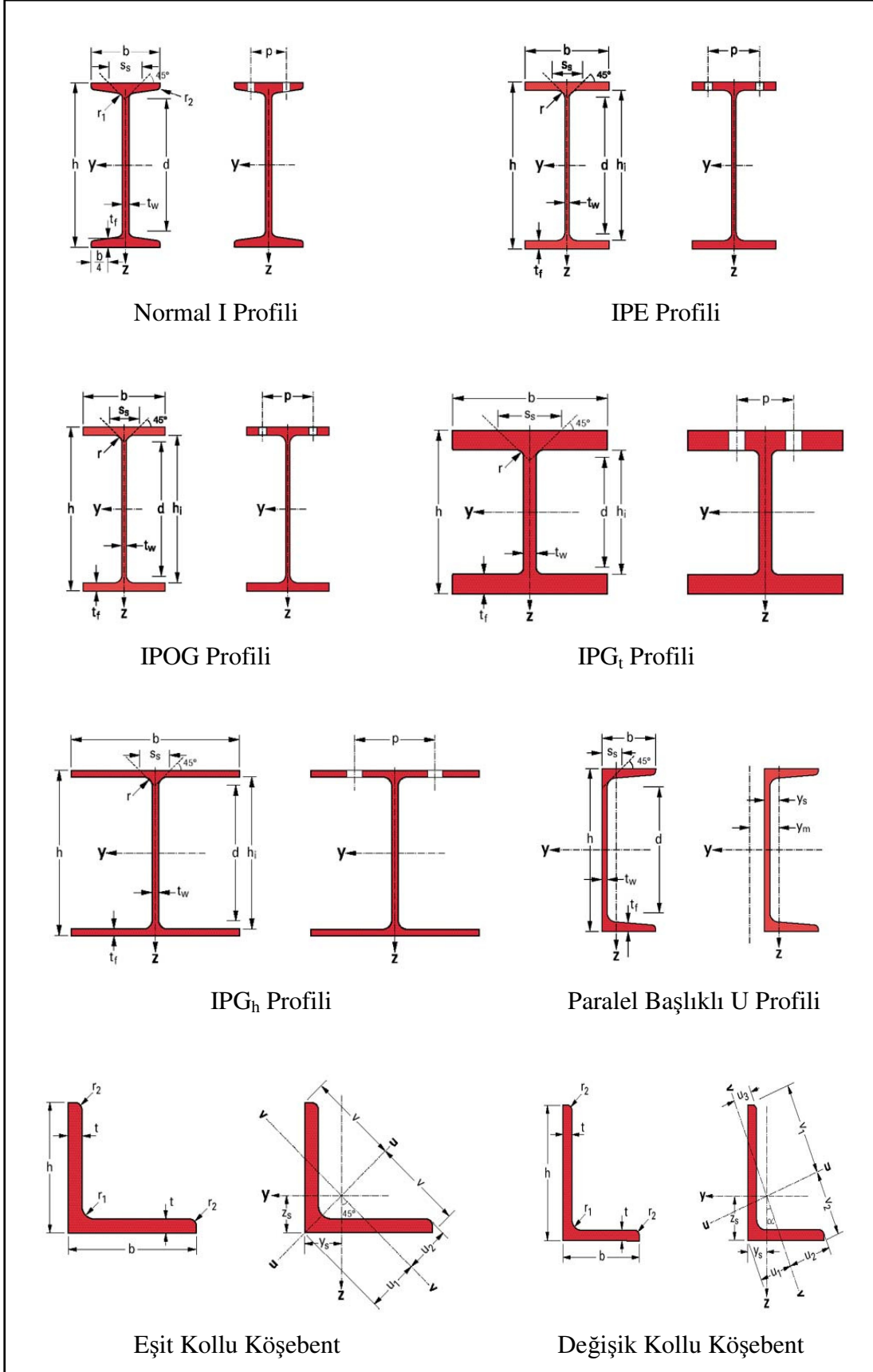
#### 1.4.4. Hadde Ürünleri

Yapılarda kullanılan çelik malzeme, çeşitli kesit etkilerini ekonomik bir biçimde aktaracak, ayrıca, ekonomik kesit oluşturacak standart şekil ve boyutlarda pazarlanır. Çelik fabrikalarında gerçekleştirilen bu şekil verme işlemine “haddeleme”, şekillendirilmiş çelik malzemeye de “hadde ürünleri” adı verilir. Çelik yapılarda sıklıkla kullanılan hadde ürünleri Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği gibi (I), (U) ve (T) profilleri sadece yüksekliklerinin (h) belirtilmesiyle tanımlanmış olurlar. En kesitin diğer bütün ayrıntıları (örneğin, başlık genişliği, gövde ve başlık kalınlıkları ile enkesit mukavemet değerleri) bu yüksekliğe bağlı olarak tablolarla verilmiştir. Köşebentlerde ise, tanımlama için, (h.b.t) olarak üç boyutun birlikte verilmesi gerekir. Ülkemizde (Normal I), (U) profilleriyle köşebentler her boyutta üretilmemektedir.

Lamalar, dikdörtgen en kesitli çubuklardır. Üç türü vardır. Dar lamalarda genişlik  $b=10\sim 150\text{mm}$  ve kalınlık  $t=5\sim 60\text{mm}$ ; geniş lamalarda  $b=151\sim 1250\text{mm}$  ve  $t=5\sim 60\text{mm}$ ; ince lamalarda da  $b=12\sim 630\text{mm}$ ,  $t=0.1\sim 5\text{mm}$ ’dir.

Levhalar, belli kalınlıklı dikdörtgen elemanlardır. Kalınlıklarına göre üç çeşide ayırt edilirler. İnce levhalarda kalınlık  $t=2.75\text{mm}$ , dikdörtgenin boyutları  $b=530\sim 1250\text{mm}$ ,  $l=760\sim 2500\text{mm}$ ; orta levhalarda  $t=3\text{mm}$ ,  $t=4.75\text{ mm}$ ,  $b=2500\text{mm}$ ,  $l=7000\text{mm}$ ; kaba levhalarda ise  $t=5\text{mm}$ ,  $b=3600\text{mm}$ ,  $l=8000\text{mm}$  olur.

Özel en kesitli profillerden boru profiller, kutu profiller, raylar, (Z) profilleri gibi hadde ürünleri de çelik yapılarda zaman zaman, hatta bazı alanlarda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.



Şekil 1.2. Çelik yapılarda sıklıkla kullanılan hadde ürünleri

### 1.4.5. Çelik Yapılarda Birleşim Araçları

Çeşitli hadde elemanlarının gerektiği gibi kesilip hazırlandıktan sonra yine gerektiği gibi birleştirilmeleriyle çelik yapı oluşturulur. Çelik elemanların bu birleşimlerinde yardımcı elemanlardan yararlanmaktadır ki, bunlara *Birleşim Araçları* adı verilir. Çelik yapılarda kullanılan birleşim araçları aşağıdaki gibidir:

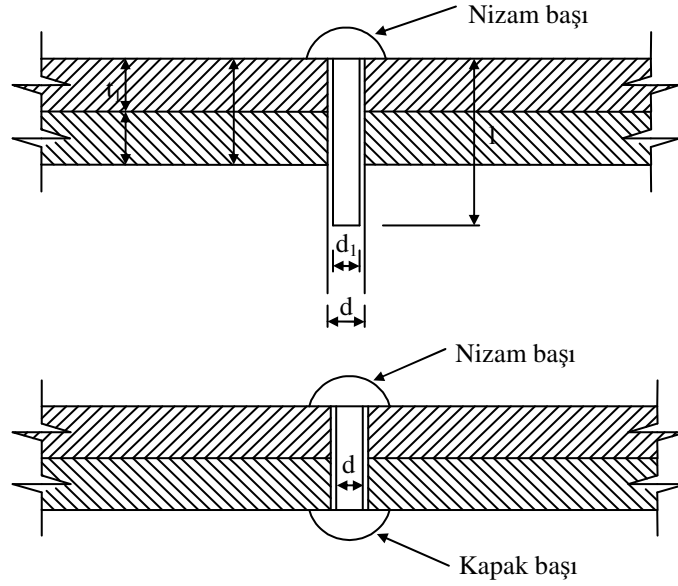
- Perçinler
- Kaynaklı Birleşimler
- Bulonlu Birleşimler

Perçin ve kaynak aracılığıyla yapılan bir birleşimin, daha sonra, birleştirilen elemanları tahrib etmeden sökülmesi olanaksızdır. Bu sebeple perçin ve kaynak, çelik yapılarda sökülemeyen birleşim araçları şeklinde tanımlanır. Buna karşın bulonlu bir birleşim istenilen zamanda, hiçbir bozulma olmaksızın rahatça sökülebilir. Dolayısıyla çelik yapılarda bulon da sökülebilen birleşim aracı diye bilinir.

Günümüz koşullarında perçin, uygulanan bir birleşim aracı olmaktan çıkmıştır. Mevcut eski yapıların kontrol hesaplarının yapılması aşaması dışında karşılaşılmaması olasılığı çok azdır.

#### 1.4.5.1. Perçinler

Silindirik bir gövdesi, yuvarlak iki başı olan, yük aktarıırken gövde en kesitinde makaslamaya, gövde çevresinde ezilmeye çalışan birleşim araçlarıdır. Ham perçin kızıl dereceye kadar ısıtılarak önceden açılan deliğe yerleştirilir. Perçin çekici denilen bir aletle, gövdenin delik dışına taşan kısmı dövülerek nizam başına simetrik diğer baş (kapak başı) oluşturulur ve gövdenin şişerek bütün delik boşluğunu doldurması sağlanır. Böylece (d) gövde çaplı ve iki yuvarlak başlık bir perçin teşkil edilmiş olur ki bu işlem Birleşime Perçin Vurma şeklinde adlandırılır. Ham perçinin, dövüldükten sonra Şekil 1.3'te görülen hale gelebilmesi için  $d_1 = d - 1^m$  ve  $l = s + (4/3)d$  şeklinde boyutlarında olması gerekir. Buna göre, herhangi bir birleşimde kullanılacak ham perçinin gövde boyu (l), birleşimin toplam kalınlığı (s) ve dövülmüş perçin çapı (d) ile bağımlıdır. Perçin çapı (d) de birleşime giren elemanlardan en ince olanın kalınlığına göre seçilmelidir. Yani  $d \leq \sqrt{5t_{\min}} - 0.2$  şeklinde olmalıdır.  $t_{\min}$  (cm) cinsinden alınır ve (d) de (cm) cinsinden elde edilmiş olur.



Şekil 1.3. Perçinler

#### 1.4.5.2. Kaynaklı Birleşimler

Aynı veya benzer alaşımlı metallerin, ısı etkisi altında birleştirilmeleri işlemine Kaynak adı verilir. Isı derecesinin, metallerin ergime noktasına kadar yükseltilmesiyle kaynak işlemi gerçekleştiriliyorsa Ergitme Kaynağı söz konusudur. Isı, metallerde plastik kıvam oluşturacak mertebede kalmışsa, bu durumda da Basınç Kaynağı yapılmış olur. Normal çelik yapılarda genellikle ergitme kaynağı yapılmaktadır.

Ergitme Kaynağında ısı, ya elektrik enerjisiyle (elektrik kapağı) veya yanıcı bir gaz aleviyle (gaz kaynağı) sağlanır. Çelik yapılarda, yük aktaran kaynaklı birleşimlerde hep elektrik kaynağından yararlanılır.

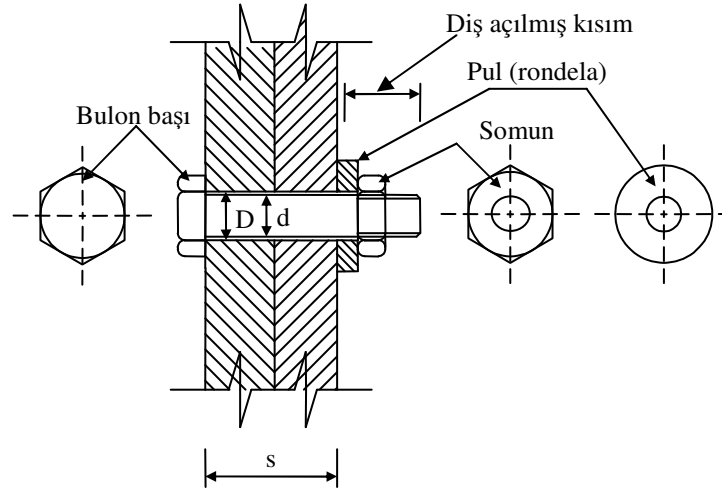
Parçaların, birbirlerine kaynaklanacak kısımlarının kızıl dereceye kadar (plastik kıvam) ısıtılıp basınç etkisi altında birleştirilmeleri Basınç Kaynağı veya Elektrik Direnç Kaynağı adını alır. Hafif çelik yapılarda uygulanır (DIN 4115). Bu kaynak türü nokta kaynağı veya kordon kaynağı şeklinde uygulanır.

Çelik yapılarda uygulanan elektrik kaynağı ile oluşturulan iki tür kaynak dikişi (kordonu) söz konusudur. Küt kaynak dikişi, aynı düzlemde bulunan iki çelik elemanın kaynaklanacak kenarlarının yan yana getirilip kaynaklanması sonucu ortaya çıkan kaynak dikişidir. Bu tür kaynak dikişinin oluşturabilmesi için kaynaklanacak kenarların muhakkak önceden işlenmesi gerekir ki, bu işleme kaynak ağzı açılması denir. Kaynak ağzı şekline

göre de küt kaynak kordonları isimlendirilir. Köşe kaynak dikişi, iki çelik elemanın birbirine dik veya en az  $60^\circ$  oluşturan yüzeyleri arasında çekilen kaynak dikişi köşe kaynak dikişi adını alır. Yüzeyler arasında açının  $60^\circ$  den küçük olması halinde yapılacak kaynak kordonun yük aktarmadığı varsayılır.

### 1.4.5.3. Bulonlu Birleşimler

Uç tarafındaki belli bir uzunluğunda spiral diş açılmış bir kısmı olan silindirik gövdeli ve altıgen başlıklı bir birleşim aracıdır. Bulonlar da önceden açılmış deliklere yerleştirilirler ve diş açılmış uca, altına pul (rondela) koymak suretiyle somun takılır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Bulonlu birleşimler

## 1.5. Depreme Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı

Depreme dayanıklı çelik yapı tasarımında iki temel kriter daima sağlanmak zorundadır. Bunlardan birincisi, bir yapı küçük sismik aktiviteler sırasında yapıda hasar meydana getirecek yer değiştirmeleri engellemek için yeterli rijitliği sahip olmalıdır. İkincisi ise, büyük bir deprem sırasında meydana gelebilecek aşırı bir yükleme durumunda göçmeyi önlemek için yeterli sünekliğe sahip olmalıdır (Malley ve Popov, 1984; Hjelmstad ve Popov, 1984). Bina türü çelik yapılarda bu iki kriter, başlıca üç taşıyıcı sistem ile sağlanmaya çalışılır. Bunlar;

- 1) Moment aktaran çerçeve sistemler
- 2) Merkezi çaprazlı çerçeve sistemler
- 3) Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler

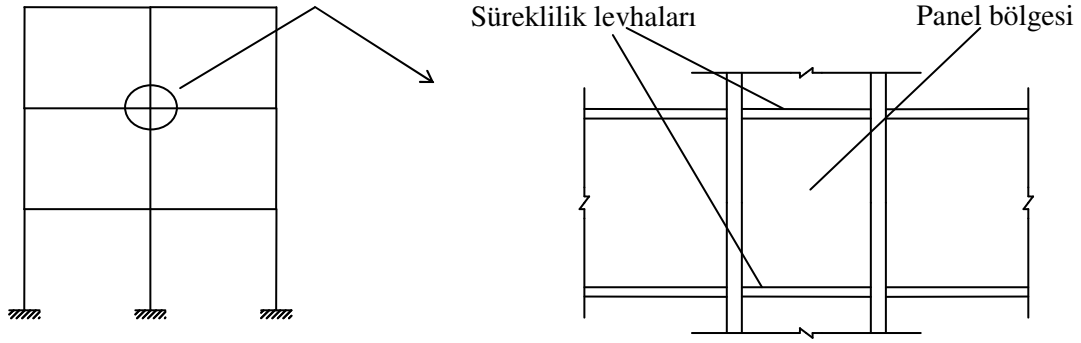
### 1.5.1. Moment Aktaran Çerçeve (MAÇ) Sistemler

MAÇ sistemlerin ana tasarım amacı, plastik mafsalların kirişlerde veya kolon-kiriş birleşimlerinde oluşması kolonlarda oluşmamasıdır. Böyle bir durum, ancak “zayıf kiriş-güçlü kolon” prensibi ile gerçekleştirilebilir. Bu şekilde tasarımı yapılan bir çerçeve sistemde yumuşak kat oluşumu engellenir. Ayrıca, kirişlerde oluşan plastik mafsallar kesitin bütün plastik moment kapasitesini kullanma avantajına sahip olur. Moment-eksenel yük etkileşiminden dolayı kolonlardaki mafsallar için durum böyle değildir. Kolonlarda oluşan mafsallar hem kolon hem de sistemin genel stabilitesi açısından problem oluşturabilmektedir. Bir kirişin uç noktasındaki kısmen göçme, kirişin mutlaka göçmesine sebep olmaz, göçse bile göçme yalnız bu kirişle sınırlı kalabilir. Ancak, kolondaki kısmen göçme yapının tamamen yıkılmasına sebep olabilir. Bununla birlikte, plastik mafsallar kolonlarda değilse, sistemde  $P-\Delta$  etkileri azalır.

Deprem dayanımı MAÇ sistemler ile sağlandığında, yatay yükler öncelikle kolon-kiriş birleşimleri ile taşınır. Bu birleşim noktalarında oluşacak gerilmeler oldukça fazladır. Bu nedenle birleşim hesap ve detaylandırması hassasiyetle yapılmalıdır.

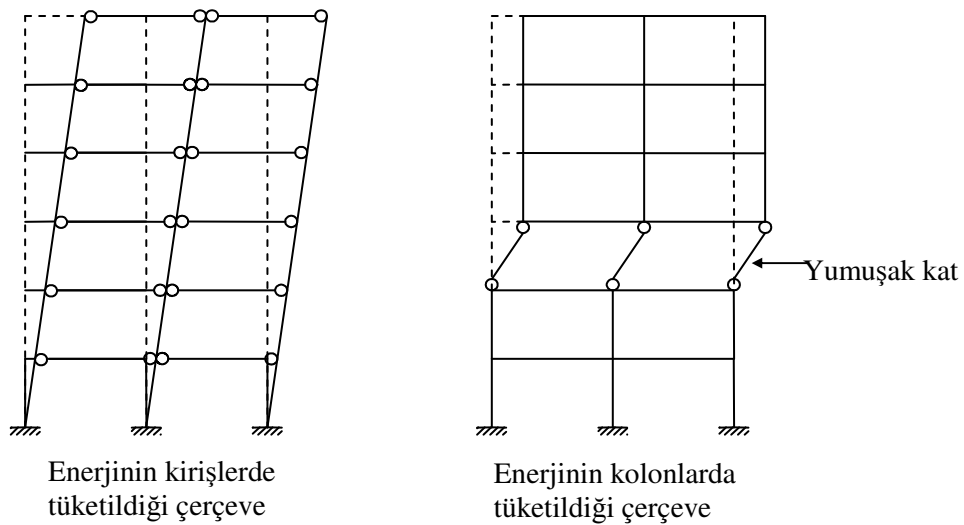
Bir MAÇ sistemin çalışma prensibi çerçevenin taşıma sınır durumundan önce deprem enerjisini yutacak şekilde deformasyona uğramasıdır. Bu deformasyonların emniyetli sınırlar içinde olabilmesi özellikle birleşim bölgesindeki sünek davranışa bağlıdır. Aynı prensip betonarme çerçeve yapılar için de geçerlidir.

Moment aktaran türde kolon-kiriş birleşimlerinde bir başka önemli bölge “panel bölgesi” dir. Panel bölgesi, birleşime giren kiriş başlıklarının hizasında üstten ve alttan sınırlı kolon gövdesidir. Bu bölge moment nedeniyle oluşan kesme kuvvetine karşı koyacak kayma mukavemetine sahip olmalıdır. Bunun için kayma bölgesinde takviye levhaları ve süreklilik levhaları kullanılabilir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. MAÇ sistemlerin kolon-kiriş birleşimlerinde panel bölgesi

MAÇ sistemlerde depremin binaya aktardığı enerjinin kolonlardan ziyade kirişlerde sarf edilmesi durumunda daha sünek bir çerçeve davranışı elde edilmektedir (Şekil 1.6). Yeterli sönüm için kiriş en kesitlerinin yerel burkulmayı geciktirecek şekilde seçilmesi gerekir.



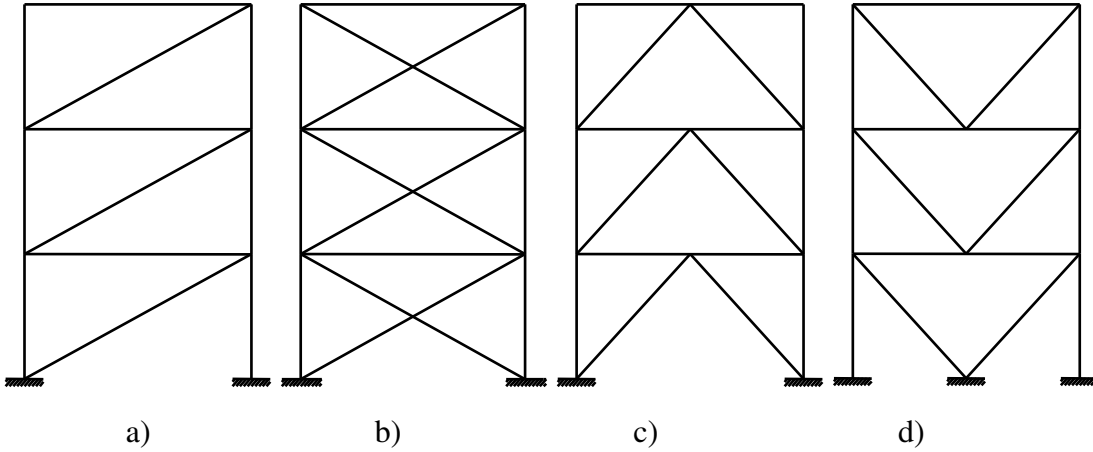
Şekil 1.6. MAÇ sistemlerde enerji tüketen durumlar



MAÇ sistemler ile oluşturulan binalar, iç mahal ve cephelerinde herhangi bir perde veya çapraz olmaması nedeniyle mimari avantajlar sağlamaktadır. Ancak kolon-kiriş birleşimlerinde oluşan detaylar sebebiyle bu sistem diğerlerine nazaran daha pahalı bir sistemlerdir.

### 1.5.2. Merkezi Çaprazlı Çerçeve (MÇÇ) Sistemler

MÇÇ sistemler, çapraz elemanların merkez çizgileri ana çerçevenin birleşim noktaları ile düzenli bir konfigürasyon içerisinde birleşerek düşey taşıyıcı sistem içinde bir tür düşey kafes sistem oluşturan sistemlerdir. Yatay deprem ve rüzgâr yükleri, bu düşey kafes sistem ile taşınır. MÇÇ sistemlerin tasarımındaki amaç, çekme altındaki çapraz elemanlarda enerji tüketen bölgeler oluşturmak, basınç altındaki çapraz elemanların ise burkulmasını sağlayarak kirişlerde ve kolonlarda göçme ve burkulmadan kaçınmayı sağlamaktır. Şekil 1.7’de sıklıkla kullanılan MÇÇ sistemlere örnekler verilmiştir. Diyagonal elemanlar olarak I-profil, boru, kare veya dikdörtgen kesitli profil, tek veya çift köşebent, U-profil kullanmak mümkündür.



Şekil 1.7. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemlere örnekler: a) Diyagonal Merkezi Çaprazlı Sistem b) X-Merkezi Çaprazlı Sistem c) V-Merkezi Çaprazlı Sistem d) Ters V-Merkezi Çaprazlı Sistem

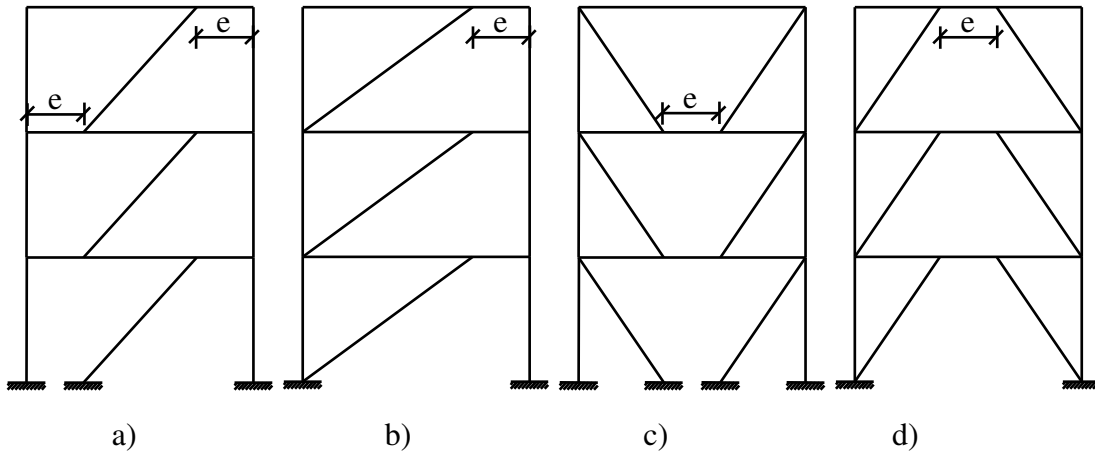
MÇÇ sistemler yüksek elastik yatay rijitiğe sahip yatay-yük taşıyıcı sistemlerdir. Çapraz elemanlar ve bunların birleşimleri, MÇÇ sistemlerin ana unsurlarını oluşturmaktadır. MÇÇ sistemlerin sünek davranış sergileyebilmesi için diagonal çapraz elemanların tekrarlı elastik olmayan yükleme süresince dayanım ve rijitliklerini önemli ölçüde kaybetmeden büyük deformasyon yapabilmeleri gerekmektedir. Çapraz elemanın

bu davranışında etkili üç önemli faktör; çapraz elemanın narinliği, mesnet koşulları ve kesittir. Çapraz elemanın narinliği azaldıkça elastik olmayan çevrimsel davranış iyileşmektedir. Yani tekrarlı yükler altında çapraz elemanın enerji yutma kapasitesi narinliğin azalması ile artmaktadır. Bu tip sistemler, MAÇ sistemlerden daha fazla elastik yatay rijitliğe sahiptirler (Deren vd., 2003).

MÇÇ sistemler, yanal yük karşılama konusunda oldukça iyi performans sergilemektedir. Bununla birlikte, çapraz elemanlar daima çekme kuvveti altında çalışacak şekilde tasarımı yapılan MÇÇ sistemler genellikle rüzgâr yüklerini doğrusal elastik bölgede kalarak taşıyabilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Her ne kadar bu tür MÇÇ sistemleri deprem yüklerine karşı koymak üzere kullanılmış olsalar da, bu sistemlerin elastik olmayan çevrimsel davranışları yeterli olmamaktadır.

### 1.5.3. Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve (DÇÇ) Sistemler

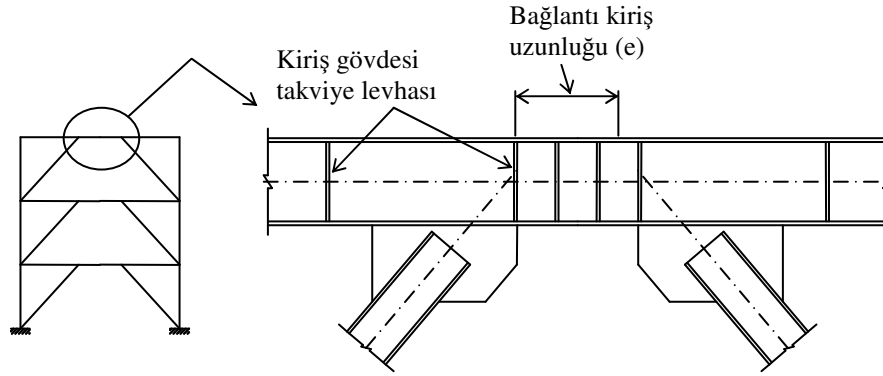
Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler mükemmel bir süneklik ve enerji yutma kapasitesine sahiptirler. Aynı zamanda merkezi çaprazlı sistemlere has yatay rijitliğe çok yakın yatay rijitlik sergilerler. Şekil 1.8'de yaygın olarak kullanılan dışmerkez çapraz sistem çeşitleri verilmiştir. Bunlar arasında Ters V formu, kolonlarda yüksek momentleri engellediği için en çok tercih edilmektedir.



Şekil 1.8. Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere örnekler: a) Diyagonal Dışmerkez Çaprazlı Sistemler b) Diyagonal Dışmerkez Çaprazlı Sistemler c) V-Dışmerkez Çaprazlı Sistem d) Ters V-Dışmerkez Çaprazlı Sistem

DÇÇ sistemler, yüksek elastik rijitliğe, çevrimsel yatay yükler altında kararlı elastik olmayan bir davranışa ve mükemmel bir süneklik ile enerji yutma kapasitesine sahiptirler.

Bu sebeple, yüksek sismik aktivitelerin olduğu bölgeler için oldukça uygun taşıyıcı sistemlerdir. DÇÇ sistemlerin MÇÇ sistemlerden ayıran en belirgin ve ayırıcı özelliği, çapraz elemanın en az bir ucunun, kirişe “Bağlantı Kirişi” adı verilen bir parça oluşturacak şekilde bağlanmasıdır (Şekil 1.9). Elastik olmayan davranış bu bağlantı elemanı üzerinde sınırlandırılır. Bu özelliği sebebiyle bu eleman bir tür “sünek sismik sigorta”dır (Deren vd., 2003).



Şekil 1.9. DÇÇ sistemlerde bağlantı kirişi

Bağlantı kirişinin büyük plastik kayma şekil değiştirmesi yapmasına imkân verilerek enerji yutması sağlanır ve aşırı deprem yükleri altında çapraz elemanların burkulması önlenir. Bağlantı kiriş boyu azaltıldığında DÇÇ sistem, MÇÇ sistemlerin karakteristiğine yaklaşımaya başlar ve rijitliği artar. Bağlantı kiriş boyu artırıldığında ise DÇÇ sistem, MAÇ sistem karakteristiğine yaklaşımaya başlar ve sünekliği artar.

Bağlantı kirişlerinin boyu ve kesit özellikleri büyük öneme sahiptir. Aşırı deprem yükleri altında bağlantı kirişlerinin yüksek süneklikle büyük plastik deformasyonlar yapabilmeleri istenmektedir. Böylece, kirişlerin, kolonların, çaprazların ve bu elemanların birleşim noktalarının elastik bölgede kalmaları sağlanarak çapraz elemanların burkulmaları önlenmektedir. Eğer önlem alınmazsa bağlantı kirişleri tekrarlı yüklere karşı koyacak kapasiteye sahip değildirler. Yük taşıma kapasiteleri gövde burkulması sebebiyle önemli derecede azalmaktadır. Bu sebeple, gövde burkulmasını önleyecek şekilde bağlantı kirişlerine gövde takviye levhaları yerleştirilmektedir (Şekil 1.9).

## 1.6. Zaman Tanım Alanında Lineer Dinamik Hareket Denklemleri

Bir sistemin dinamik hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{P\} \quad (1.1)$$

Bu denklemde;

$[M]$  ; sistemin kütle matrisi,

$[C]$  ; sistemin sönüm matrisi,

$[K]$  ; sistemin rijitlik matrisi,

$\{U\}$  ; sistemin yer değiştirme vektörü,

$\{\dot{U}\}$  ; sistemin hız vektörü,

$\{\ddot{U}\}$  ; sistemin ivme vektörü,

$\{P\}$  ; dış yük vektörüdür.

### 1.6.1. Doğal Frekans ve Modların Hesabı

Sönümsüz bir sistemin serbest titreşimi için (1.1) hareket denklemi

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = \{0\} \quad (1.2)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemin çözümü

$$\{U\} = A \cos(\omega_n t) + B \sin(\omega_n t) \quad (1.3)$$

şeklindedir. Burada A ve B başlangıç şartlarından elde edilir. Bununla birlikte,  $\alpha$  faz açısı;  $\omega_n$  doğal açısal frekans ve  $\{\phi\}$  hareketin genlik vektörü olmak üzere sönümsüz bir sistemin serbest titreşimi için çözüm

$$\{U\} = \{\phi\} \cos(\omega_n t - \alpha) \quad (1.4)$$

şeklinde yazılabilir. (1.4) denkleminde

$$\{\ddot{U}\} = -\omega_n^2 \{\phi\} \cos(\omega_n t - \alpha) \quad (1.5)$$

elde edilir. (1.4) ve (1.5) denklemleri (1.2) denkleminde yerine konursa

$$-\omega_n^2 [M] \{\phi\} \cos(\omega_n t - \alpha) + [K] \{\phi\} \cos(\omega_n t - \alpha) = \{0\} \quad (1.6)$$

elde edilir. Bu denklem düzenlenirse

$$([K] - \omega_n^2 [M]) \{\phi\} = \{0\} \quad (1.7)$$

*Karakteristik Özdeğer Denklemi* elde edilir. Bu denklemden titreşim elde edilebilmesi için  $\{\phi\}$ 'nin sıfırdan farklı olması gerekir. Sıfırdan farklı bir matris ile bir vektörün çarpımlarının sıfır olmasının tek yolu, matrisin tersinin bulunamaması, yani bunun tekil bir matris olmasıdır. Bir matrisin tekil olabilmesi için ise, determinantının sıfır olması gerekmektedir. Buna göre;

$$|[K] - \omega_n^2 [M]| = 0 \quad (1.8)$$

elde edilir. Burada  $\omega_n^2 = \lambda$  alınırsa (1.8) denklemleri

$$|[K] - \lambda [M]| = 0 \quad (1.9)$$

şekline gelir. Bu denklemin titreşim analizinde çok önemli bir yeri vardır ve *Özdeğer Denklemi veya Frekans Denklemi* olarak adlandırılmaktadır. Bu denklemdeki determinant işlemi gerçekleştirilirse aşağıdaki gibi  $\lambda$ 'ya bağlı n. dereceden bir polinom elde edilir.



$$\{\phi\}_i^T [K] \{\phi\}_j = 0 \quad i \neq j \quad (1.13)$$

$$\{\phi\}_i^T [C] \{\phi\}_j = 0 \quad i \neq j \quad (1.14)$$

Mod vektörlerinin hesabında, elemanların oranı sabit kalmak üzere, değişik çözümler elde edilebilir. Mod şekilleri aynı olduğu halde farklı genlikler elde edilebilir. Bu keyfilik bir normalleştirme işlemi ile ortadan kaldırılabilir. Hesap kolaylığı bakımında genellikle bütün genlikler en büyük genlik esas alınarak normalize edilir. Bununla birlikte, diğer bir normalleştirme işleminde ise, kütle matrisinin aynı mod vektörü ile sağ ve soldan çarpılarak sonucun birim olması sağlanır. Yani

$$\{\phi\}_i^T [M] \{\phi\}_i = 1 \quad (1.15)$$

şeklinde. Normalleştirilmiş modlar;

$$\Phi_{ij} = \frac{\phi_{ij}}{\sqrt{\{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j}} \quad (1.16)$$

şeklinde elde edilir. Böylece modlar normalleştirilir.

$$\{\phi\}_j = \begin{Bmatrix} \phi_{1j} \\ \phi_{2j} \\ \vdots \\ \phi_{ij} \\ \vdots \\ \phi_{nj} \end{Bmatrix} \Rightarrow \{\Phi\}_j = \begin{Bmatrix} \Phi_{1j} \\ \Phi_{2j} \\ \vdots \\ \Phi_{ij} \\ \vdots \\ \Phi_{nj} \end{Bmatrix}$$

j. mod vektörü  j. normalleştirilmiş mod vektörü

Mod vektörlerinden oluşan matrise *Modal Matris*, normalleştirilmiş mod vektörlerinden oluşan matrise de *Normalleştirilmiş Modal Matris* adı verilir. n serbestlik dereceli bir sistem için modal matrisler aşağıdaki gibidir.

Modal matris	Normalleştirilmiş modal matris
$[\Phi] = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1i} & \cdots & \phi_{1n} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2i} & \cdots & \phi_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \phi_{i1} & \phi_{i2} & \cdots & \phi_{ii} & \cdots & \phi_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \phi_{n1} & \phi_{n2} & \cdots & \phi_{ni} & \cdots & \phi_{nn} \end{bmatrix}$	$[\Phi] = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \cdots & \Phi_{1i} & \cdots & \Phi_{1n} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \cdots & \Phi_{2i} & \cdots & \Phi_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \Phi_{i1} & \Phi_{i2} & \cdots & \Phi_{ii} & \cdots & \Phi_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \Phi_{n1} & \Phi_{n2} & \cdots & \Phi_{ni} & \cdots & \Phi_{nn} \end{bmatrix}$
$\begin{matrix} \downarrow & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \text{1.mod} & \text{2.mod} & & \text{i.mod} & & \text{n.mod} \end{matrix}$	

Normalleştirme işleminin doğruluğu

$$[\Phi]^T [M] [\Phi] = [I] \quad (1.17)$$

bağıntısıyla kontrol edilebilir. Burada  $[I]$  birim matrisidir.

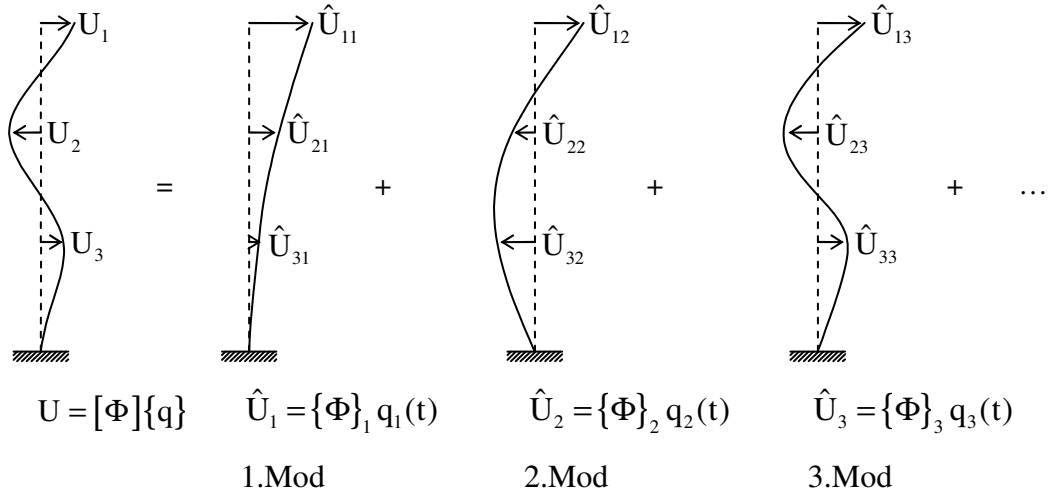
### 1.6.2. Mod Süperpozisyon Yöntemi

(1.1) denklemi ile verilen dinamik hareket denkleminin çözümünün

$$\{U\} = [\Phi] \{q\} \quad (1.18)$$

şeklinde olduğunu kabul edebiliriz. Burada;  $[\Phi]$  normalleştirilmiş modal matris,  $\{q\}$  modal koordinatlardır. (1.18) denklemi ile verilen çözüm, Şekil 1.10'daki gibi düşünülebilir.





Şekil 1.10. Mod süperpozisyon yöntemi

(1.18) denklemi açık olarak yazılırsa aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\{U\} = \{\Phi\}_1 q_1(t) + \{\Phi\}_2 q_2(t) + \{\Phi\}_3 q_3(t) + \dots + \{\Phi\}_n q_n(t) = \sum_{r=1}^n \{\Phi\}_r q_r(t) \quad (1.19a)$$

veya

$$\begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \vdots \\ U_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \\ \Phi_{31} \\ \vdots \\ \Phi_{n1} \end{Bmatrix} q_1(t) + \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \\ \Phi_{32} \\ \vdots \\ \Phi_{n2} \end{Bmatrix} q_2(t) + \begin{Bmatrix} \Phi_{13} \\ \Phi_{23} \\ \Phi_{33} \\ \vdots \\ \Phi_{n3} \end{Bmatrix} q_3(t) + \dots + \begin{Bmatrix} \Phi_{1n} \\ \Phi_{2n} \\ \Phi_{3n} \\ \vdots \\ \Phi_{nn} \end{Bmatrix} q_n(t) \quad (1.19b)$$

veya matris formda

$$\begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \vdots \\ U_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Phi_{13} & \dots & \Phi_{1r} & \dots & \Phi_{1n} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \Phi_{23} & \dots & \Phi_{2r} & \dots & \Phi_{2n} \\ \Phi_{31} & \Phi_{32} & \Phi_{33} & \dots & \Phi_{3r} & \dots & \Phi_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \Phi_{n1} & \Phi_{n2} & \Phi_{n3} & \dots & \Phi_{nr} & \dots & \Phi_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ \vdots \\ q_n \end{Bmatrix} \quad (1.19c)$$

Normalleştirilmiş modal matris

Modal koordinatlar

(1.18) nolu denklem ve onun birinci ve ikinci türevleri (1.1) nolu denklemde yerine yazılırsa;

$$[M][\Phi]\{\ddot{q}\} + [C][\Phi]\{\dot{q}\} + [K][\Phi]\{q\} = \{P\} \quad (1.20)$$

elde edilir. (1.20) denkleminin her iki tarafı  $\{\Phi\}_r^T$  ile çarpılırsa;

$$\{\Phi\}_r^T [M][\Phi]\{\ddot{q}\} + \{\Phi\}_r^T [C][\Phi]\{\dot{q}\} + \{\Phi\}_r^T [K][\Phi]\{q\} = \{\Phi\}_r^T \{P\} \quad (1.21)$$

elde edilir. (1.12), (1.13) ve (1.14) denklemleriyle verilen titreşim modlarının ortogonalite şartı dikkate alınır (1.21) denklemi şu hale gelir;

$$\{\Phi\}_r^T [M]\{\Phi\}_r \ddot{q}_r(t) + \{\Phi\}_r^T [C]\{\Phi\}_r \dot{q}_r(t) + \{\Phi\}_r^T [K]\{\Phi\}_r q_r(t) = \{\Phi\}_r^T \{P\} \quad (1.22)$$

veya

$$M_r \ddot{q}_r(t) + C_r \dot{q}_r(t) + K_r q_r(t) = P_r \quad (1.23)$$

Burada

$M_r = \{\Phi\}_r^T [M]\{\Phi\}_r$  ; r. Genelleştirilmiş kütle,

$C_r = \{\Phi\}_r^T [C]\{\Phi\}_r$  ; r. Genelleştirilmiş sönüm,

$K_r = \{\Phi\}_r^T [K]\{\Phi\}_r$  ; r. Genelleştirilmiş rijitlik,

$P_r = \{\Phi\}_r^T \{P\}$  ; r. Genelleştirilmiş kuvvet olarak adlandırılmaktadır.

(1.23) denklemi, açısal frekansı  $\omega_r = \sqrt{\frac{K_r}{M_r}}$  olan TSD bir sistemin hareket denklemi

haline gelir. (1.23) denkleminin her iki tarafı  $M_r$ 'ye bölünecek olursa

$$\ddot{q}_r(t) + 2\xi_r \omega_r \dot{q}_r(t) + \omega_r^2 q_r(t) = \frac{P_r}{M_r} \quad (1.24)$$

elde edilir.  $\{\Phi\}_r$  normleştirilmiş mod olduğuna göre  $\{\Phi\}_r^T [M] \{\Phi\}_r = 1$  demektir. Yani  $M_r = 1$  olur. Buna göre (1.24) denklemi

$$\ddot{q}_r(t) + 2\xi_r \omega_r \dot{q}_r(t) + \omega_r^2 q_r(t) = P_r \quad (1.25)$$

haline gelir. Burada;  $\omega_r$  r. titreşim moduna karşılık gelen açısal frekans ve  $q_r(t)$ ; r. titreşim moduna ait modal koordinatlardır.

Özetlenecek olursa; n serbestlik dereceli bir sistemin n tane açısal frekansı ( $\omega_n$ ) mevcuttur. Her bir açısal frekans için (1.25) denklemi çözülerek  $q(t)$  modal koordinatlar elde edilir. Daha sonra (1.18) denklemi yardımıyla genel çözüm elde edilir. Yani;

- $\omega_1$  için  $\{\Phi\}_1$  elde edilir. Buna göre  $\ddot{q}_1(t) + 2\xi_1 \omega_1 \dot{q}_1(t) + \omega_1^2 q_1(t) = P_1$  denkleminin çözümünden  $q_1(t)$  elde edilir.
- $\omega_2$  için  $\{\Phi\}_2$  elde edilir. Buna göre  $\ddot{q}_2(t) + 2\xi_2 \omega_2 \dot{q}_2(t) + \omega_2^2 q_2(t) = P_2$  denkleminin çözümünden  $q_2(t)$  elde edilir.
- $\omega_3$  için  $\{\Phi\}_3$  elde edilir. Buna göre  $\ddot{q}_3(t) + 2\xi_3 \omega_3 \dot{q}_3(t) + \omega_3^2 q_3(t) = P_3$  denkleminin çözümünden  $q_3(t)$  elde edilir.
- $\vdots$
- $\omega_n$  için  $\{\Phi\}_n$  elde edilir. Buna göre  $\ddot{q}_n(t) + 2\xi_n \omega_n \dot{q}_n(t) + \omega_n^2 q_n(t) = P_n$  denkleminin çözümünden  $q_n(t)$  elde edilir.

Modal koordinatlar bulunduktan sonra;

$$U_1(t) = \Phi_{11}q_1(t) + \Phi_{12}q_2(t) + \Phi_{13}q_3(t) + \dots + \Phi_{1n}q_n(t)$$

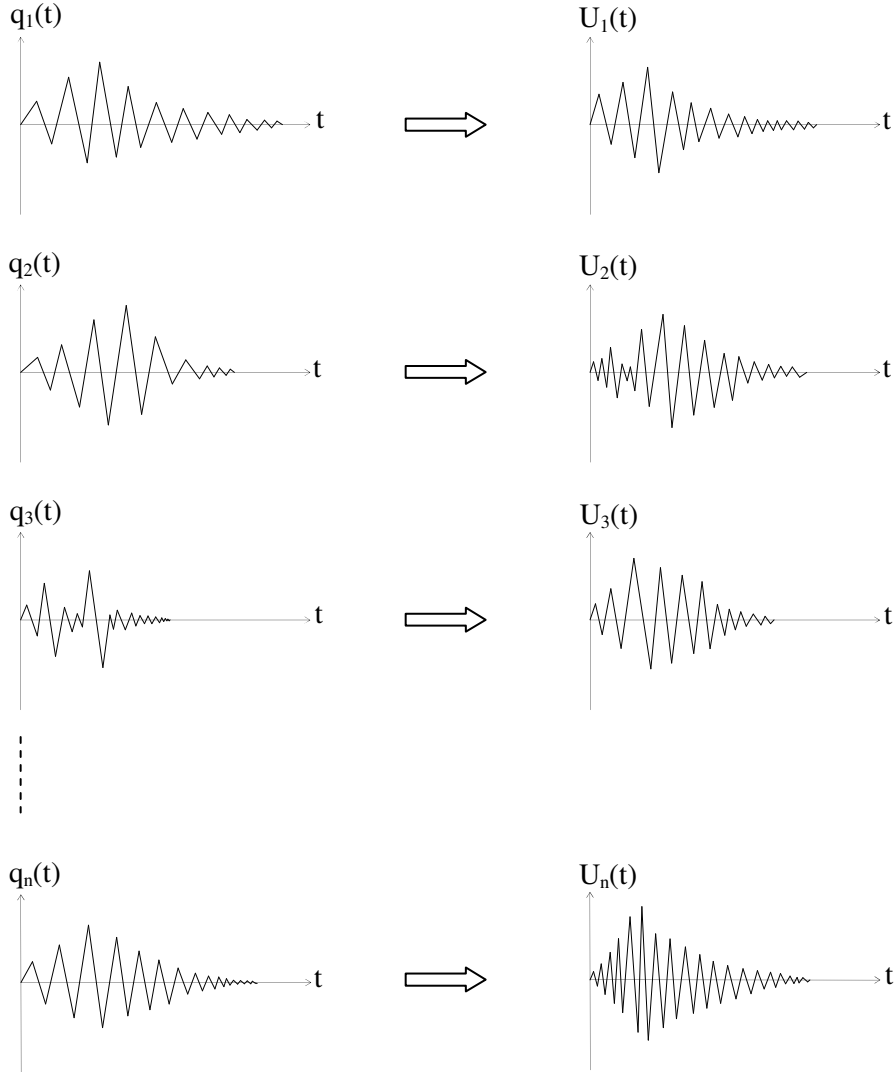
$$U_2(t) = \Phi_{21}q_1(t) + \Phi_{22}q_2(t) + \Phi_{23}q_3(t) + \dots + \Phi_{2n}q_n(t)$$

$$U_3(t) = \Phi_{31}q_1(t) + \Phi_{32}q_2(t) + \Phi_{33}q_3(t) + \dots + \Phi_{3n}q_n(t)$$

⋮

$$U_n(t) = \Phi_{n1}q_1(t) + \Phi_{n2}q_2(t) + \Phi_{n3}q_3(t) + \dots + \Phi_{nm}q_m(t)$$

veya kısaca (1.18) denkleminle, yani  $\{U\} = [\Phi]\{q\}$ , genel çözüm elde edilir. Bu çözüm şematik olarak Şekil 1.11'de verilmiştir.



Şekil 1.11. Mod süperpozisyon yönteminde modal koordinatlar ve çözüm

### 1.7. SAP2000’de Zaman Tanım Alanında Lineer Olmayan Dinamik Analiz

SAP2000’de önceden tanımlı lineer olmayan elemanlara sahip lineer elastik bir yapının dinamik hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K_L]\{U\} + \{P_N\} = \{P\} \quad (1.26)$$

Bu denklemde;

$[M]$  ; sistemin kütle matrisi,

$[C]$  ; sistemin sönüm matrisi,

$[K_L]$  ; lineer olmayan bağlantı elemanları hariç lineer elastik elemanların rijitlik matrisi,

$\{U\}$  ; sistemin yer değiştirme vektörü,

$\{\dot{U}\}$  ; sistemin hız vektörü,

$\{\ddot{U}\}$  ; sistemin ivme vektörü,

$\{P\}$  ; dış yük vektörüdür.

$\{P_N\}$  ; lineer olmayan bağlantı elemanlarındaki lineer olmayan serbestlik derecesinden doğan yük vektörüdür.

Lineer olmayan elemanların her serbestlik derecesi için bir lineer efektif rijitlik tanımlanmıştır. Bu rijitlik değeri keyfi bir değerdir ancak genellikle “0” ile maksimum lineer olmayan rijitlik arasında değişmektedir. Buna göre (1.26) denklemi tekrar yazılacak olursa;

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{P\} - (\{P_N\} - [K_N]\{U\}) \quad (1.27)$$

elde edilir. Burada  $[K] = [K_L] + [K_N]$  şeklindedir.  $[K_L]$ ; lineer olmayan bağlantı elemanlarının lineer serbestlik dereceleri için ve bütün lineer elastik elemanların rijitlik matrisidir.  $[K_N]$  ise bütün lineer olmayan serbestlik dereceleri için lineer efektif rijitlik matrisidir.

## 1.8. SAP2000 Yapısal Analiz Programı ile Çerçeve Analizi

SAP2000 yapısal analiz programı, statik, dinamik ve deprem mühendisliği için her türden yapının sonlu eleman yöntemiyle üç boyutlu lineer ve lineer olmayan analizi ve boyutlandırılmasını yapan bir yazılımdır. SAP2000 ile bir, iki ve üç boyutlu elemanlar ile mühendislik problemleri çözülebilmektedir.

SAP2000’de düzlem çerçeve sistemlerin analizi genellikle bir boyutlu çubuk (frame) elemanlar ile yapılmaktadır. Bununla birlikte, iki ve üç boyutlu elemanlarla da çözüm yapılabilmektedir. Düzlem bir çerçevenin analizi çubuk elemanlar ile yapıldığında yalnızca çubuklara ait kesit tesirleri elde edilebilmektedir. Kolon-kiriş birleşim detayları bu kesit tesirlerine göre şekillendirilir. Aynı çerçeve sistem, iki boyutlu kabuk (shell) elemanlar ile modellendiğinde ve birleşim noktalarında lineer olmayan elemanlar kullanıldığında, kabuk elemanlardaki gerilmeler ve birleşim noktalarındaki bulon ve kaynak kuvvetlerine direkt olarak ulaşılabilmektedir.

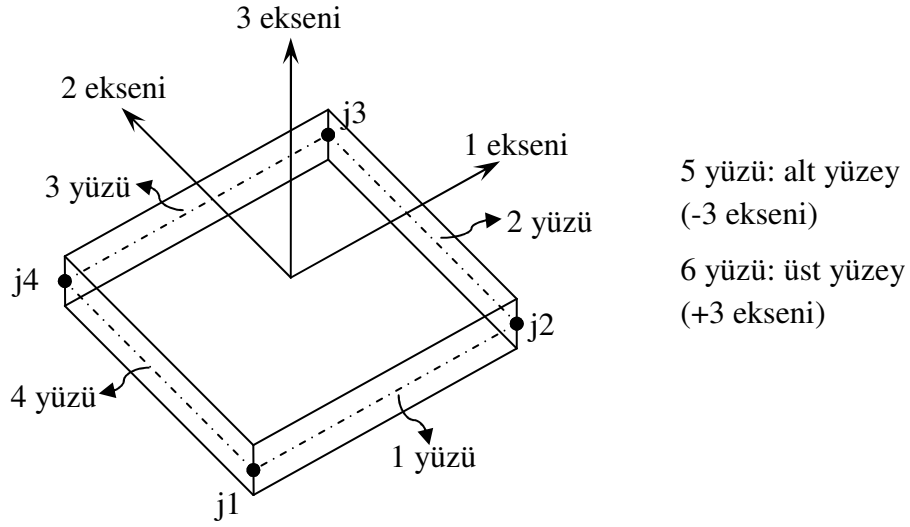
Bu sebeple, bu tez çalışmasında çeşitli düzlem çelik çerçeveler kabuk elemanlarla modellenmiştir. Birleşim noktalarında lineer olmayan bağlantı elemanları kullanılmıştır.

### 1.8.1. SAP2000’de Kabuk Eleman (Shell Element)

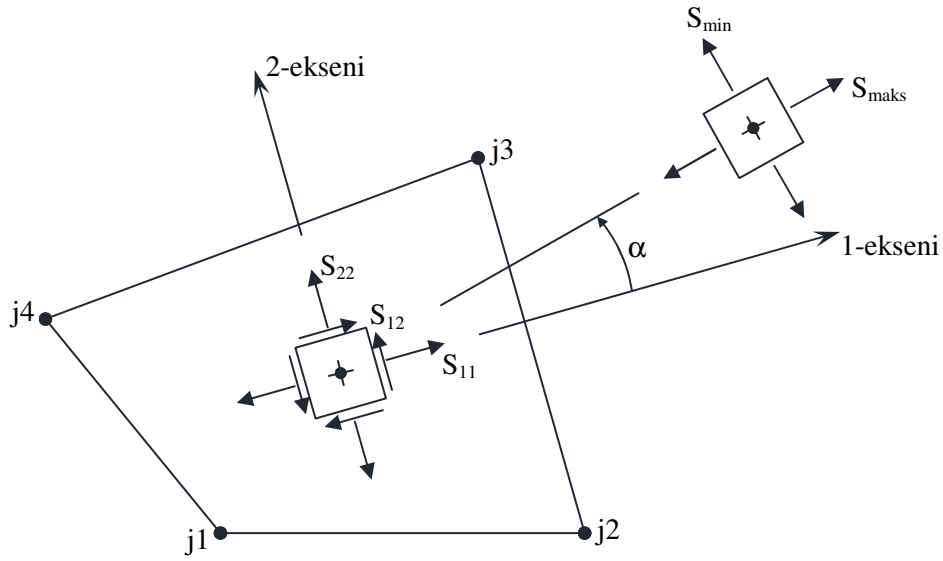
SAP2000’de kabuk eleman (Shell Element), iki ve üç boyutlu yapılarda kabuk, plak ve zar (membrane) eleman davranışını modellemek için kullanılmaktadır. Sıvı tankları ve kubbe gibi üç boyutlu kabuklar, döşeme gibi plak türü yapılar ve kayma duvarı gibi zar yapılar bu elemanlar yardımıyla modellenebilmektedir.

Kabuk elemanlar kullanılarak yapı modellerinin doğru oluşturulabilmesi için kabuk elemanlardaki yerel eksen takımlarının ve yüzey numaralarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Kabuk elemanda yerel eksenler 1, 2 ve 3 numaraları ile temsil edilmektedir. Kabuk elemanın 3-ekseni daima yüzeye diktir.  $j_1$ ,  $j_2$ ,  $j_3$  ve  $j_4$  düğüm noktalarının saat ibresinin tersi yönünde oluşturulması halinde bu eksen kullanıcıya doğrudur. 2 ve 3-eksenlerinin yönleri ise, 3-ekseninin ve genel eksen takımında Z-ekseninin yönüne bağlıdır. 2 ve 3-ekseninin oluşturduğu düzlem Z-eksenine daima paraleldir. Z-eksenin yatay olmadığı durumda ise 2-ekseni yukarı yönlüdür. 1-ekseni genel eksen takımında X-Y düzlemi içerisindedir (Şekil 1.12).

Kabuk elemanda gerilmeler,  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{13}$  ve  $S_{23}$  şeklindedir (Şekil 1.13).



Şekil 1.12. Dört düğüm noktalı kabuk eleman



Şekil 1.13. Kabuk elemanda gerilmeler

### 1.8.2. SAP2000'de Lineer Olmayan Bağlantı Elemanı (Nlink Element)

Lineer olmayan bağlantı elemanı, boşluk (gap), sönümleyici ve izolator gibi yerel yapısal lineer olmama durumlarını modellemek için kullanılmaktadır. SAP2000'de bu elemanın lineer olmayan davranışı, yalnızca lineer olmayan zaman tanım analizlerinde

dikkate alınmaktadır. Diğer bütün analizlerde lineer olmayan bağlantı elemanı lineer davranış sergilemektedir.

Lineer olmayan bağlantı elemanı, tek bir düğüm noktasına bağlı yay veya iki düğüm noktalı bir bağlantı elemanı olabilir. Her iki eleman için özellikler aynı şekilde tanımlanmaktadır.

Her elemanın 6 ayrı yaydan oluştuğu ve bu yayların 6 serbestlik dereceli olduğu kabul edilmektedir. Bu yayların her biri aşağıdaki iki özelliğe sahiptir;

- Bütün lineer analizler için lineer efektif rijitlik ve sönüm mevcuttur.
- Lineer olmayan kuvvet-deformasyon bağıntısı sadece doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizlerde kullanılmaktadır.

Efektif rijitlik ve efektif sönüm özellikleri lineer analizler için tanımlanabilmektedir. Lineer analizler arasında; statik analiz, P delta analizi, modal analiz, hareketli yük analizi, tepki spektrumu analizi, harmonik kararlı hal analizi ve periyodik zaman tanım alanı analizi yer almaktadır. Lineer efektif sönüm özelliği sadece tepki spektrumu analizleri ve lineer zaman tanım alanı analizlerinde kullanılmaktadır. Efektif sönüm, lineer olmayan zaman tanım alanı analizlerinde hiçbir zaman kullanılmamaktadır.

Bu eleman ile modellenebilen lineer olmayan davranışlar aşağıda verilmiştir;

- Viskoelastik sönüm
- Boşluk (sadece basınç) ve kanca (sadece çekme)
- Tek eksenli plastisite
- İki eksenli plastik taban izolatörü
- Sürtünmeli sarkaç tipi taban izolatörü

Aşağıda lineer efektif rijitliğin seçiminde dikkat edilecek hususlar verilmiştir.

- UBC'94 yönetmeliğine göre analizler yapıldığı zaman, efektif rijitlik genellikle bu yönetmelikte tanımlı maksimum efektif alınmalıdır.
- Boşluk ve kanca elemanları için efektif rijitlik çoğunlukla "0" veya "k" olmalıdır.
- Sönümleyici elemanlar için efektif rijitlik çoğunlukla "0" olmalıdır.
- Diğer elemanlar için efektif rijitlik "0" ile "k" arasında olmalıdır.
- Eğer suni olarak k değeri çok büyük seçilirse, lineer olmayan zaman tanım alanı analizlerinde sayısal problemlerden kurtulmak için  $k_e$  için çok daha küçük değerler alınmalıdır.



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Giriş

Bu tez çalışmasında, bir boyutlu çubuk elemanlardan teşkil edilebilecek moment aktaran çerçeve ile merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler, kabuk elemanlar (shell elements) ile modellenerek zaman tanım alanında analiz edilmiştir. Çalışmada, çerçevelerin kolon-kiriş birleşimleri doğrusal olmayan bağlantı (non-linear link) elemanlarıyla modellenmiştir.

Bu amaçla moment aktaran çerçeve ile çeşitli merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler SAP2000 programı ile modellenmiştir. Çapraz elemanlar ile çerçeve sistem elemanlarında zorlanan bölgelerin yerlerindeki değişimleri görmek, dışmerkez çapraz elemanlarda bağ kirişlerinde meydana gelen kayma gerilmelerindeki değişimleri incelemek amacıyla modellemede kabuk elemanlar kullanılmıştır.

### 2.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çerçeve Sistemlerde Kolon-Kiriş Birleşim Detayları

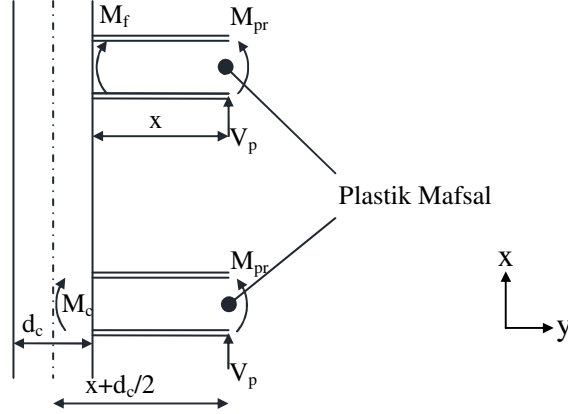
Çelik taşıyıcı sistemler deprem enerjisini sistem içerisinde harcama kapasitelerine göre süneklik düzeyi yüksek sistemler ve süneklik düzeyi normal sistemler olarak iki sınıfta incelenirler. Sistem sünekliğinin yüksek veya normal olması eleman narinlikleri, kiriş dönme kapasiteleri, birleşim detayları vs. ile ilgili standartlarca belirtilen bazı kurallara göre değişmektedir.

Bu tez çalışmasında, süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerin kolon-kiriş birleşimleri için bulonlu birleşimler tercih edilmiştir. Bu kısımda verilen süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeve sistemlerde kolon-kiriş birleşim detayları ile ilgili bütün formüller ve şekiller Deren vd. (2003)'ten alınmıştır.

Şekil 2.1'de görülen kolon-kiriş birleşiminde, kolon başlık yüzeyindeki moment ( $M_f$ ) ve kolon ağırlık eksenini üzerindeki moment ( $M_c$ ) aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanmaktadır;

$$M_f = M_{pr} + V_p \cdot x \quad (2.1)$$

$$M_c = M_{pr} + V_p (x + d_c / 2) \quad (2.2)$$



Şekil 2.1. Kolon-kiriş birleşiminde, kolon başlık yüzeyindeki moment ( $M_f$ ) ve kolon ağırlık eksenini üzerindeki moment ( $M_c$ )

$M_{pr}$  kiriş üzerinde muhtemel plastik mafsal oluşum noktasında kiriş kesitinin plastik moment taşıma kapasitesidir ve

$$M_{pr} = W_p \cdot \sigma_y \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada  $\sigma_y$  malzemenin akma sınır gerilmesini ifade etmektedir.  $W_p$  ise plastik mafsal noktasında kiriş kesitinin etkin plastik modülü olup,

$$W_p = 2.S_x \quad (2.4)$$

bağıntısıyla elde edilmektedir. Burada  $S_x$  ele alınan kesitin (x-x) asal eksenine göre statik momentini göstermektedir.

(2.1) ve (2.2) denklemlerinde yer alan plastik mafsal noktasındaki  $V_p$  kesme kuvveti, gravitasyonel yükler hesaba katılarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$V_p = \frac{M_{pr} + M_{pr} + Pl'/2 + wl'^2/2}{l'} \quad (2.5)$$

Burada P ve w sırasıyla kiriş üzerine etkiyen tekil ve yayılı yükü göstermektedir.

### 2.2.1. Bağlantı Kiriş Uzunluğu (e)

Bağlantı kirişleri Eurocode 8 (2003)'e göre kısa, orta ve uzun olarak gösterilmiştir. Kısa bağlantı kirişlerinin davranışı kaymadan kaynaklanan plastikleşmelere, uzun bağlantı kirişinin davranışı ise eğilmeden kaynaklanan plastikleşmelere bağlıdır. Ancak kısa bağlantı kirişleri, yüksek enerji yutma kapasiteleri sebebiyle diğerlerine tercih edilirler.

Kısa uzunlukta bağlantı kirişleri için e uzunluğu;

$$e \leq 1,6 \frac{M_{pr}}{V_p} \quad (2.6)$$

orta uzunluktaki bağlantı kirişleri için e uzunluğu;

$$1,6 \frac{M_{pr}}{V_p} < e < (2,5 \sim 3,0) \frac{M_{pr}}{V_p} \quad (2.7)$$

uzun bağlantı kirişleri için e uzunluğu;

$$e \geq (2,5 \sim 3,0) \frac{M_{pr}}{V_p} \quad (2.8)$$

şeklindedir. Bu ifadelerdeki  $M_{pr}$  bağlantı kirişinin plastik moment taşıma kapasitesini ifade etmekte olup (2.3) denklemiyle verilmiştir.  $V_p$  değeri, bağlantı kirişinin kesme kuvveti taşıma gücünü göstermektedir ve

$$V_p = 0,55 \cdot \sigma_y \cdot d \cdot t_w \quad (2.9)$$

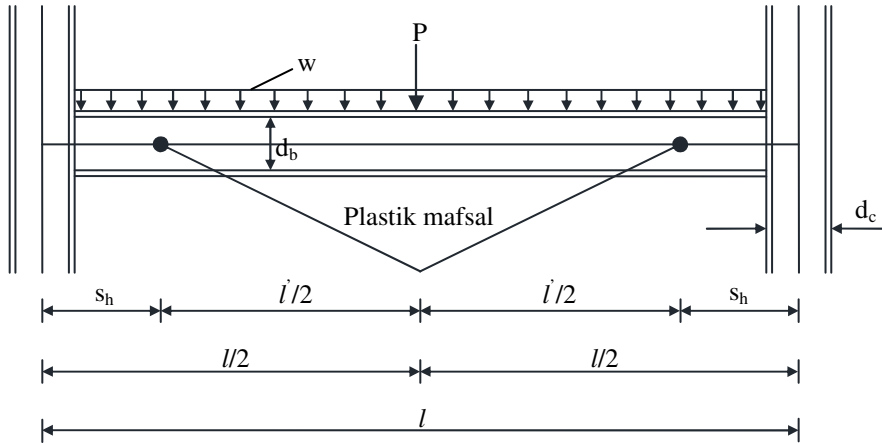
şeklinde elde edilmektedir. Burada,  $\sigma_y$  akma sınır gerilmesini,  $d$  kiriş gövde yüksekliğini,  $t_w$  gövde levhası kalınlığını ifade etmektedir.

### 2.2.2. Kirişte Plastik Mafsalın Yeri

Bulonlu kolon-kiriş birleşimi için kolon ekseninden itibaren plastik mafsalın yeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$s_h = \frac{d_c}{2} + \frac{d_b}{3} + t_{pl} \quad (2.6)$$

Burada  $d_c$  kolon kesitinin yüksekliği,  $d_b$  kiriş kesitinin yüksekliği ve  $t_{pl}$  ise alın levhası kalınlığıdır (Şekil 2.2).

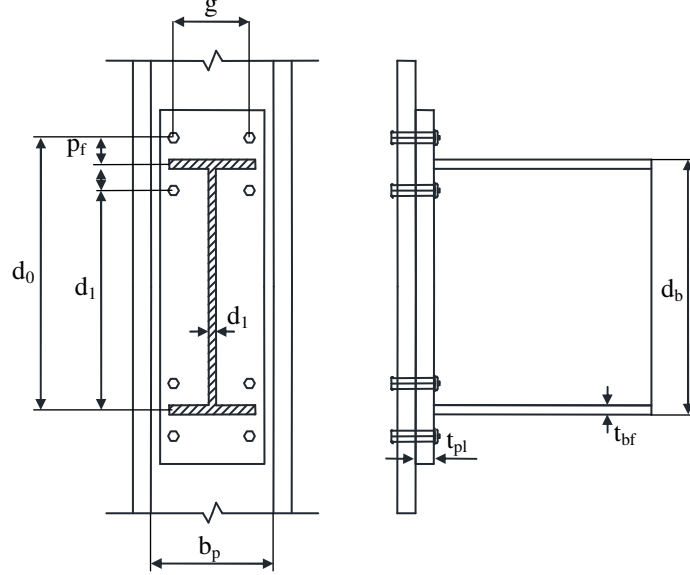


Şekil 2.2. Kolon-kiriş birleşiminde plastik mafsalın yeri

### 2.2.3. Bulon Gövde Enkesit Alanı

Birleşimde kullanılan bulonlar sünek değildir. Bu nedenle boyutlandırmada, birleşim araçlarında herhangi bir plastikleşmeye izin verilmez. Kolon-kiriş birleşiminin görevi, birleştirdiği kirişte plastik deformasyonlar oluşurken yük taşıma kapasitesini sürdürmesidir. Bu amaçla, deprem standartları birleşimin yük taşıma kapasitesinin kirişinkinden daha büyük olmasını öngörmektedir. Bu sebeple burada kolon-kiriş birleşimi, plastikleşme kirişte başlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Dolayısıyla, alın levhası ve

bulonlar, plastikleşme bu elemanlar üzerinde oluşmayacak şekilde hesaplanmıştır. Şekil 2.3'te kolon-kiriş birleşim geometrisi ve ilgili parametreler verilmiştir.



Şekil 2.3. Kolon-kiriş birleşim geometrisi ve ilgili parametreler

Bulon çapları seçiminde aşağıdaki ifade kullanılmaktadır;

$$M_f < 2.T_{ub} \cdot (d_0 + d_1) \quad (2.7)$$

Burada  $T_{ub}$  bir bulonun dış dibi enkesiti ile taşıyabileceği maksimum çekme kuvvetidir. Seçilen bulonun  $A_b$  gövde enkesit alanının uygunluğu ise aşağıdaki ifade ile kontrol edilmektedir;

$$A_b \geq \frac{\frac{2.M_f}{L-d_c} + V_g}{n \cdot \tau_{sem}} \quad (2.8)$$

Burada  $L$  kolon geometrik eksenlerini,  $V_g$  kolon başlık yüzeyinde gravitasyonel yüklerden dolayı oluşan kesme kuvvetini,  $d_c$  kolon kesit yüksekliğini (Şekil 2.3),  $\tau_{sem}$  bulona ait kayma emniyet gerilmesini ve  $n$  birleşimdeki bulon sayısını göstermektedir.

### 2.2.4. Alın Levhası Kalınlık Tayini

Alın levhası kalınlık tayininde kullanılan parametreler Şekil 2.3'te mevcuttur. Alın levhasında eğilmeden kaynaklanan akmaları önlemek için, gerekli  $t_{pl}$  minimum alın levhası kalınlığı aşağıda verilen ifade ile hesaplanmaktadır;

$$t_{pl} = \sqrt{\frac{M_f}{0,8 \cdot \sigma_{yp} \left\{ d_b - p_f \left[ \frac{b_p}{2} \left( \frac{1}{p_f} + \frac{1}{s} \right) + (p_f + s) \frac{2}{g} \right] + \frac{b_p}{2} \left( \frac{d_b}{p_f} + \frac{1}{2} \right) \right\}}} \quad (2.9)$$

Burada  $\sigma_{yp}$  alın levhasının akma sınır gerilmesi,  $g$  bulon sıraları arasındaki ara mesafeyi göstermektedir.  $s$  ise aşağıdaki bağıntı ile elde edilmektedir;

$$s = \sqrt{b_p \cdot g} \quad (2.10)$$

Alın levhasında kaymadan dolayı akma oluşmaması için gerekli  $t_p$  minimum alın levhası kalınlığı aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır;

$$t_{pl} = \frac{M_f}{1,1 \cdot \sigma_{yp} b_p (d_b - t_{bf})} \quad (2.11)$$

### 2.2.5. Minimum Kolon Başlık Kalınlığı Tayini

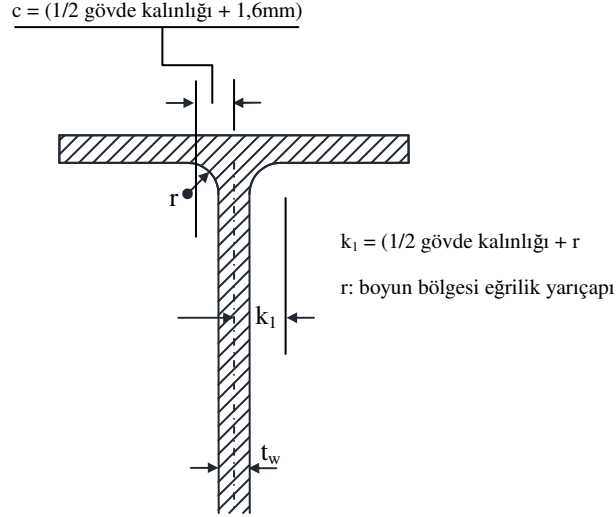
Kiriş başlığı çekme kuvvetine dayanacak minimum kolon başlık kalınlığı aşağıdaki ifade ile hesap edilmektedir;

$$t_{cf} = \sqrt{\frac{\frac{M_f}{d_b - t_{bf}} \cdot c_1}{2 \cdot \sigma_{yc} \cdot c}} \quad (2.12)$$

Burada  $\sigma_{yc}$  kolonun akma sınır gerilmesidir.  $d_b$  ve  $t_{bf}$  sırasıyla kirişin kesit yüksekliği ve başlık et kalınlığıdır. (2.12) denklemindeki  $c_1$  aşağıdaki bağıntı ile elde edilmektedir;

$$c_1 = \frac{g}{2} - k_1 \quad (2.13)$$

c ve  $k_1$  değerleri için Şekil 2.4'e bakılabilir.



Şekil 2.4. Minimum kolon başlık kalınlığı için gerekli c ve  $k_1$  değerleri

Süreklilik levhası kullanıldığından dolayı  $t_{cf}$  kolon başlık kalınlığının aşağıdaki koşulu sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir;

$$t_{cf} > \sqrt{\frac{M_f}{0,8 \cdot \sigma_{yc} \cdot Y_c}} \quad (2.14)$$

Bu ifadedeki parametreler aşağıda açıklanmıştır:

$$Y_c = \left(\frac{c}{2} + s\right) \left(\frac{1}{c_2 + c_1}\right) + (c_2 + c_1) \left(\frac{4}{c} + \frac{2}{s}\right) \quad (2.15)$$

$$c_2 = \frac{b_{cf} - g}{2} \quad (2.16)$$

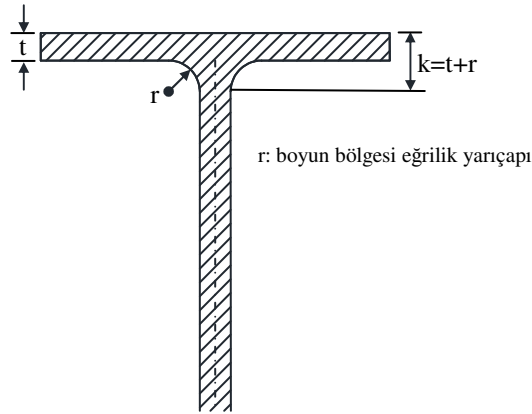
$$s = \sqrt{\frac{c_1 \cdot c_2}{c_2 + 2c_1} (2b_{cf} \cdot 4k_1)} \quad (2.17)$$

Eğer  $t_{cf}$  hesaplanan değerden küçükse başlık kalınlığı daha büyük bir kolon profili seçilmelidir.

Kolon başlığı kalınlığının  $t_{cf}$  kiriş başlığı basınç etkisi açısından uygunluğu aşağıdaki ifade ile kontrol edilmelidir;

$$t_{cf} > \frac{M_f}{(d_b - t_{bf})(6k + 2t_{pl} + t_{bf})\sigma_{yc}} \quad (2.18)$$

(2.18) denklemindeki  $k$  değeri için Şekil 2.5'e bakılabilir.



Şekil 2.5. Minimum kolon başlık kalınlığı hesabında için kullanılan  $k$  değeri

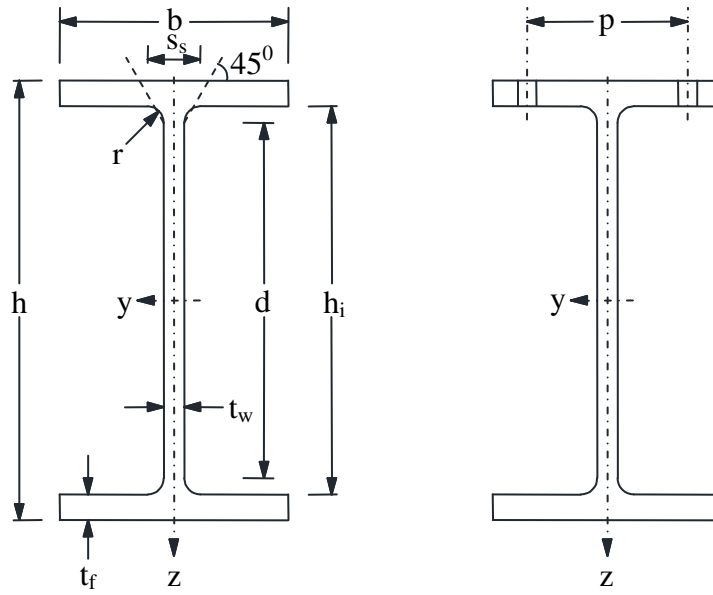
### 2.3. Çalışmada Dikkate Alınan Sistemlerin Sonlu Eleman Modelleri

Bu çalışmada, moment aktaran çerçeve ile merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin dinamik davranışı tek açıklıklı bir, iki ve üç katlı çerçeve sistem dikkate alınarak incelenmiştir. Bu çerçeve sistemlerde açıklık mesafesi 7.60m, kat yükseklikleri 4.0m alınmış ve sonlu eleman modelleri kabuk elemanlar (shell elements) kullanılarak oluşturulmuştur.



Üst üste gelen kabuk elemanlar arasında gerilme aktarımını sağlayabilmek amacıyla lineer olmayan boşluk elemanlar (Gap Elements) kullanılmıştır. SAP2000 programında bulonlar çubuk eleman olarak tanımlanmıştır. Bu elemanların sadece çekme aksenal kuvvetini taşıması için SAP2000 programında gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

Kolon-alın levhası birleşimi için M30, çapraz-plaka birleşimi için M24 bulonu kullanılmıştır. Kolon, kiriş ve çapraz profilleri sırasıyla HE450B, HE450A, HE320B şeklindedir. Şekil 2.6'da tipik bir profil kesiti verilmiştir. Kolon, kiriş, çapraz ve bulon elemanları profilleri bütün modellerde aynıdır. Çapraz eleman uzunlukları, alın levhası, taban plakası ve guse boyutları çapraz elemanların geometrilerine ve yerleşim biçimlerine göre modeller arasında farklılıklar göstermektedir. Çerçeve sistemlerde kullanılan elemanlara ait geometrik detaylar Tablo 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.6. Kolon, kiriş ve çapraz için kullanılan profil en kesiti

Çerçeve sistemlerde Fe37 çeliği kullanılmıştır. Bu malzemenin birim hacim ağırlığı  $76.98 \text{ kN/m}^3$  ve elastisite modülü  $2.062 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$  olarak dikkate alınmıştır. Doğrusal olmayan bağlantı elemanlarının elastisite modülü  $3 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır.

Dış merkez çapraz elemanlı çerçeve sistemlerde dikkate alınan bağ kirişi uzunluğu  $e=47.4 \text{ cm}$ 'nin katları şeklinde değişmektedir.

Tablo 2.1. Modellerde kullanılan elemanlara ait boyutlar (mm)

Çerçeve Elemanları	Profil	h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	p <sub>min</sub>	p <sub>maks</sub>	s <sub>s</sub>	r
Kolon	HE450B	450	300	14.0	26.0	124	198	97.63	27
Kiriş	HE450A	440	300	11.5	21.0	122	198	85.13	27
Çapraz	HE320B	320	300	11.5	20.5	122	198	84.13	27
Kiriş-Kolon Bulonu	M30	-	-	-	-	-	-	-	-
Çapraz-Guse Bulonu	M24	-	-	-	-	-	-	-	-
Alın Levhası	-	-	-	40	-	-	-	-	-
Guse	-	-	-	25	-	-	-	-	-
Gövde Takviye	-	440	300	11.5	-	-	-	-	-
Sürekli Levhası	-	450	300	21	-	-	-	-	-
Çapraz Plaka	-	350	300	20	-	-	-	-	-

### 2.3.1. Moment Aktaran Çerçeve (MAÇ) Sistemlerin Sonlu Eleman Modelleri

Bir, iki ve üç katlı moment aktaran çerçeve (MAÇ) sistemlerin sonlu eleman modelleri Şekil 2.7’de, bu sonlu eleman modellerinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayıları ise Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. MAÇ sistemlere ait sonlu eleman modellerinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayıları

Model	Kabuk El.	Bağlantı El.	Bulon	Düğüm Nok.
MAÇ-1	1656	90	16	1785
MAÇ-2	3048	180	32	3258
MAÇ-3	4440	270	48	4731

### 2.3.2. Merkezi Çaprazlı Çerçeve (MÇÇ) Sistemlerin Sonlu Eleman Modelleri

Bir, iki ve üç katlı diyagonal merkezi çaprazlı (D-MÇÇ) sistemlerin sonlu eleman modelleri Şekil 2.8’de, ters V merkezi çaprazlı (Ters V-MÇÇ) sistemlerin sonlu eleman modelleri Şekil 2.9’da verilmiştir. Bu sonlu eleman modellerinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayıları ise Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3. D-MÇÇ ve Ters V-MÇÇ sistemlere ait sonlu eleman modellerinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayıları

<b>Model</b>	<b>Kabuk El.</b>	<b>Bağlantı El.</b>	<b>Bulon</b>	<b>Düğüm Nok.</b>
D-MÇÇ-1	3006	462	114	3265
D-MÇÇ-2	5811	941	224	6291
D-MÇÇ-3	8617	1416	334	9311
Ters V-MÇÇ-1	4004	802	208	4330
Ters V-MÇÇ-2	7792	1674	416	8430
Ters V-MÇÇ-3	11612	2566	624	12555

### 2.3.3. Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve (DÇÇ) Sistemlerin Sonlu Eleman Modelleri

Bir, iki ve üç katlı diyagonal dışmerkez çaprazlı (D-DÇÇ) sistemlerin sonlu eleman modelleri;  $e_1$  için Şekil 2.10'da,  $e_2$  için Şekil 2.11'de,  $e_3$  için Şekil 2.12'de,  $e_4$  için Şekil 2.13'te ve  $e_5$  için Şekil 2.14'te verilmiştir. Bu sonlu eleman modellerinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayıları ise Tablo 2.4'de verilmiştir.

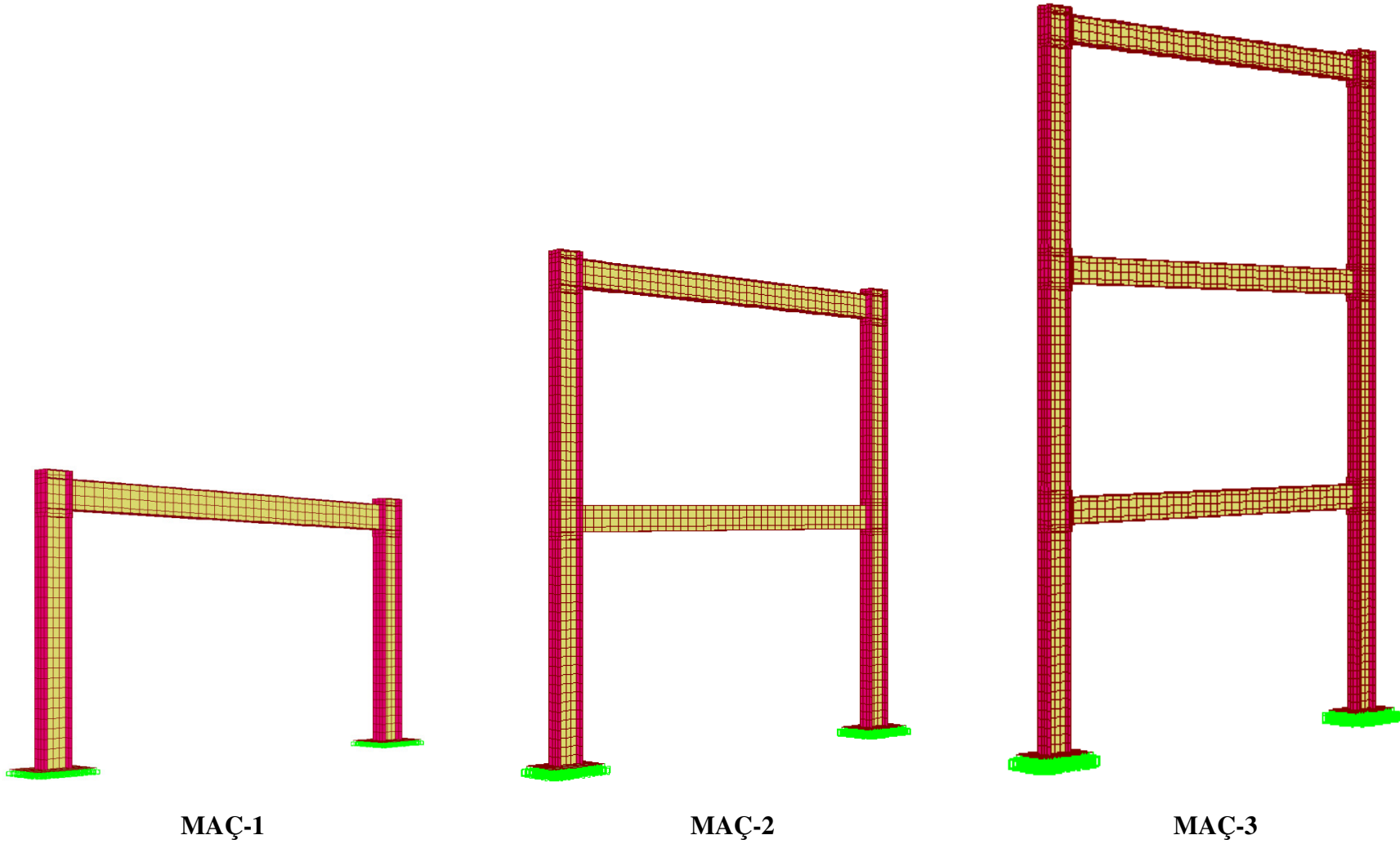
Bir, iki ve üç katlı ters V dışmerkez çaprazlı (Ters V-DÇÇ) sistemlerin sonlu eleman modelleri ise  $e_1$  için Şekil 2.15'te,  $e_2$  için Şekil 2.16'da,  $e_3$  için Şekil 2.17'de,  $e_4$  için Şekil 2.18'de ve  $e_5$  için Şekil 2.19'da verilmiştir. Bu sonlu eleman modellerinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayıları da Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.4. D-DÇÇ sistemlere ait sonlu eleman modellerinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayıları

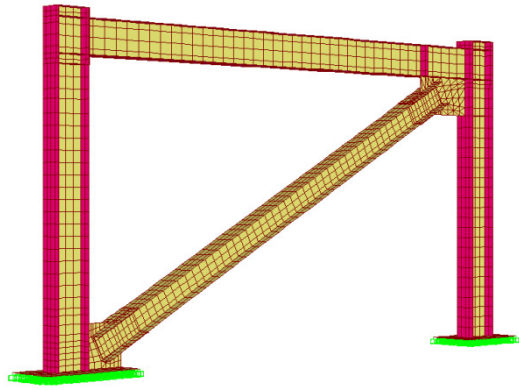
<b>Model</b>	<b>Kabuk El.</b>	<b>Bağlantı El.</b>	<b>Bulon</b>	<b>Düğüm Nok.</b>
D-DÇÇ-1-e1	3071	444	111	3350
D-DÇÇ-2-e1	5908	891	218	6425
D-DÇÇ-3-e1	8789	1338	325	9536
D-DÇÇ-1-e2	3038	444	111	3295
D-DÇÇ-2-e2	5861	891	218	6335
D-DÇÇ-3-e2	8692	1338	325	9379
D-DÇÇ-1-e3	3097	444	111	3357
D-DÇÇ-2-e3	6001	891	218	6468
D-DÇÇ-3-e3	8901	1338	325	9574
D-DÇÇ-1-e4	3117	444	111	3377
D-DÇÇ-2-e4	6025	891	218	6507
D-DÇÇ-3-e4	8933	1338	325	9639
D-DÇÇ-1-e5	3163	444	111	3420
D-DÇÇ-2-e5	6123	891	218	6602
D-DÇÇ-3-e5	9075	1338	325	9769

Tablo 2.5. Ters V-DÇÇ sistemlere ait sonlu eleman modellerinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayıları

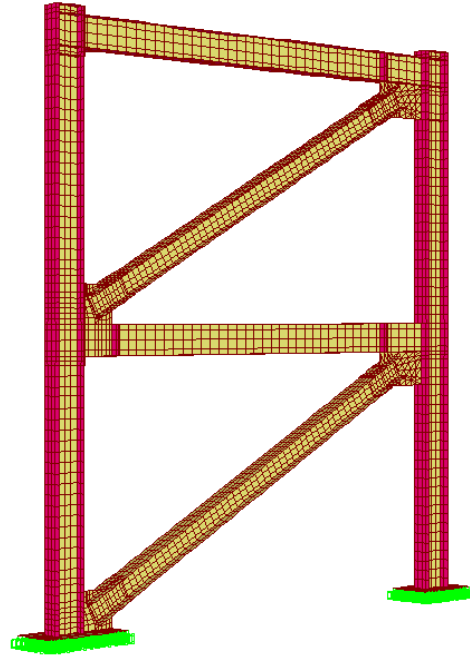
<b>Model</b>	<b>Kabuk El.</b>	<b>Bağlantı El.</b>	<b>Bulon</b>	<b>Düğüm Nok.</b>
Ters V-DÇÇ-1-e <sub>1</sub>	4166	800	208	4525
Ters V-DÇÇ-2-e1	7974	1689	416	8622
Ters V-DÇÇ-3-e1	11998	2600	624	12953
Ters V-DÇÇ-1-e2	4102	800	208	4455
Ters V-DÇÇ-2-e2	8224	1689	416	8884
Ters V-DÇÇ-3-e2	12274	2600	624	13256
Ters V-DÇÇ-1-e3	4182	800	208	4541
Ters V-DÇÇ-2-e3	8248	1689	416	8920
Ters V-DÇÇ-3-e3	12313	2600	624	13299
Ters V-DÇÇ-1-e4	4204	800	208	4565
Ters V-DÇÇ-2-e4	8174	1689	416	8825
Ters V-DÇÇ-3-e4	12159	2600	624	13097
Ters V-DÇÇ-1-e5	4138	800	208	4499
Ters V-DÇÇ-2-e5	8154	1689	416	8778
Ters V-DÇÇ-3-e5	12186	2600	624	13079



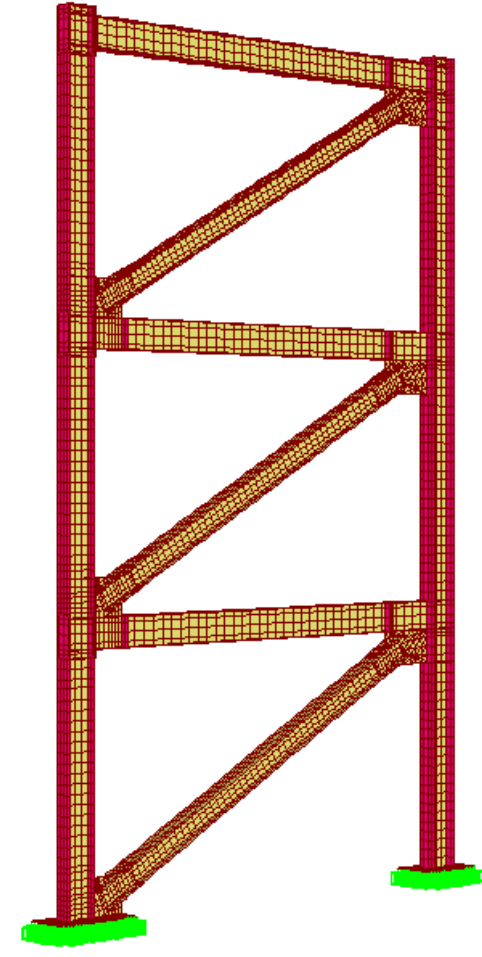
Şekil 2.7. MAÇ sistemlere ait bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri



**D-MÇÇ-1**

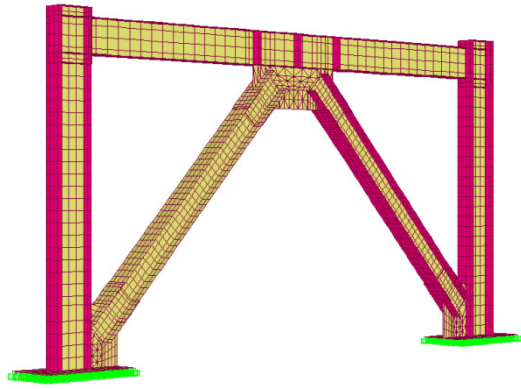


**D-MÇÇ-2**

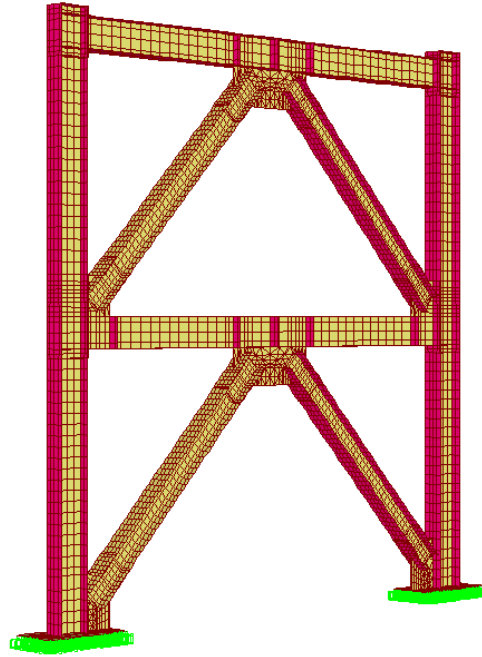


**D-MÇÇ-3**

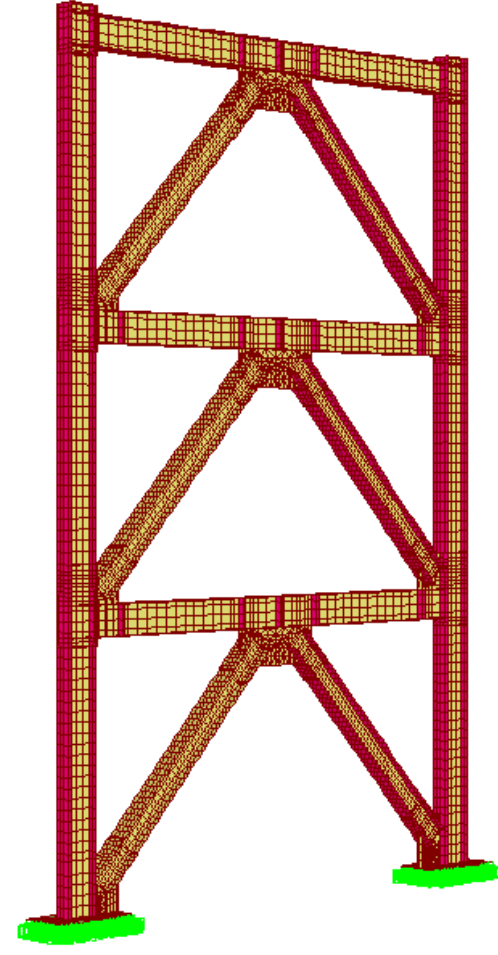
Şekil 2.8. D-MÇÇ sistemlere ait bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri



**Ters V-MÇÇ-1**

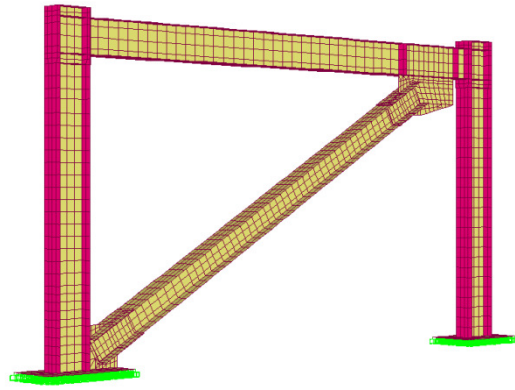


**Ters V-MÇÇ-2**

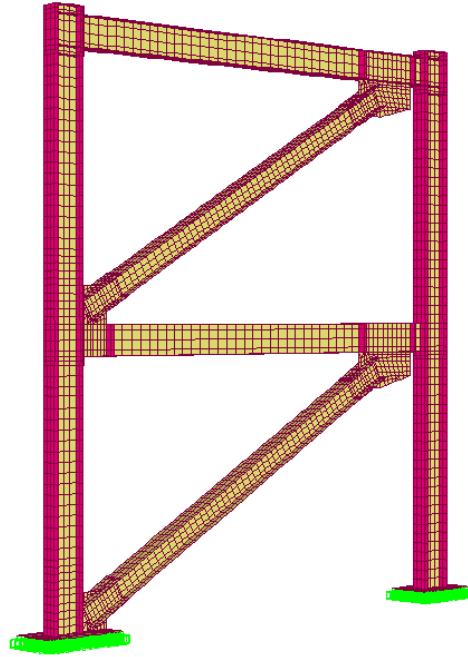


**Ters V-MÇÇ-3**

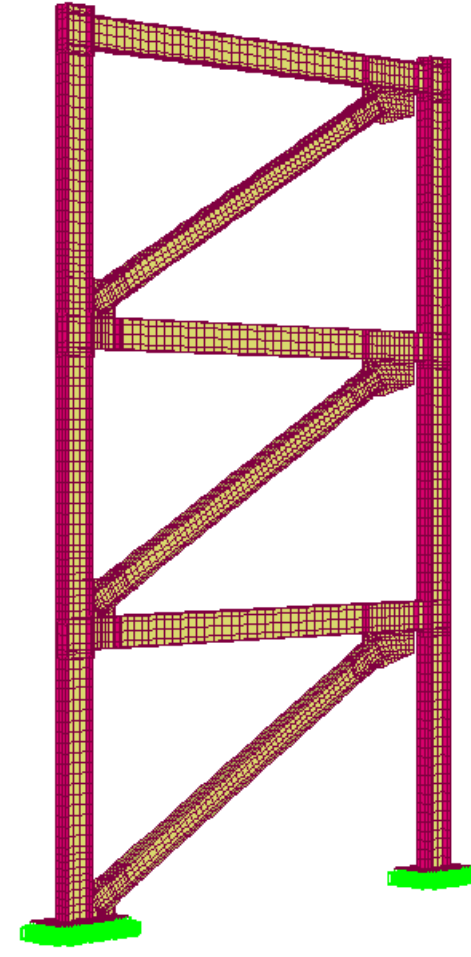
Şekil 2.9. Ters V-MÇÇ sistemlere ait bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri



**D-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>**



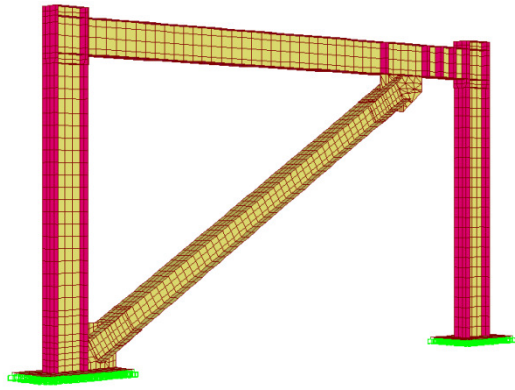
**D-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>**



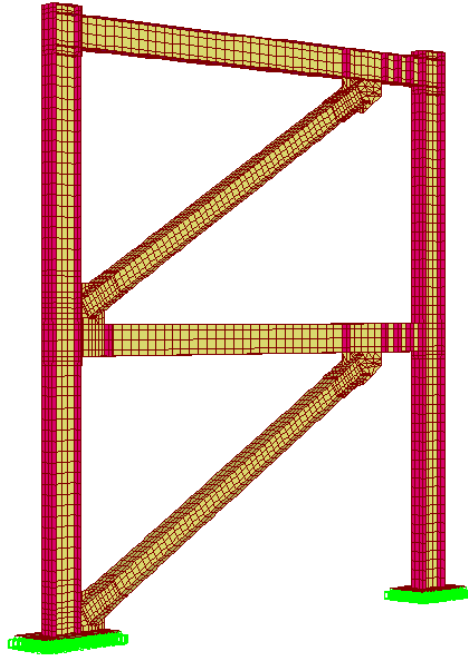
**D-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>**

Şekil 2.10. D-DÇÇ sistemlerin  $e_1$  için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri

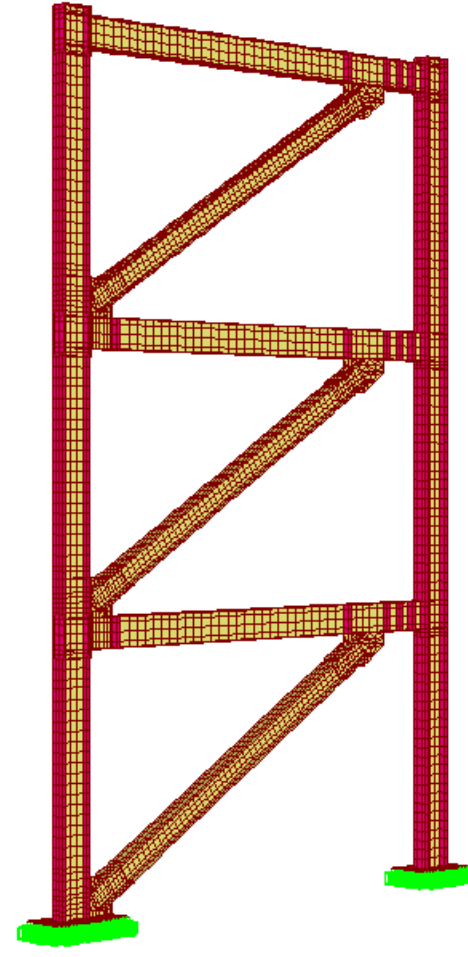




**D-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>**

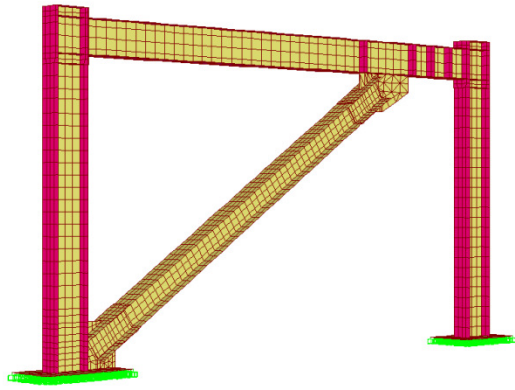


**D-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>**

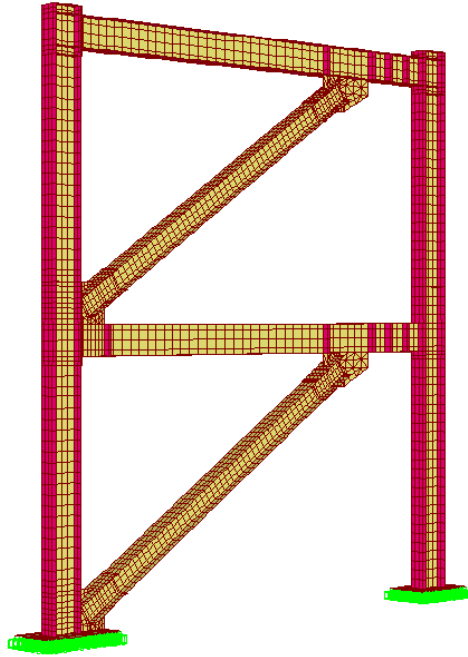


**D-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>**

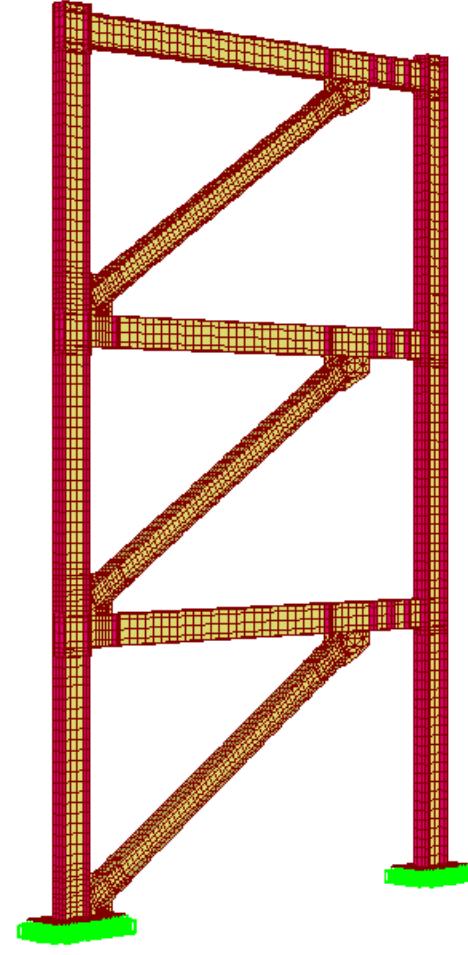
Şekil 2.11. D-DÇÇ sistemlerin e<sub>2</sub> için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri



**D-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>**

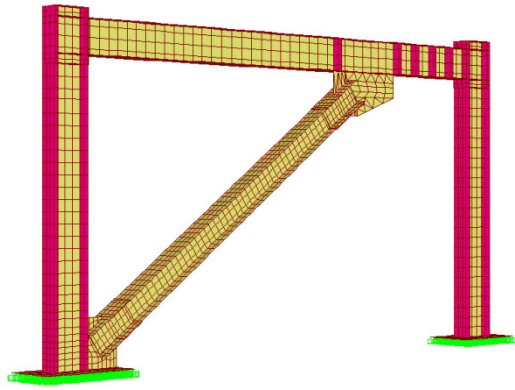


**D-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>**

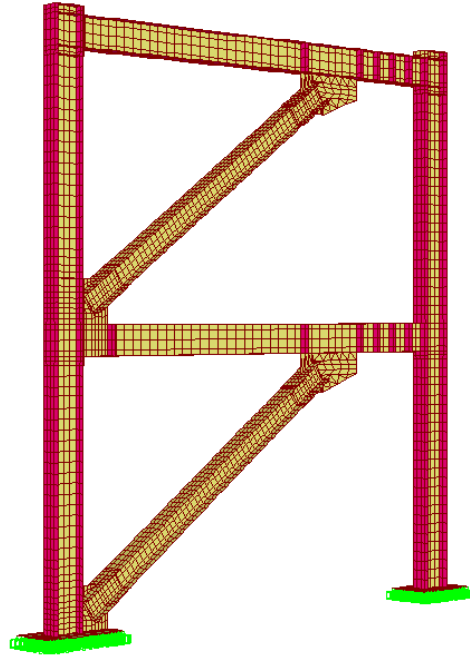


**D-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>**

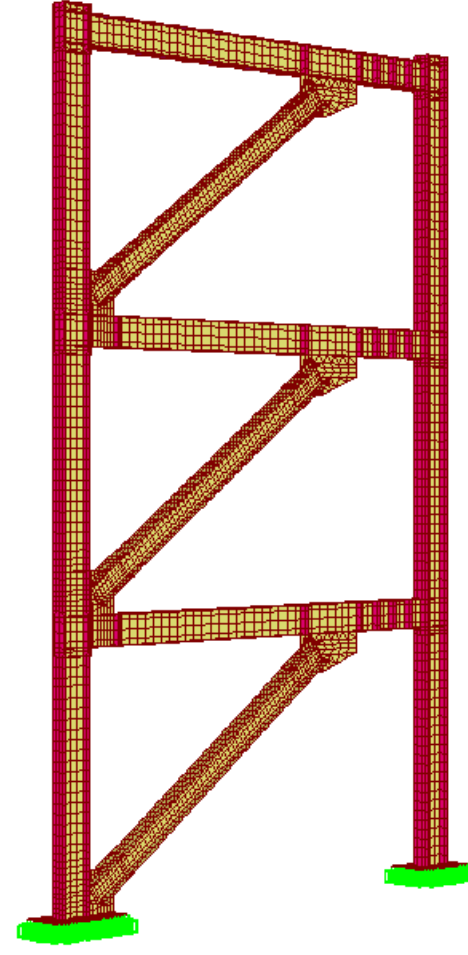
Şekil 2.12. D-DÇÇ sistemlerin e<sub>3</sub> için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri



**D-DÇÇ-1-e<sub>4</sub>**

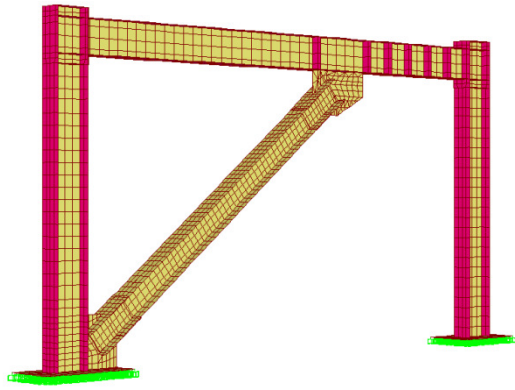


**D-DÇÇ-2-e<sub>4</sub>**

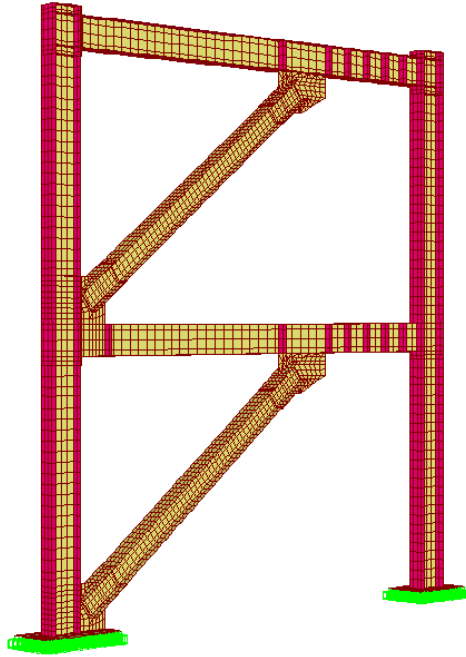


**D-DÇÇ-3-e<sub>4</sub>**

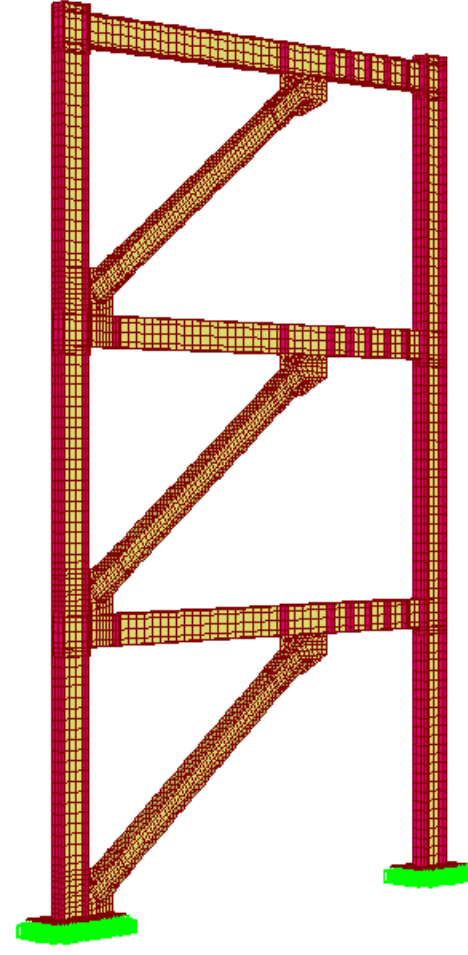
Şekil 2.13. D-DÇÇ sistemlerin e<sub>4</sub> için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri



**D-DÇÇ-1-e<sub>5</sub>**

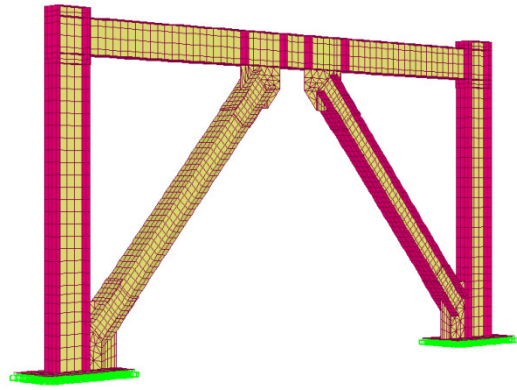


**D-DÇÇ-2-e<sub>5</sub>**

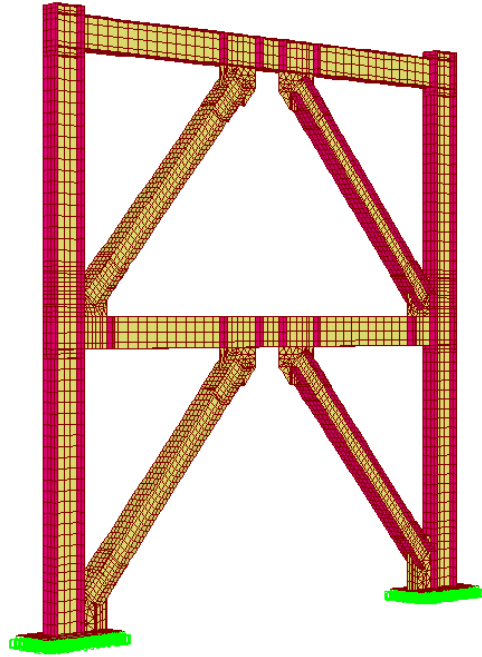


**D-DÇÇ-3-e<sub>5</sub>**

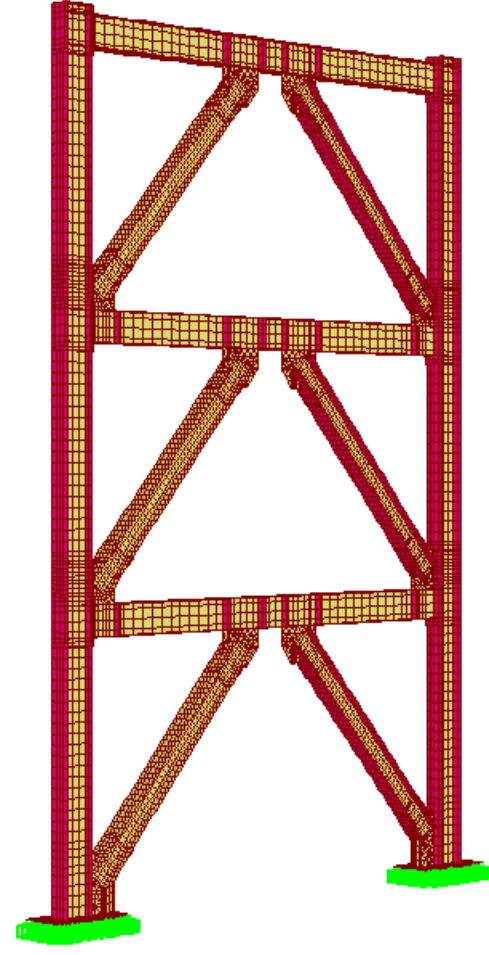
Şekil 2.14. D-DÇÇ sistemlerin e<sub>5</sub> için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri



**Ters V-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>**

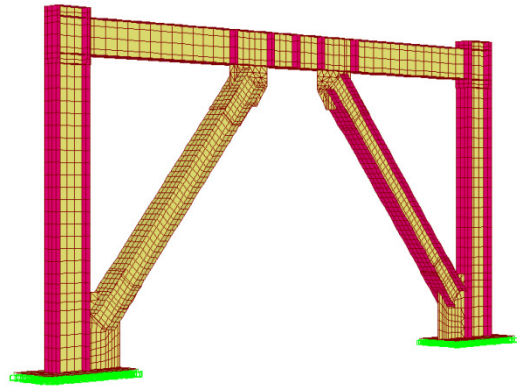


**Ters V-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>**

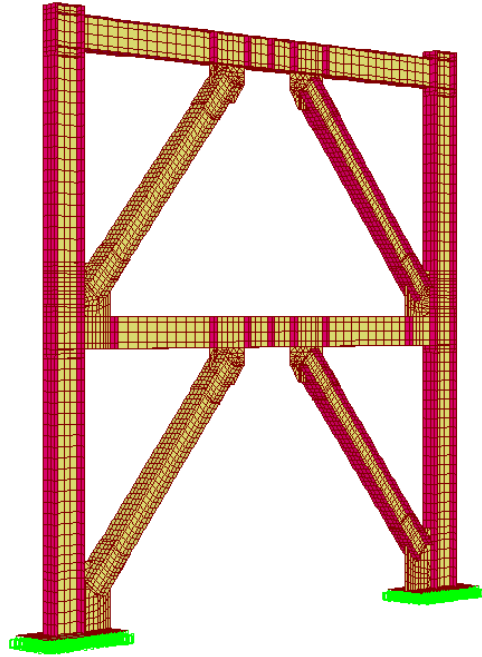


**Ters V-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>**

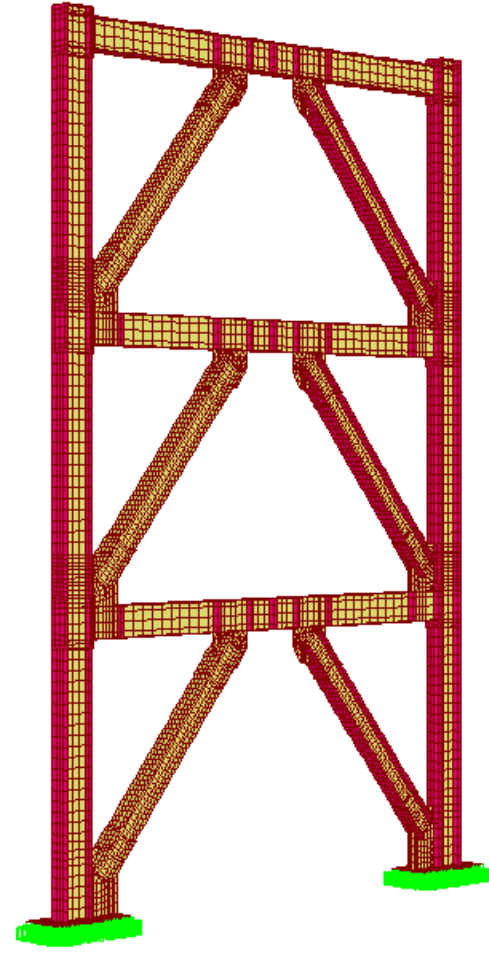
Şekil 2.15. Ters V-DÇÇ sistemlerin  $e_1$  için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri



**Ters V-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>**

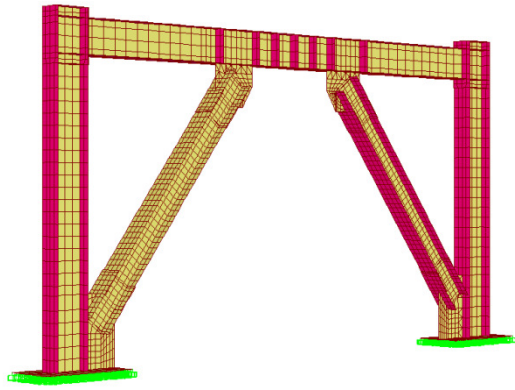


**Ters V-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>**

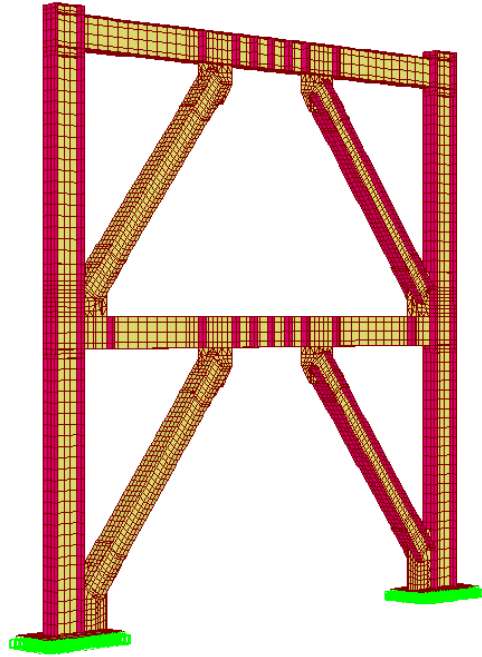


**Ters V-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>**

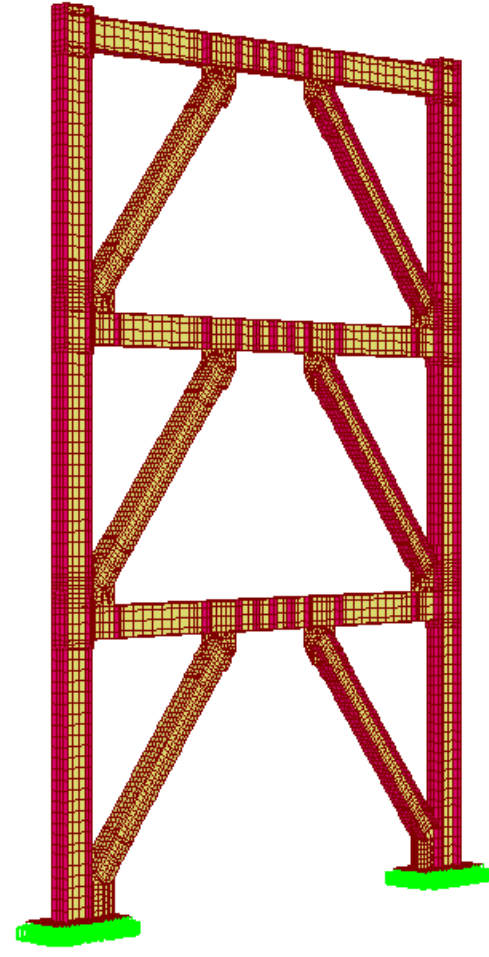
Şekil 2.16. Ters V-DÇÇ sistemlerin e<sub>2</sub> için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri



**Ters V-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>**



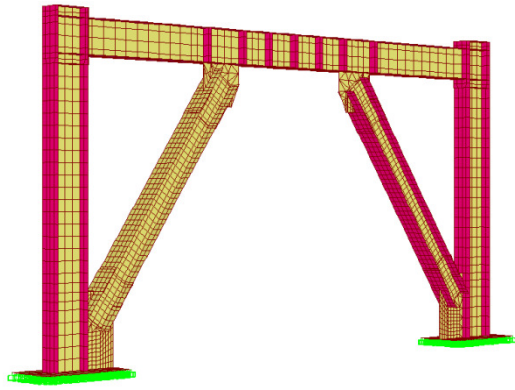
**Ters V-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>**



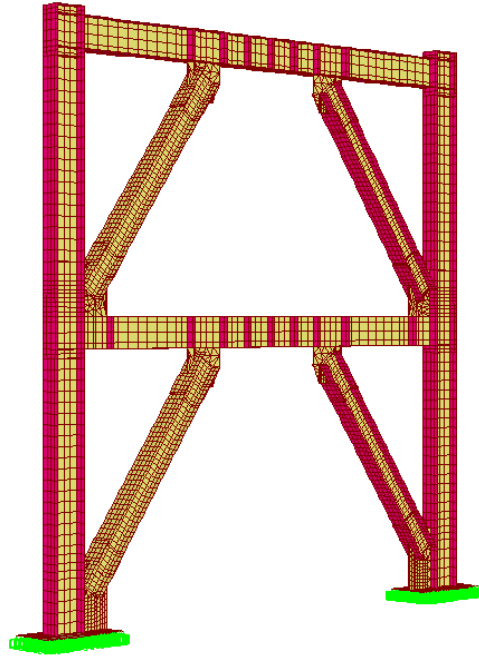
**Ters V-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>**

Şekil 2.17. Ters V-DÇÇ sistemlerin e<sub>3</sub> için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri

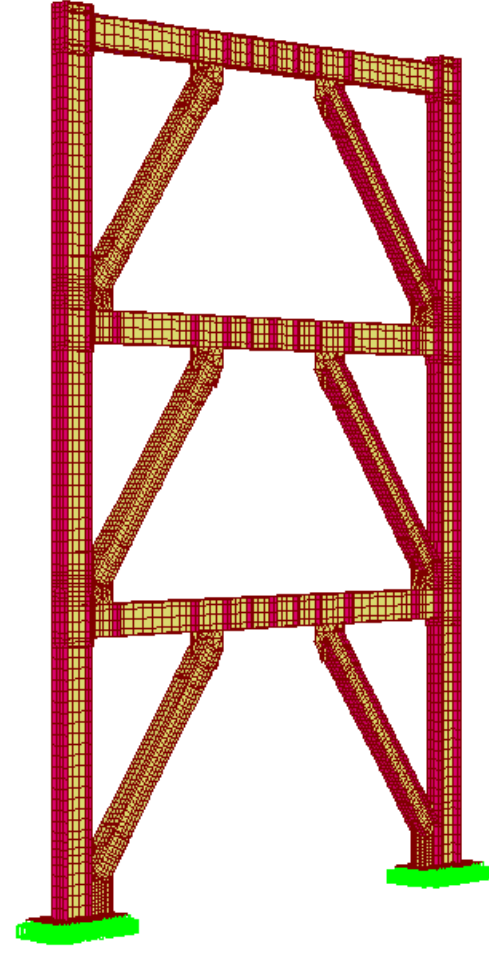




**Ters V-DÇÇ-1-e<sub>4</sub>**



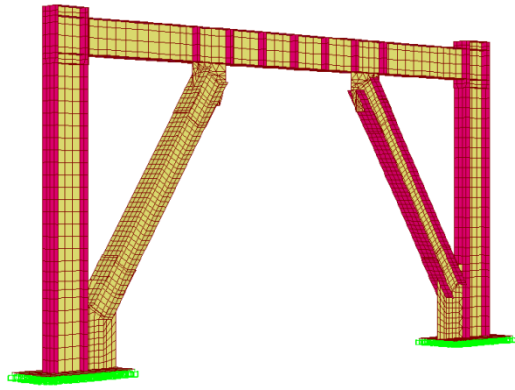
**Ters V-DÇÇ-2-e<sub>4</sub>**



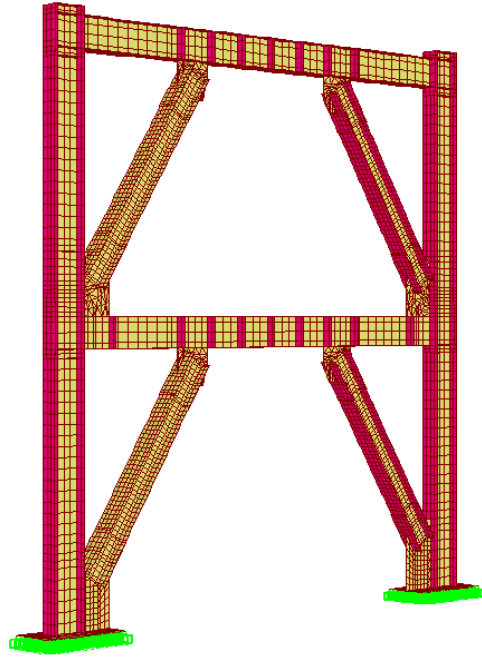
**Ters V-DÇÇ-3-e<sub>4</sub>**

Şekil 2.18. Ters V-DÇÇ sistemlerin e<sub>4</sub> için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri

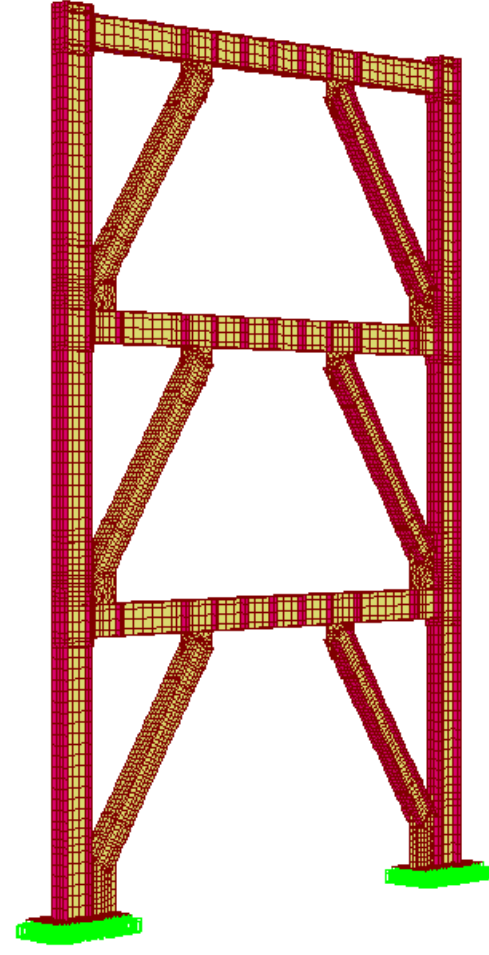




**Ters V-DÇÇ-1-e<sub>5</sub>**



**Ters V-DÇÇ-2-e<sub>5</sub>**



**Ters V-DÇÇ-3-e<sub>5</sub>**

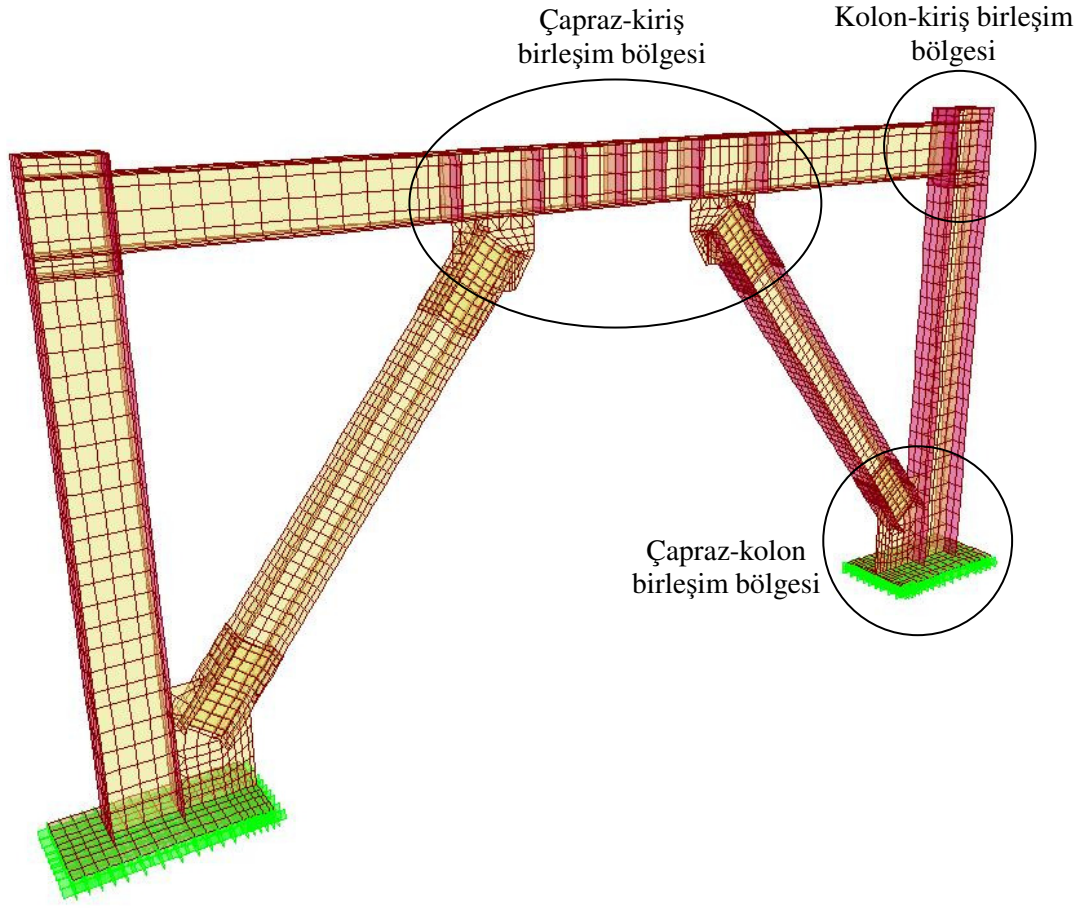
Şekil 2.19. Ters V-DÇÇ sistemlerin e<sub>5</sub> için bir, iki ve üç katlı sonlu eleman modelleri

## 2.4. SAP2000’de Birleşim Bölgelerinin Modellenmesi

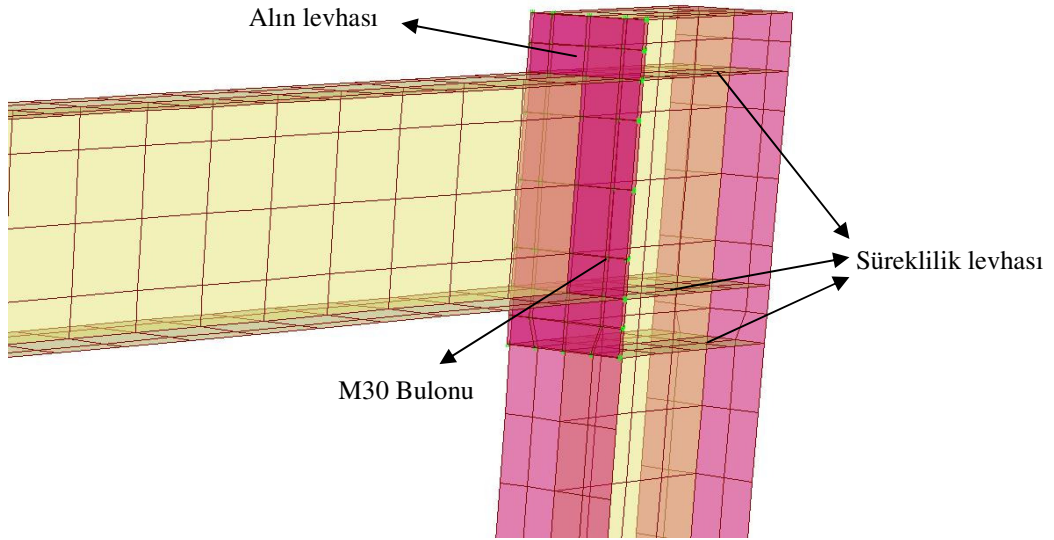
SAP2000’de birleşim bölgelerinin modellenmesi konusunda esas olarak URL-1 (2010)’den yararlanılmıştır. Çelik çerçeve sistemlerde çelik birleşim noktaları, kolon-kiriş ve çapraz elemanların birleşimleridir. Kolon-kiriş birleşimi alın levhalı moment aktaran rijit bir birleşimdir. Birleşimin geometrik olarak uygulanabilmesi için alın levhasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kiriş, alın levhasına kaynaklı olarak gelir ve kolon başlık levhası ile alın levhasında açılan delikler sayesinde birbirlerine bulonlar ile bağlanarak birleşim tamamlanmış olur.

SAP2000’de aynı düzleme iki adet kabuk eleman tanımlanamaz. Bu iki elemanın tanımlanabilmesi için iki düzlem arasında belirli bir mesafenin bulunması gerekir. Bu durumda ise temas mümkün olmadığı için yük aktarımından bahsedilemez. Plakları veya levhaları birbirine bağlama işlemi düğüm noktasının karakteristik davranışını temsil etmelidir. Alın levhalı moment aktaran birleşimlerde, kirişin başlıklarından biri kiriş uç momentinden dolayı oluşan basınç aksinel kuvvetini diğeri ise çekme aksinel kuvvetini kolona aktarır. Alın levhasına etkiyen bu kuvvetler basınç ise, alın levhası ile kolon başlık levhası arasındaki temas yüzeyi kuvvet aktarımını gerçekleştirir. Kuvvetin çekme olması durumunda ise, herhangi bir temas yüzeyinden söz edilemez ve iki levha birbirlerinden ayrılmak isterken devreye bulonlar girerek yük aktarımını sağlamış olur. Bu problem lineer bir problemden ziyade lineer olmayan bir problemdir. Çünkü ihtiyacımız olan iki elemandan biri yalnızca basınç kuvvetlerini, diğeri ise çekme kuvvetlerini aktarmalıdır. Aynı mantık çapraz birleşimler için de geçerlidir. SAP2000’de bu şekilde modellenmiş olan örnek bir çerçeve modeli Şekil 2.20’de verilmiştir. Bu şeklin kolon-kiriş birleşim bölgesinin detayı Şekil 2.21’de, çapraz-kiriş birleşim bölgesinin detayı Şekil 2.22’de ve çapraz-kolon birleşim bölgesinin detayı Şekil 2.23’te görülmektedir.

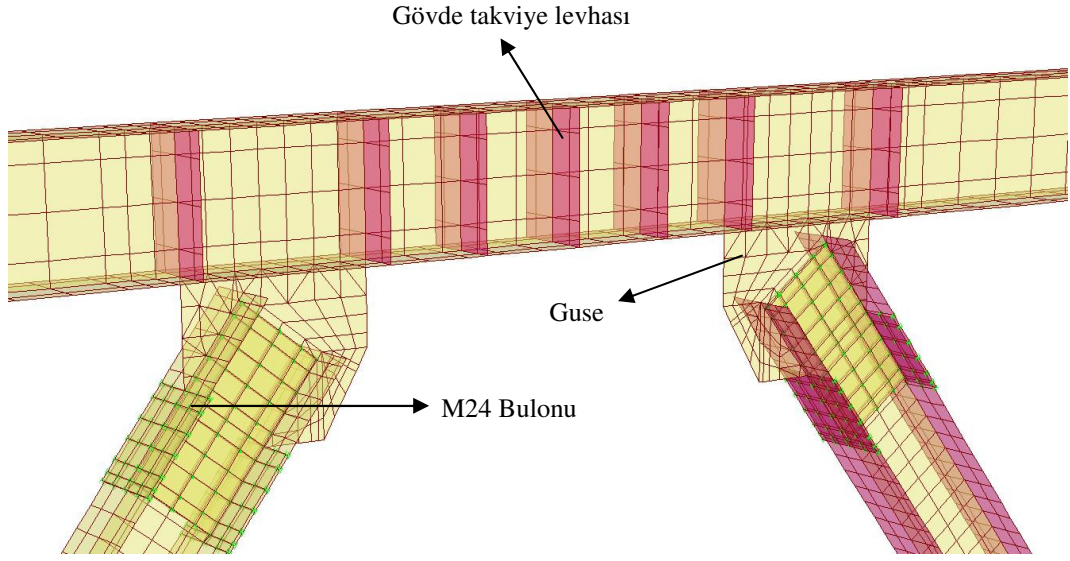
SAP2000’de lineer olmayan bağlantı elemanları rahatlıkla tanımlanabilmektedir. SAP2000’de mevcut “**Gap**” bağlantı elemanı bu çalışmada kullanılmıştır. Bu eleman, kullanıcı tarafından verilen belirli bir basınç dayanımına kadar rijit davranış gösterir ve bu dayanımın aşılması ile birlikte yine kullanıcı tarafından verilen boşluk (gap) miktarı kadar serbestçe hareket eder. Bir çeşit geometrik süreksizliğe sahip bir eleman gibi davranırlar. Basınç dayanım değeri yeterince büyük verildiği ve herhangi bir boşluk tanımlanmadığı takdirde basınç kuvvetleri altında iki plak elemanı arasında sonsuz rijit bir temas yüzeyi elde edilmiş olur. Boşluk elemanların çalışma prensibi Şekil 2.24’te verilmiştir.



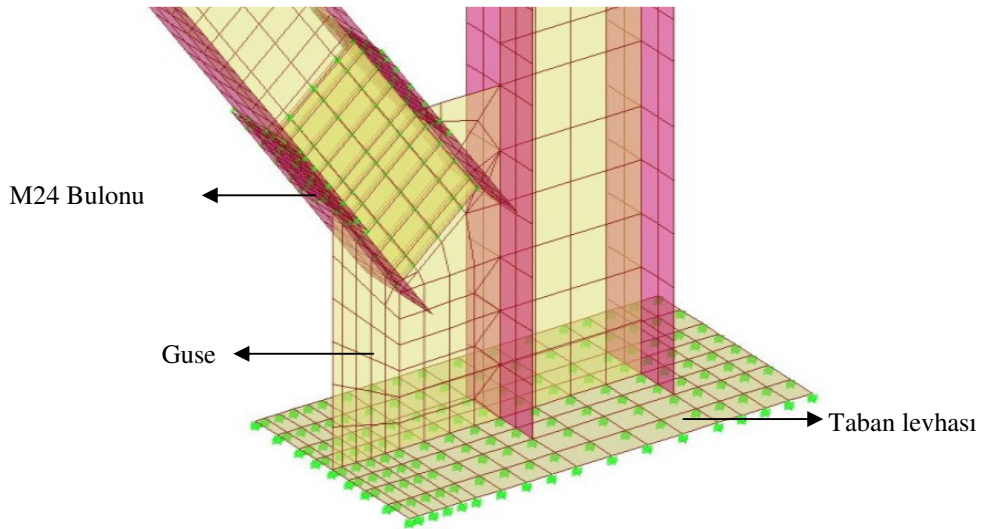
Şekil 2.20. SAP2000’de modellenmiş örnek bir çerçeve modeli



Şekil 2.21. Kolon-kiriş birleşim bölgesi



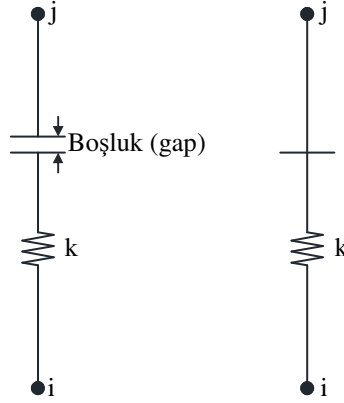
Şekil 2.22. Çapraz-kiriş birleşim bölgesi



Şekil 2.23. Çapraz-kolon birleşim bölgesi

Çekme kuvvetlerinin tesirli olması durumunda, belirli düğüm noktalarına girilecek olan bulonlar çubuk eleman olarak tanımlanır. Ancak, tanımlanacak olan eleman lineer olmayan bir eleman gibi davranmalıdır. Yani, sadece çekme eksenel kuvvetini aktarmalıdır. Bu özelliğin sağlanabilmesi için bulonlar modelde geometrik yerlerine tanımlanır ve SAP2000’de ilgili kısımda “Compression Limit=0” tanımlaması yapılarak işlem tamamlanır. Bu sayede, bulon olarak tanımlanan elemanlar üzerlerine etkiyen

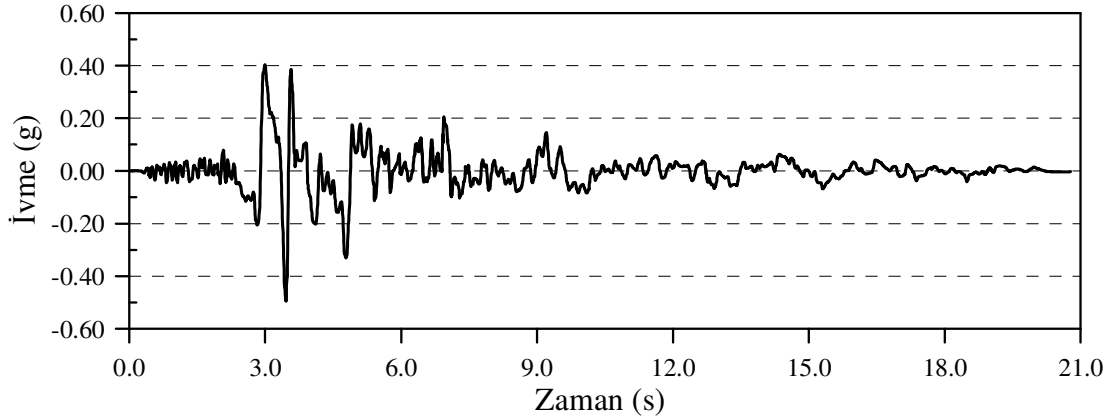
kuvvetlerden yalnızca çekme eksenel kuvvetini aktarmış olur. Dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri de bulon tanımlanan yere boşluk (Gap) elemanın da girilmiş olmasıdır. Çünkü tersinir kuvvet durumunda bulonun bulunduğu nokta çekme eksenel kuvvetinden basınç eksenel kuvvetine geçiş yapabilir.



Şekil 2.24. SAP2000’de boşluk (Gap) eleman davranışı

## 2.5. Yer Hareketi

Moment aktaran çerçeve (MAÇ) ile çeşitli merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin dinamik analizinde, yer hareketi olarak 13 Mart 1992 tarihinde meydana gelen Erzincan depreminin doğu-batı bileşeni kullanılmıştır (URL-1, 2003). Söz konusu depremin ivme-zaman ilişkisi Şekil 2.25’te verilmiştir.



Şekil 2.25. Erzincan depreminin ivme-zaman ilişkisi

### **3. BULGULAR VE İRDELEMELER**

#### **3.1. Giriş**

Tezin bu bölümünde moment aktaran çerçeve ile merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin dinamik analizleri sonucu elde edilen bulgular verilmiştir. Analizlerde, esas olarak çapraz elemanların moment aktaran çerçeve sistemlerde kullanılması durumunda çerçeve sistemlerin dinamik davranışlarındaki değişim incelenmiştir. Bu değişim, çerçeve sistemlerdeki yer değiştirmeler ve kabuk elemanlardaki kayma gerilme dağılımları ile irdelenmiştir.

Dışmerkez çapraz elemanlı çerçeve sistemlerin dinamik davranışına bağlantı kiriş uzunluğunun etkisi beş farklı dış merkezlik (e) göz önüne alınarak incelenmiştir.

#### **3.2. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

##### **3.2.1. Yer Değiştirmeler**

Bu kısımda, moment aktaran çerçeve (MAÇ), merkezi çaprazlı çerçeve (MÇÇ) ve dışmerkez çaprazlı çerçeve (DÇÇ) sistemlerin dinamik analizi sonucu elde edilen yer değiştirmeler incelenmiştir. Bu amaçla, önce dikkate alınan bütün sistemlerin deformasyon yapmış halleri, daha sonra tepe yatay yer değiştirmelerinin zamanla değişimi verilmiştir. Buna göre; bir katlı çerçeve sistemlere ait MAÇ-1, D-MÇÇ-1 ve Ters V-MÇÇ-1 modellerinin deformasyon yapmış halleri Şekil 3.1'de, iki katlı çerçeve sistemlere ait MAÇ-2, D-MÇÇ-2 ve Ters V-MÇÇ-2 modellerinin deformasyon yapmış halleri Şekil 3.2'de ve üç katlı çerçeve sistemlere ait MAÇ-3, D-MÇÇ-3 ve Ters V-MÇÇ-3 modellerinin deformasyon yapmış halleri Şekil 3.3'te verilmiştir.

Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerin dinamik davranışına bağlantı kiriş uzunluğunun etkisi, iki farklı dışmerkez çapraz eleman göz önüne alınarak incelenmiştir. Bunlar; diyagonal ve Ters V dışmerkez çapraz elemanlardır. Bu dışmerkez çapraz elemanlar, beş farklı dışmerkezlik (e) göz önüne alınarak çerçeve sistemlere yerleştirilmiştir. Bu şekilde oluşturulan bir katlı diyagonal dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait D-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-1-e<sub>5</sub>

modellerinin deformasyon yapmış halleri Şekil 3.4'te, iki katlı diyagonal dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait D-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-2-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-2-e<sub>5</sub> modellerinin deformasyon yapmış halleri Şekil 3.5'te ve üç katlı diyagonal dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait D-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-3-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-3-e<sub>5</sub> modellerinin deformasyon yapmış halleri Şekil 3.6'da verilmiştir.

Ters V dışmerkez çapraz elemanlar kullanılarak oluşturulan bir katlı Ters V dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait Ters V-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-1-e<sub>5</sub> modellerinin deformasyon yapmış halleri Şekil 3.7'de, iki katlı Ters V dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait Ters V-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-2-e<sub>5</sub> modellerinin deformasyon yapmış halleri Şekil 3.8'de ve üç katlı Ters V dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait Ters V-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-3-e<sub>5</sub> modellerinin deformasyon yapmış halleri Şekil 3.9'da verilmiştir.

Dikkate alınan bütün sistemlerin deformasyon yapmış halleri sunulduktan sonra, tepe yatay yer değiştirmelerinin zamanla değişimi incelenmiştir. Buna göre; bir katlı çerçeve sistemlere ait MAÇ-1, D-MÇÇ-1 ve Ters V-MÇÇ-1 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 3.10'da, iki katlı çerçeve sistemlere ait MAÇ-2, D-MÇÇ-2 ve Ters V-MÇÇ-2 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 3.11'de ve üç katlı çerçeve sistemlere ait MAÇ-3, D-MÇÇ-3 ve Ters V-MÇÇ-3 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 3.12'de verilmiştir.

Beş farklı dışmerkezlik (e) göz önüne alınarak ve diyagonal dışmerkez çapraz elemanlar kullanılarak oluşturulan bir katlı diyagonal dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait D-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-1-e<sub>5</sub> modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 3.13'te, iki katlı diyagonal dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait D-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-2-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-2-e<sub>5</sub> modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 3.14'te ve üç katlı diyagonal dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait D-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-3-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-3-e<sub>5</sub> modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 3.15'te verilmiştir.

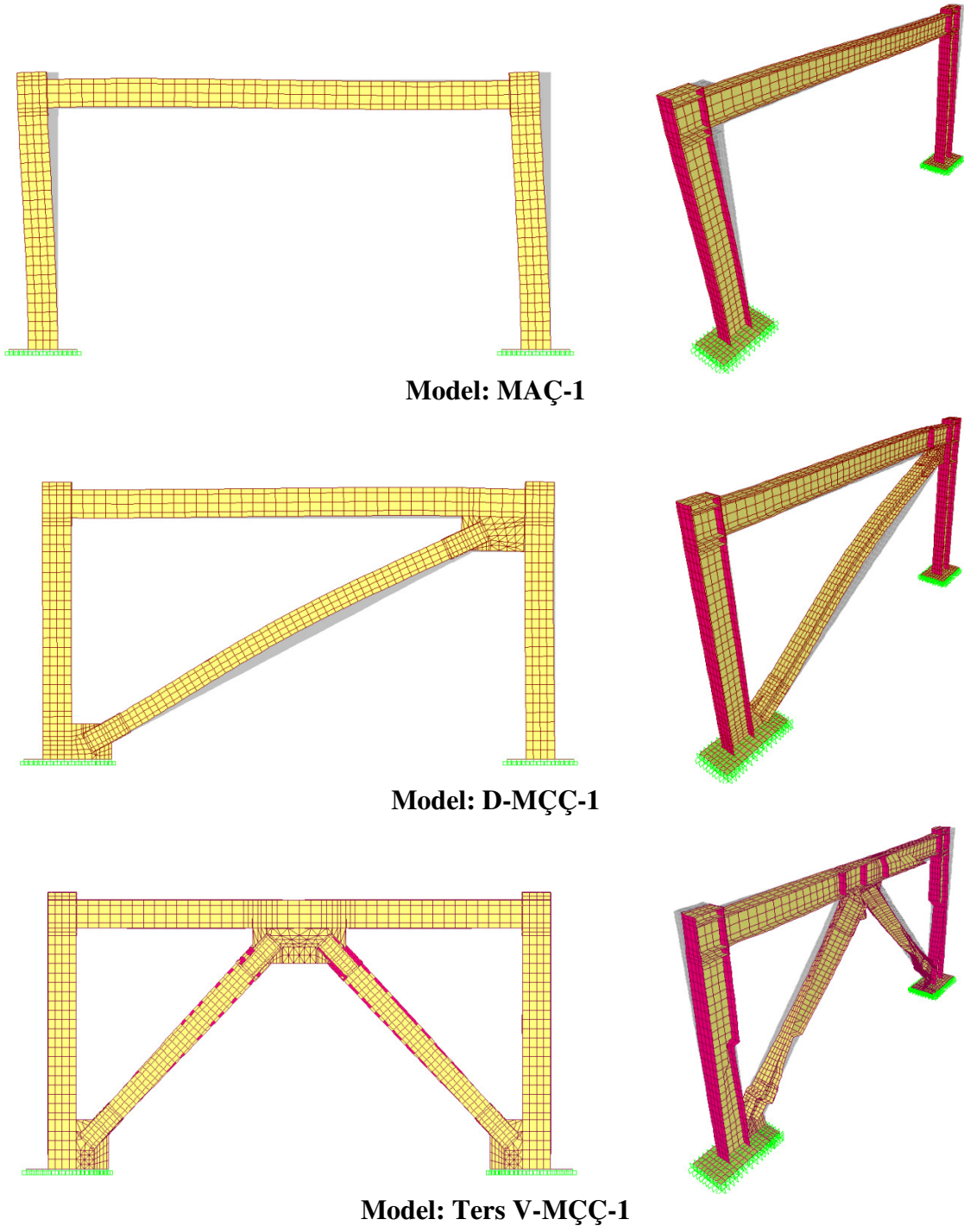
Beş farklı dışmerkezlik (e) göz önüne alınarak ve Ters V dışmerkez çapraz elemanlar kullanılarak oluşturulan bir katlı Ters V dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait Ters V-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-1-e<sub>5</sub> modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 3.16'da, iki katlı Ters V dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait Ters V-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-2-e<sub>5</sub> modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 3.17'de ve üç katlı Ters V dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait Ters V-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-3-e<sub>5</sub> modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 3.18'de verilmiştir.

Dikkate alınan bütün çerçeve sistemlerdeki yer değiştirmeler incelendiğinde en büyük yer değiştirmelerin MAÇ sistemlerde, en küçük yer değiştirmeler ise Ters V-MÇÇ sistemlerde meydana geldiği görülmektedir.

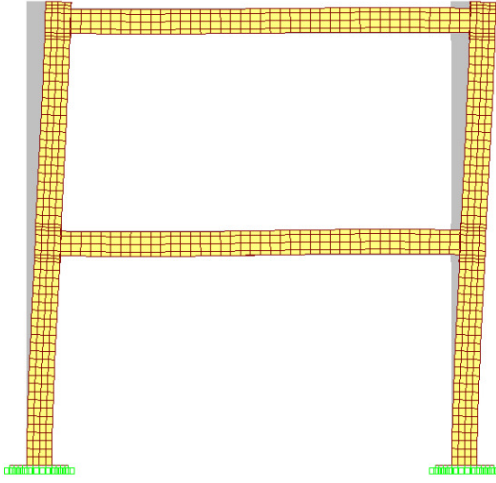
Ters V-MÇÇ modellerinin deforme olmuş şekilleri incelendiğinde, yer değiştirmelerin diğer sistemlerin aksine y-ekseni doğrultusunda meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, sistemlere yerleştirilen Ters V çapraz elemanların x-ekseni doğrultusunda büyük bir rijitlik sağlamasından kaynaklanmaktadır.

Dış merkez çapraz elemanlı çerçeve sistemlerde yer değiştirmeler incelendiğinde, bağ kiriş uzunluğunun artmasına bağlı olarak tepe yatay yer değiştirmelerin arttığı görülmektedir. Tek katlı Ters V-DÇÇ modellerinde meydana gelen tepe yatay yer değiştirmelerin tek katlı D-DÇÇ modellerindekinden daha büyük olduğu, 2 katlı ve üç katlı modellerde ise daha küçük olduğu görülmüştür.

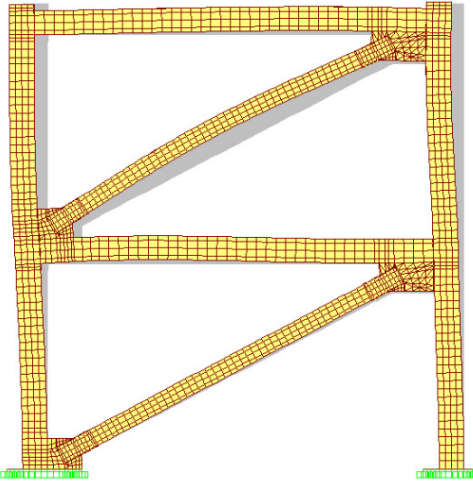
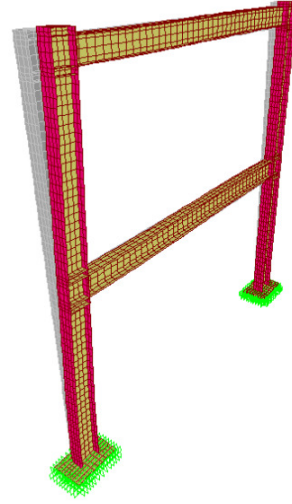




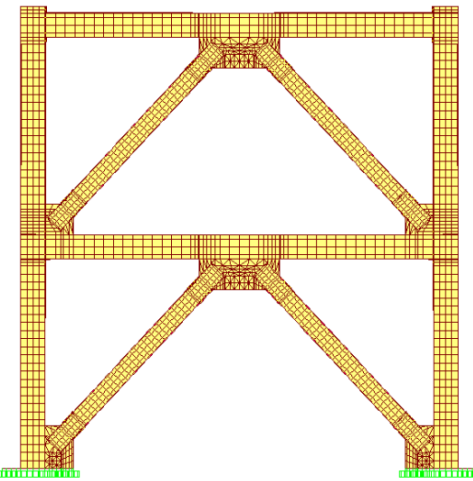
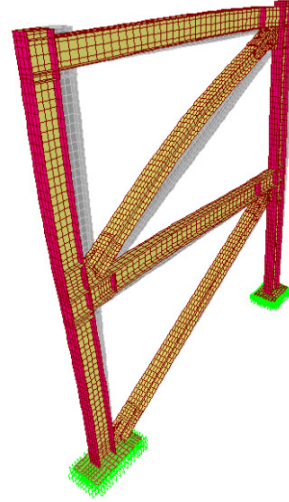
Şekil 3.1. MAÇ-1, D-MÇÇ-1 ve Ters V-MÇÇ-1 modellerinin deformasyon yapmış halleri



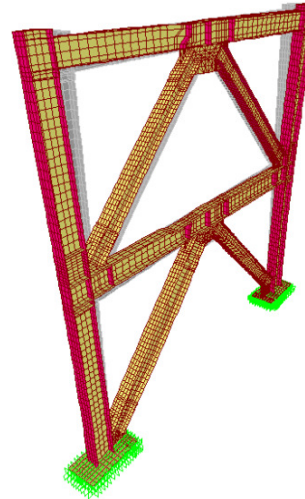
**Model: MAÇ-2**



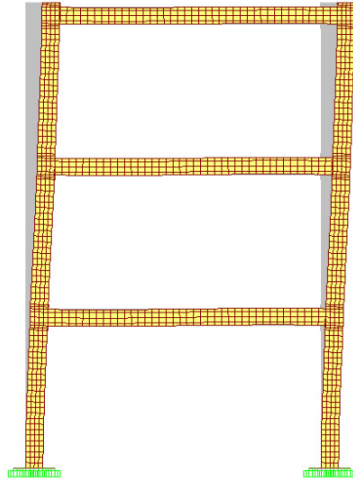
**Model: D-MÇÇ-2**



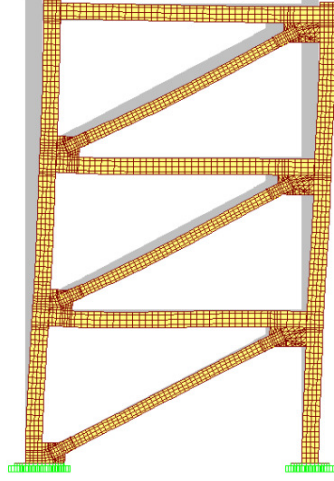
**Model: Ters V-MÇÇ-2**



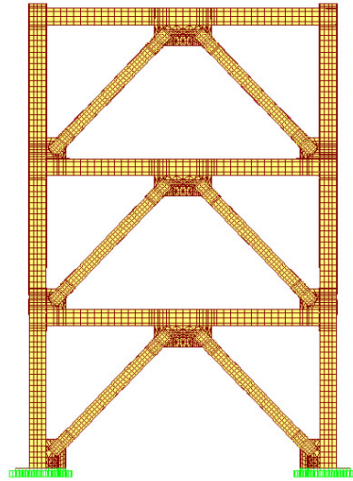
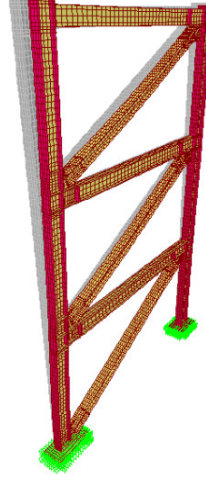
Şekil 3.2. MAÇ-2, D-MÇÇ-2 ve Ters V-MÇÇ-2 modellerinin deformasyon yapmış halleri



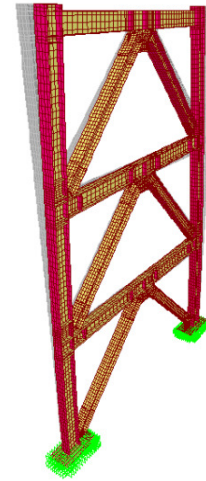
**Model: MAÇ-3**



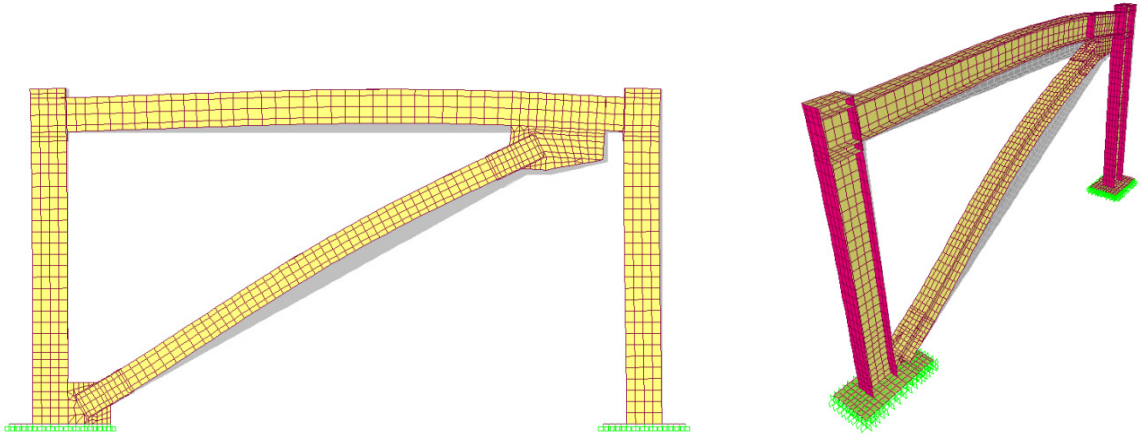
**Model: D-MÇÇ-3**



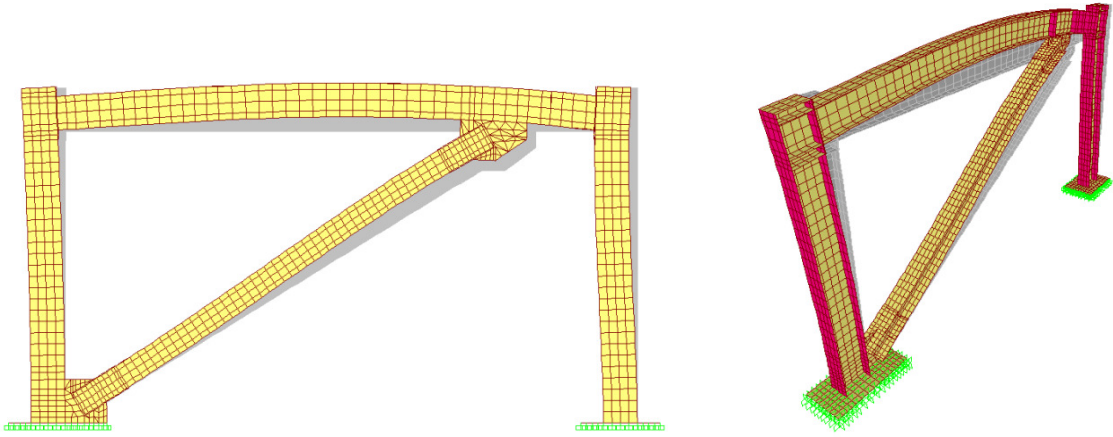
**Model: Ters V-MÇÇ-3**



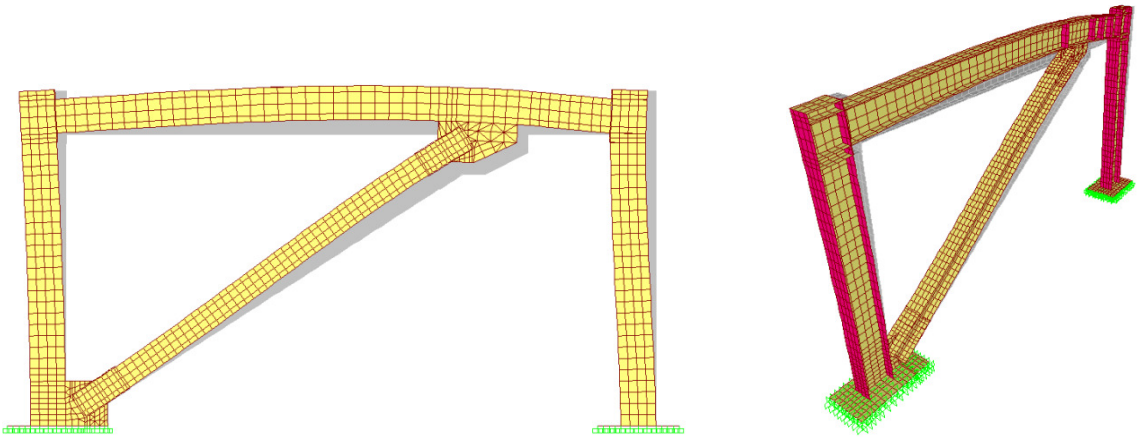
Şekil 3.3. MAÇ-3, D-MÇÇ-3 ve Ters V-MÇÇ-3 modellerinin deformasyon yapmış halleri



**Model: D-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>**



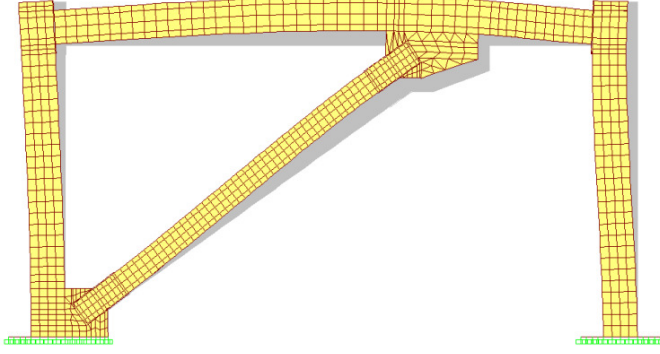
**Model: D-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>**



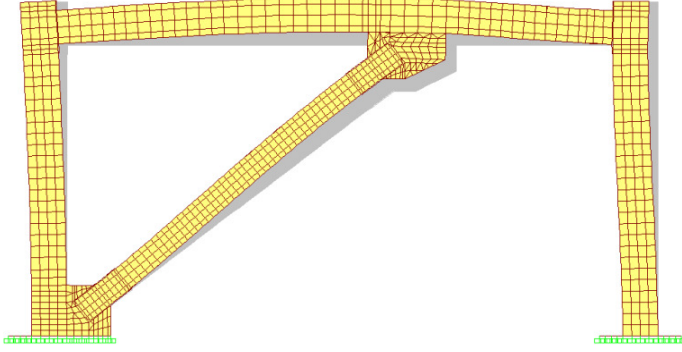
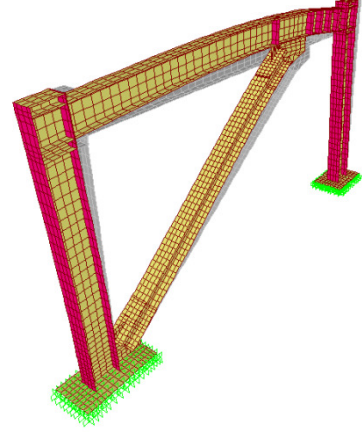
**Model: D-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>**

Şekil 3.4. D-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-1-e<sub>5</sub> modellerinin deformasyon yapmış halleri

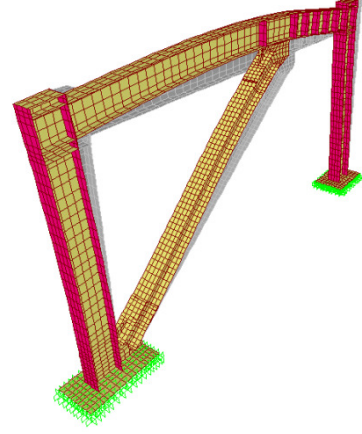
Şekil 3.4'ün devamı



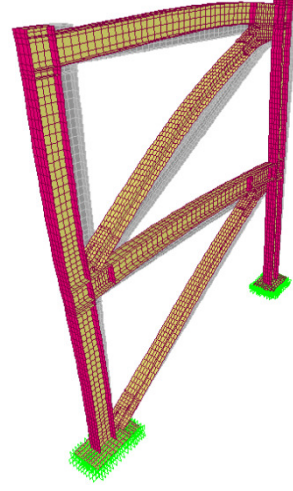
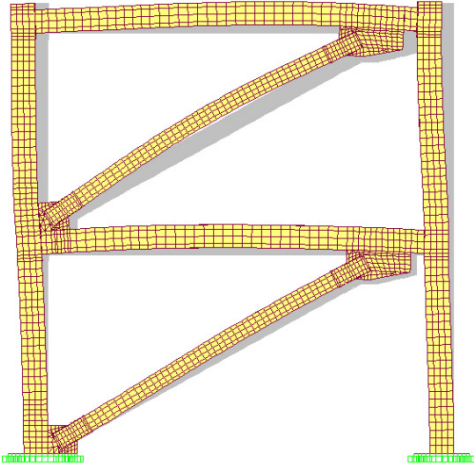
**Model: D-DÇÇ-1-e<sub>4</sub>**



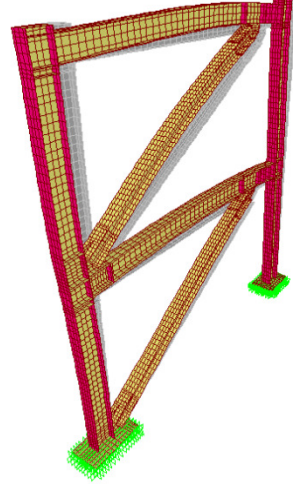
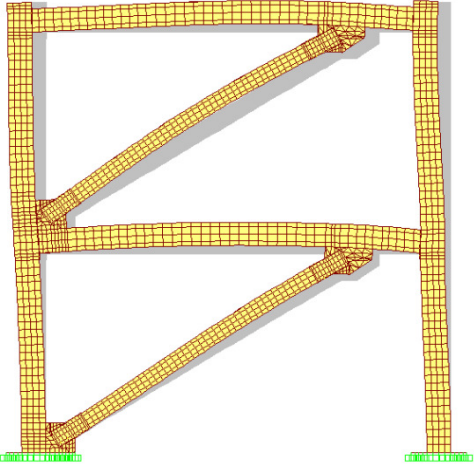
**Model: D-DÇÇ-1-e<sub>5</sub>**



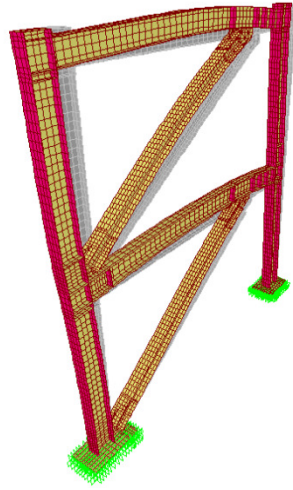
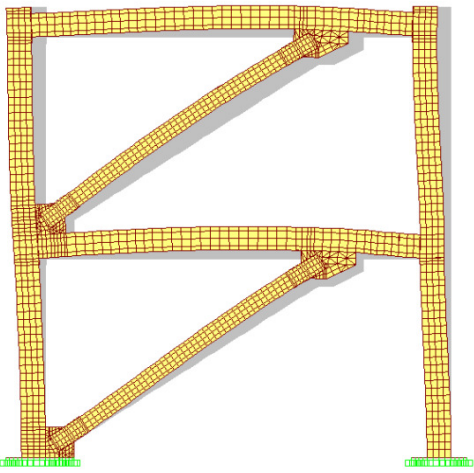




**Model: D-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>**



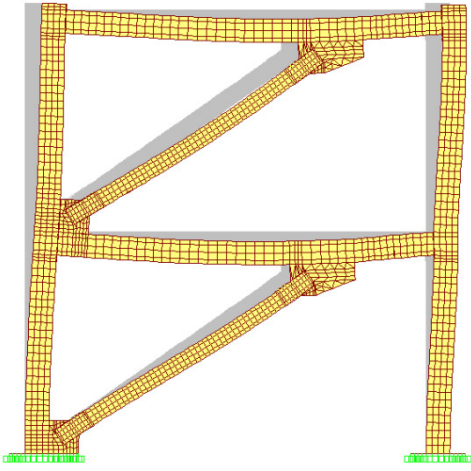
**Model: D-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>**



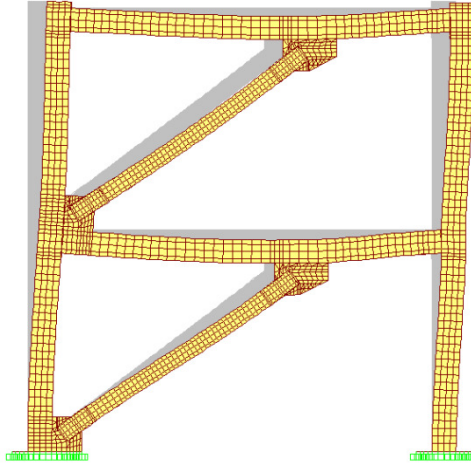
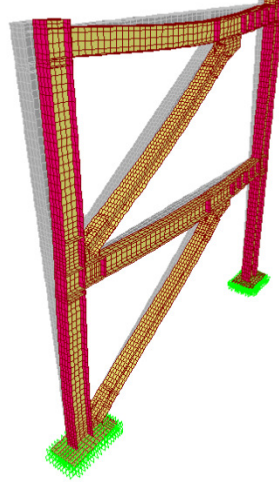
**Model: D-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>**

Şekil 3.5. D-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-2-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-2-e<sub>5</sub> modellerinin deformasyon yapmış halleri

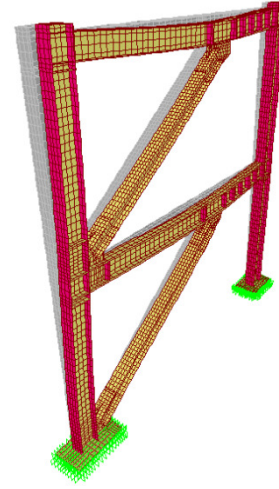
Şekil 3.5'in devamı

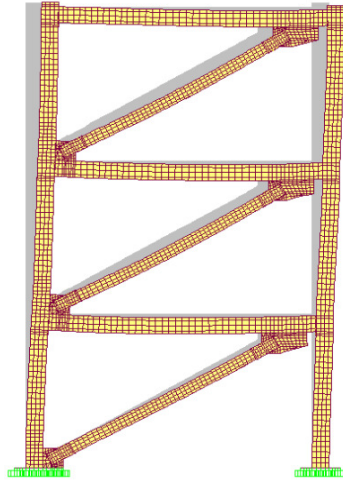


**Model: D-DÇÇ-2-e<sub>4</sub>**

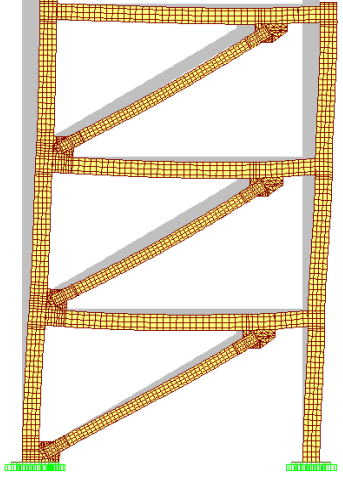
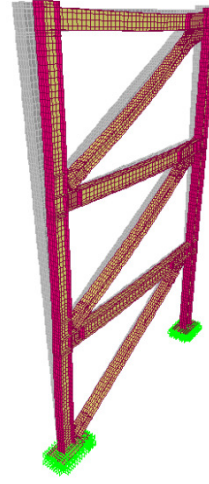


**Model: D-DÇÇ-2-e<sub>5</sub>**

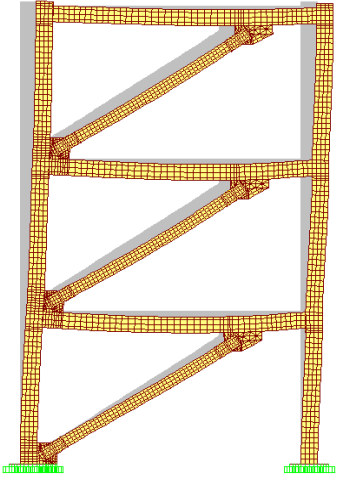
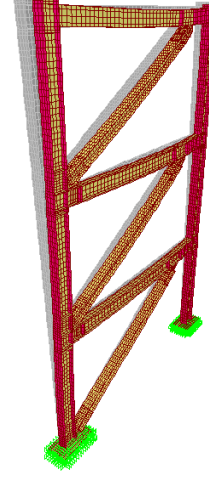




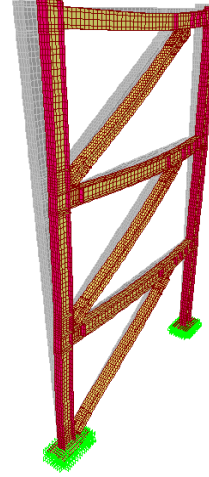
**Model: D-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>**



**Model: D-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>**



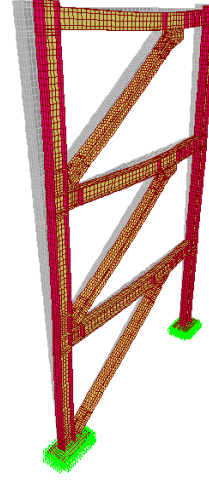
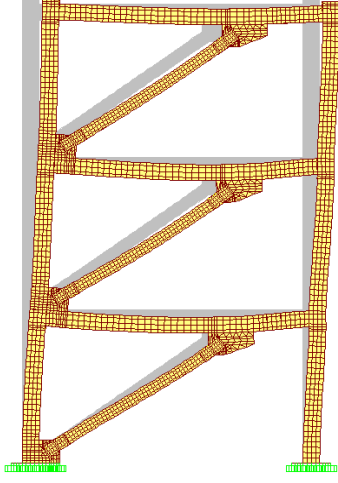
**Model: D-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>**



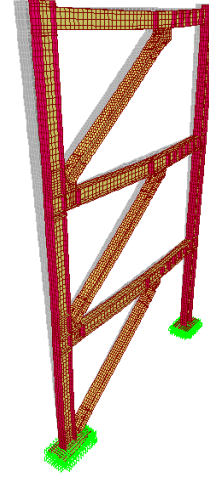
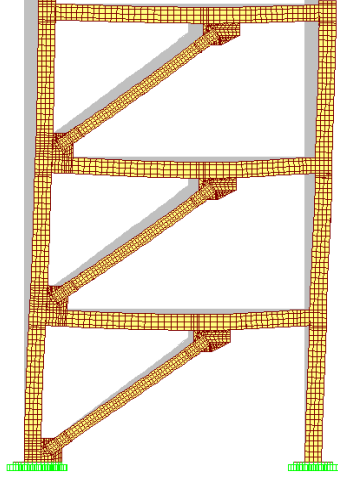
Şekil 3.6. D-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-3-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-3-e<sub>5</sub> modellerinin deformasyon yapmış halleri



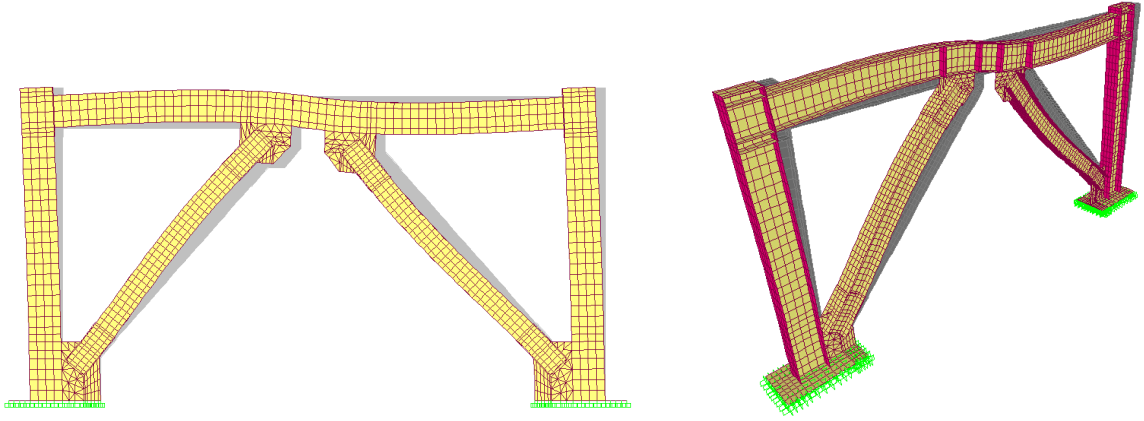
Şekil 3.6'nın devamı



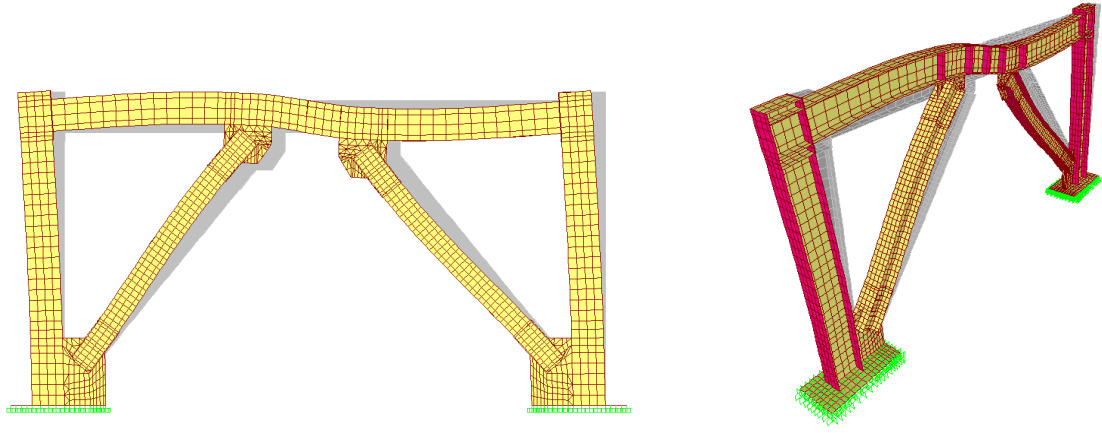
**Model: D-DÇÇ-3-e<sub>4</sub>**



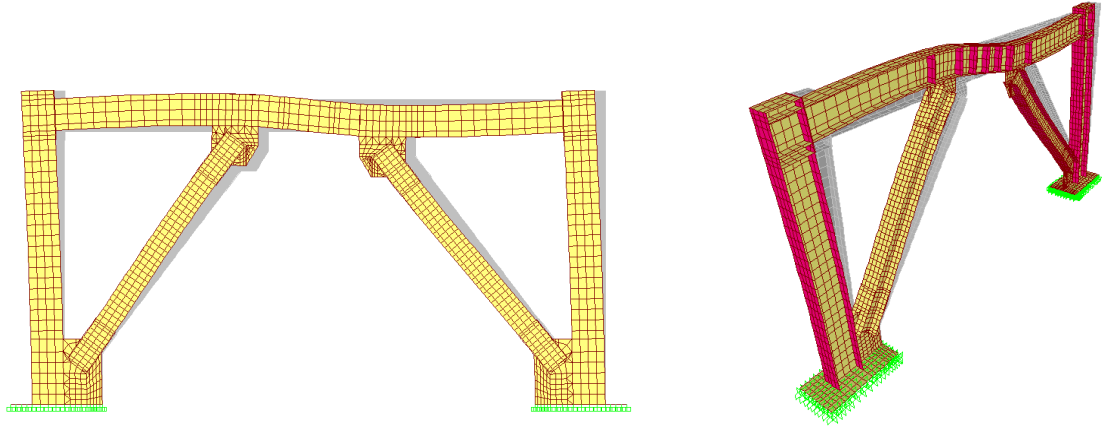
**Model: D-DÇÇ-3-e<sub>5</sub>**



**Model: Ters V-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>**



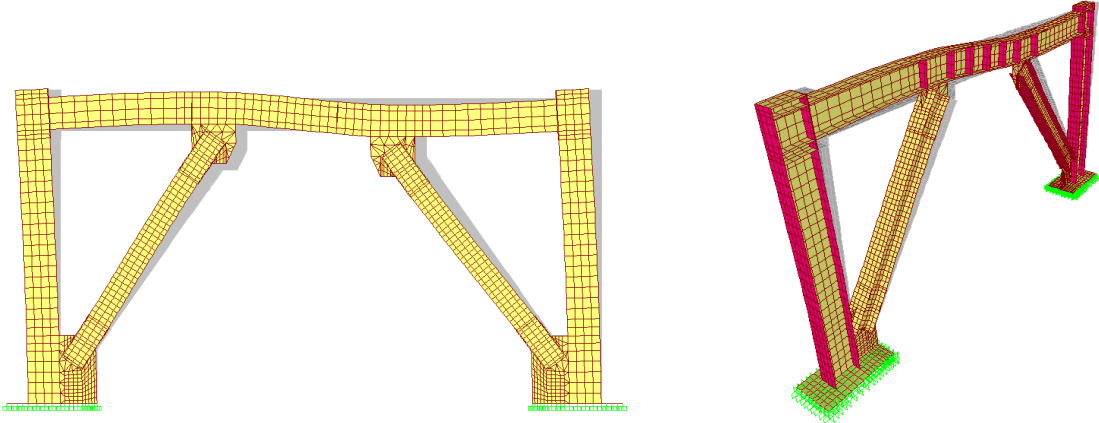
**Model: Ters V-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>**



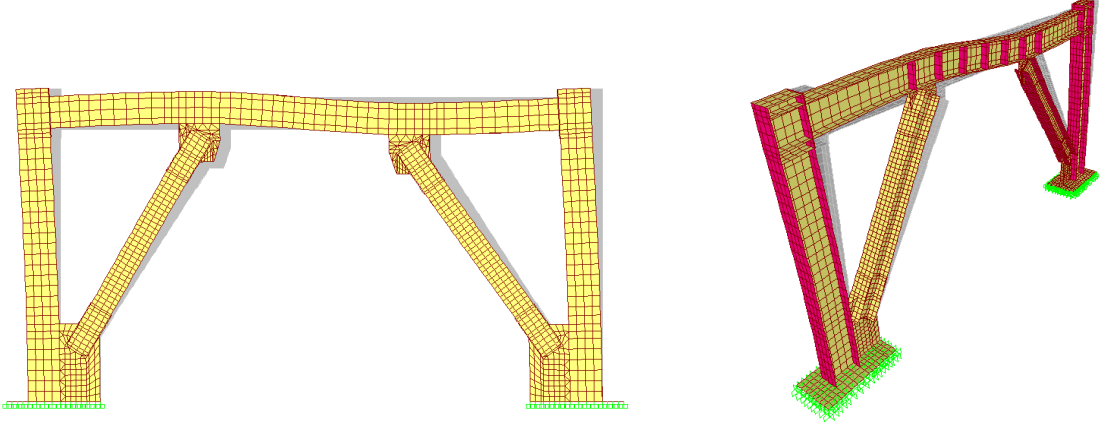
**Model: Ters V-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>**

Şekil 3.7. Ters V-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-1-e<sub>5</sub> modellerinin deformasyon yapmış halleri

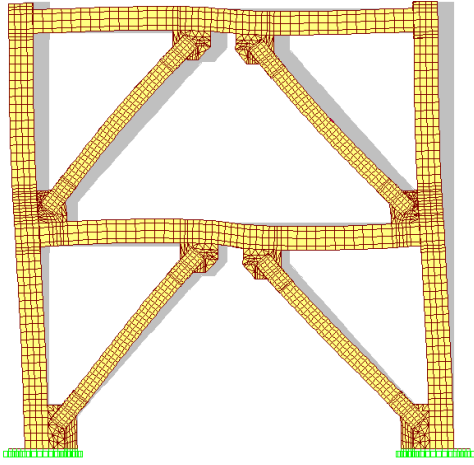
Şekil 3.7'nin devamı



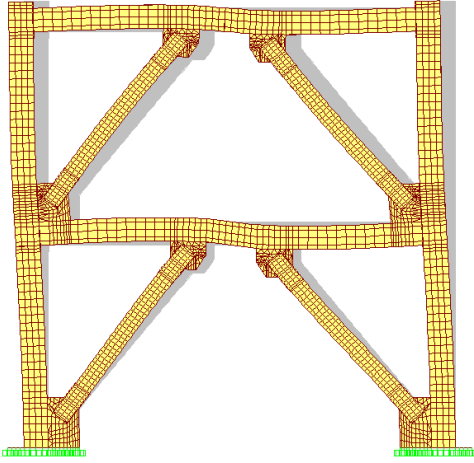
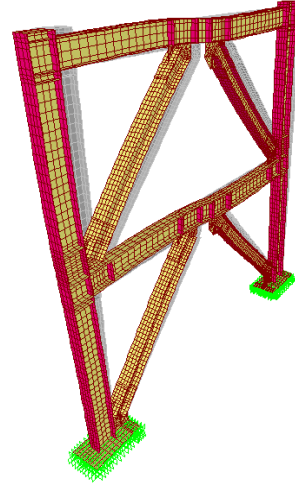
**Model: Ters V-DÇÇ-1-e<sub>4</sub>**



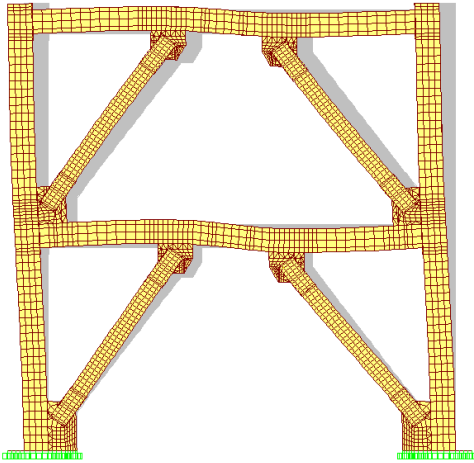
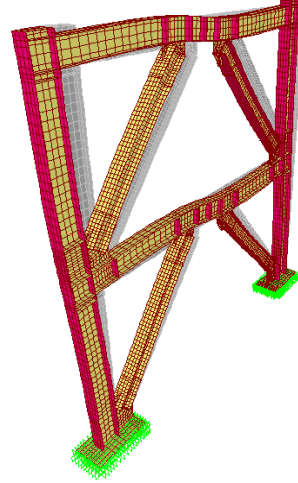
**Model: Ters V-DÇÇ-1-e<sub>5</sub>**



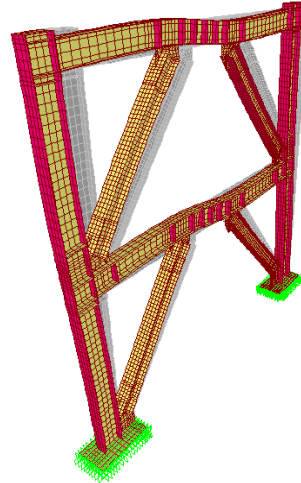
**Model: Ters V-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>**



**Model: Ters V-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>**

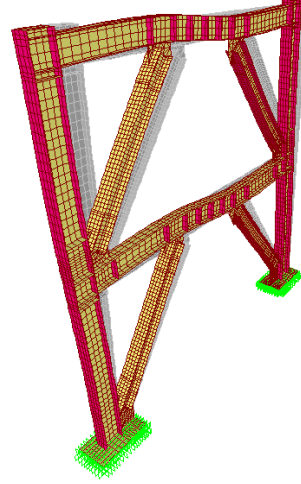
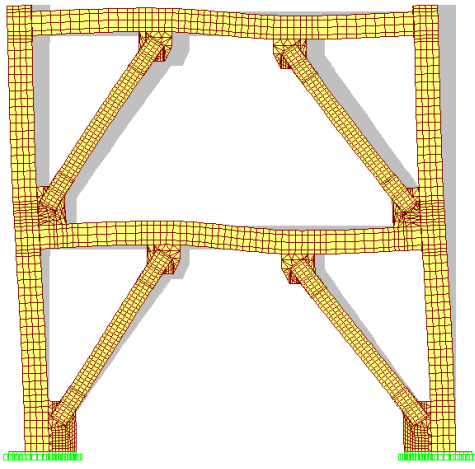


**Model: Ters V-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>**

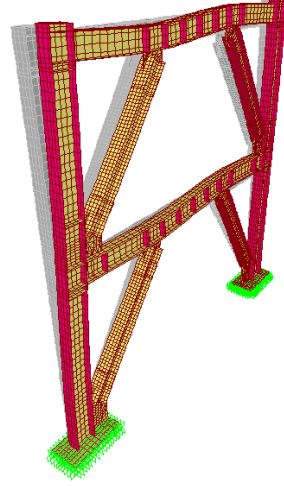
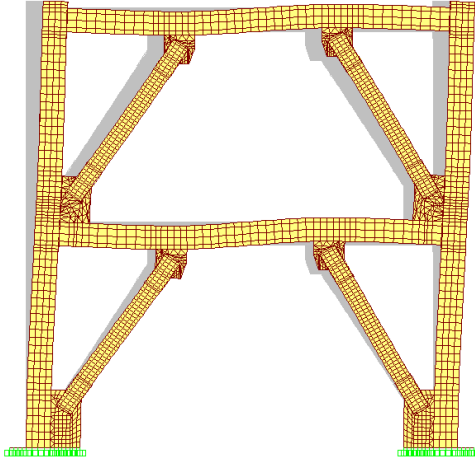


Şekil 3.8. Ters V-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-2-e<sub>5</sub> modellerinin deformasyon yapmış halleri

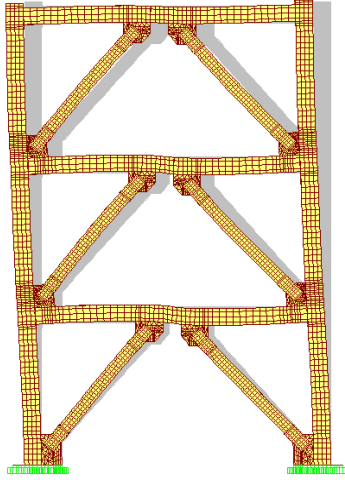
Şekil 3.8'in devamı



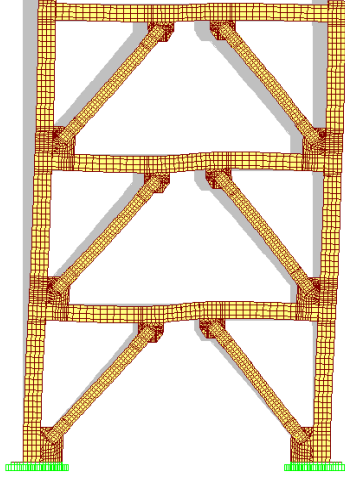
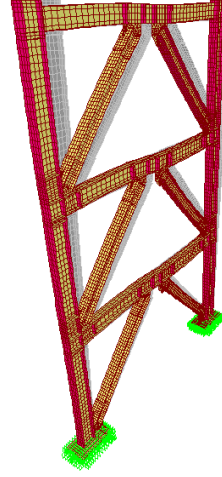
**Model: Ters V-DÇÇ-2-e<sub>4</sub>**



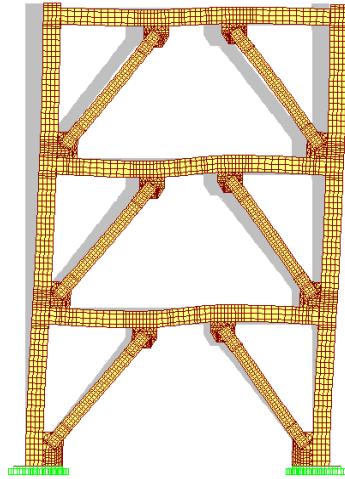
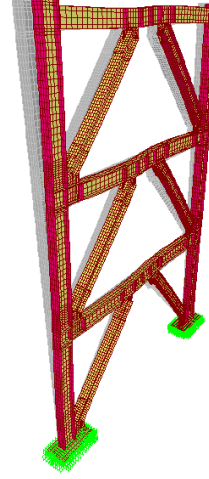
**Model: Ters V-DÇÇ-2-e<sub>5</sub>**



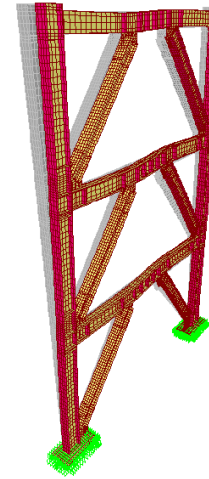
**Model: Ters V-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>**



**Model: Ters V-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>**

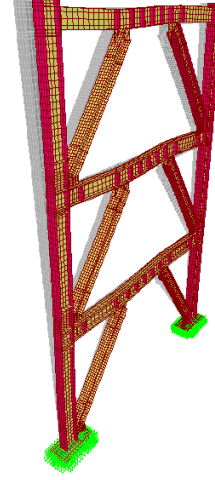
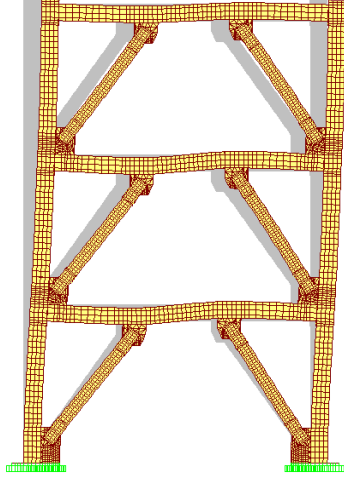


**Model: Ters V-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>**

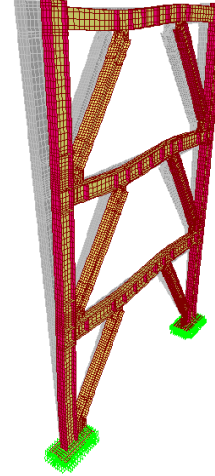
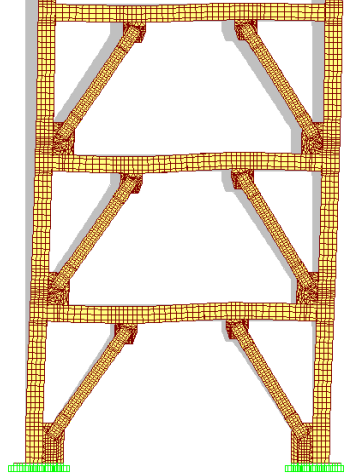


Şekil 3.9. Ters V-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-3-e<sub>5</sub> modellerinin deformasyon yapmış halleri

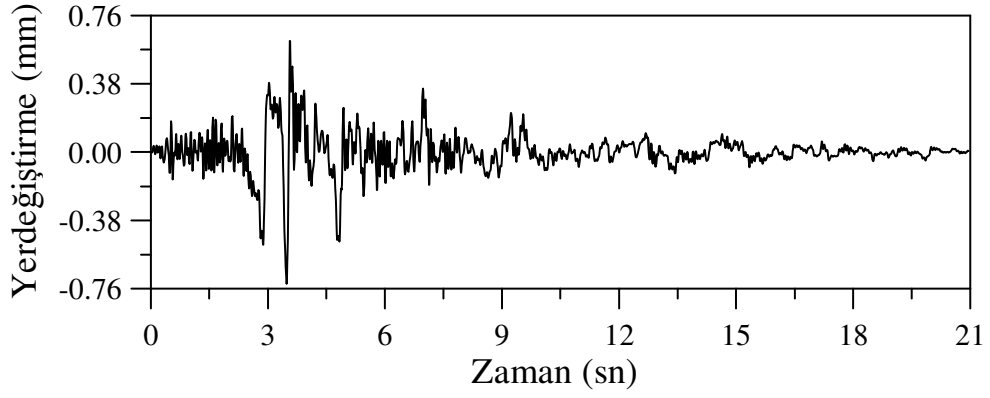
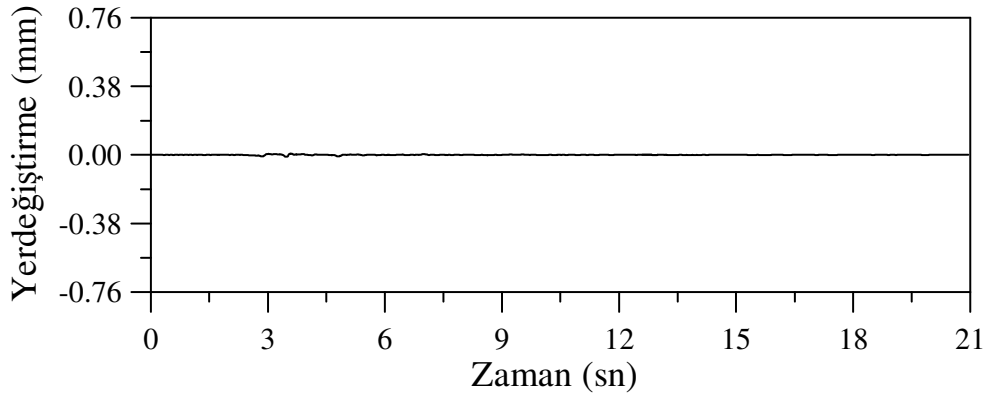
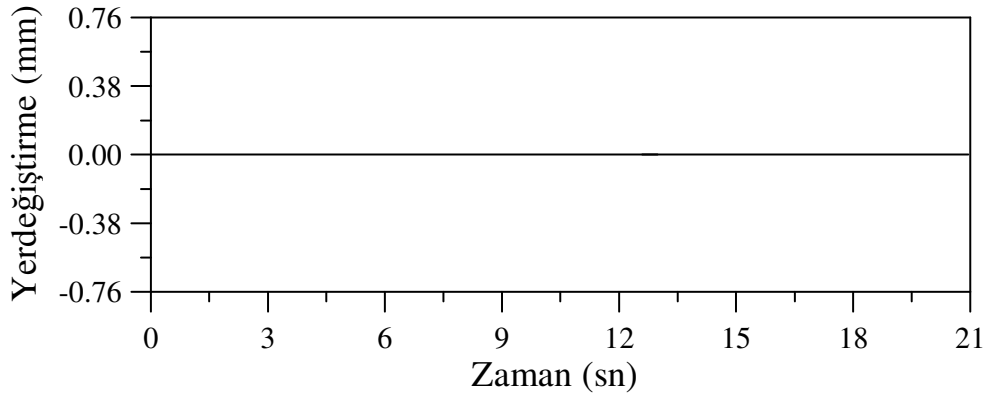
Şekil 3.9'un devamı



**Model: Ters V-DÇÇ-3-e<sub>4</sub>**

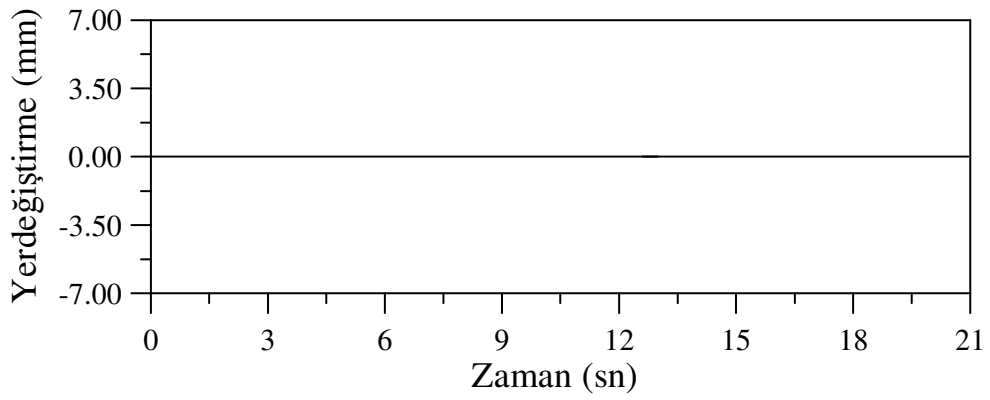
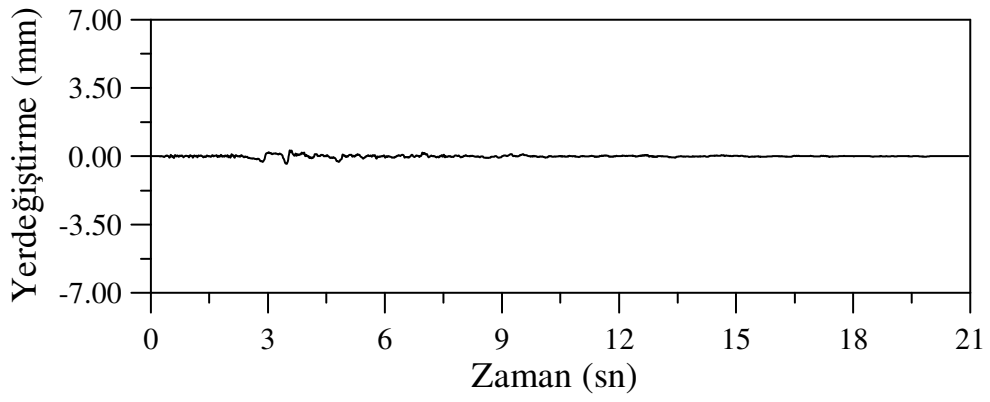
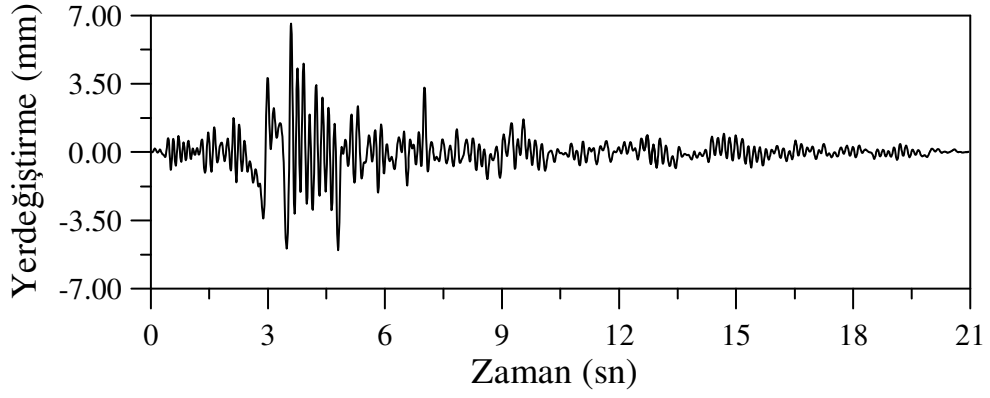


**Model: Ters V-DÇÇ-3-e<sub>5</sub>**

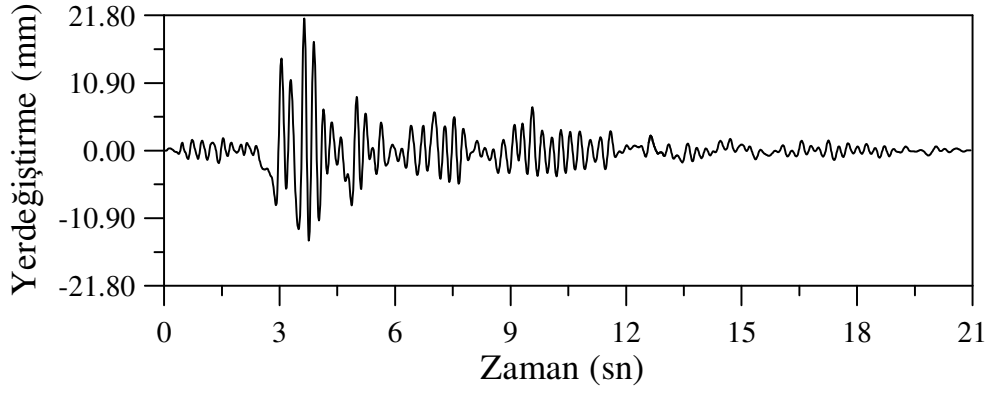
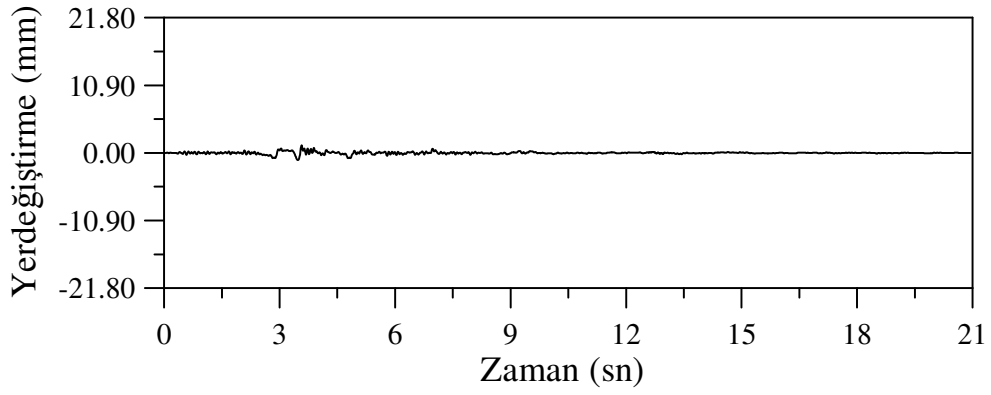
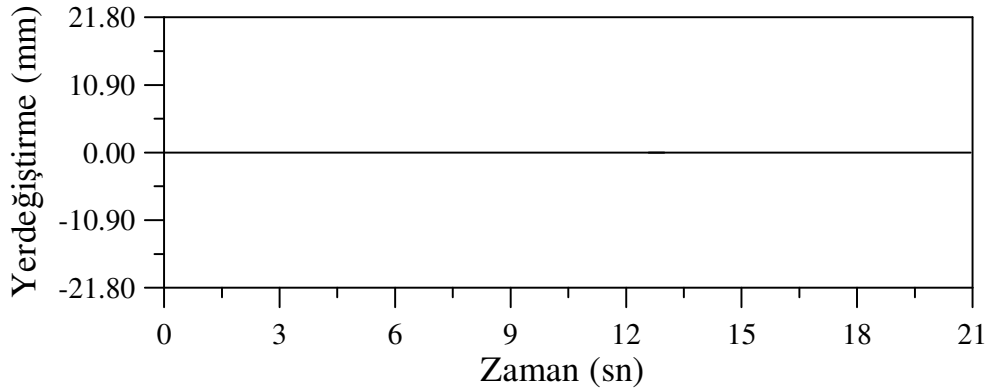
**Model: MAÇ-1****Model: D-MÇÇ-1****Model: Ters V-MÇÇ-1**

Şekil 3.10. MAÇ-1, D-MÇÇ-1 ve Ters V-MÇÇ-1 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi

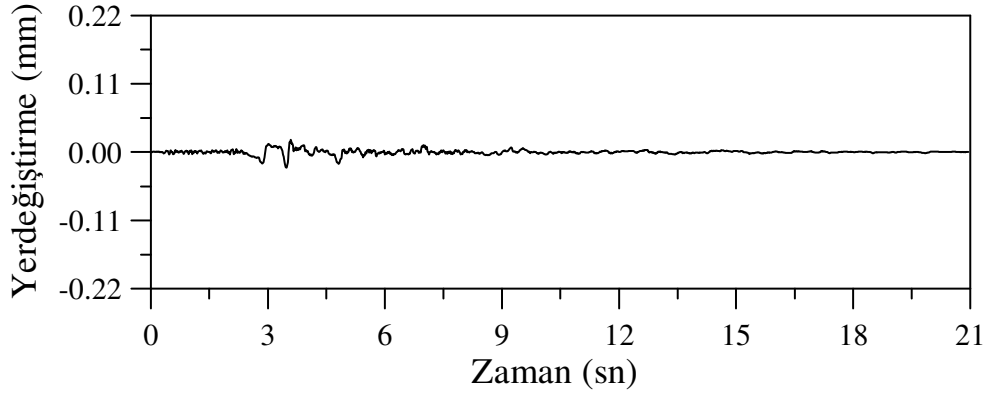




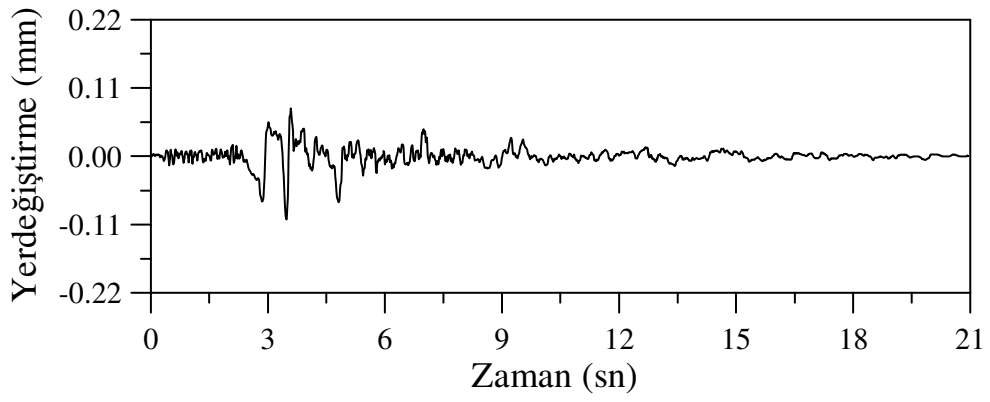
Şekil 3.11.MAÇ-2, D-MÇÇ-2 ve Ters V-MÇÇ-2 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi

**Model: MAÇ-2****Model: D-MÇÇ-2****Model: Ters V-MÇÇ-3**

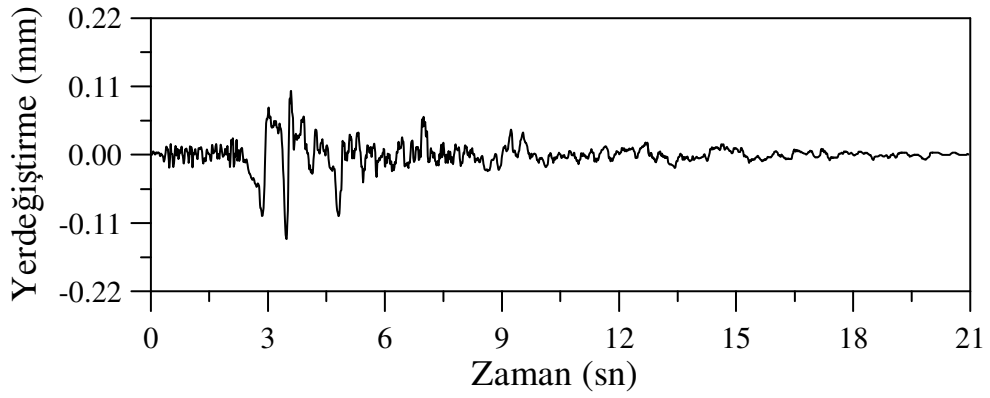
Şekil 3.12.MAÇ-3, D-MÇÇ-3 ve Ters V-MÇÇ-3 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi



**Model: D-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>**



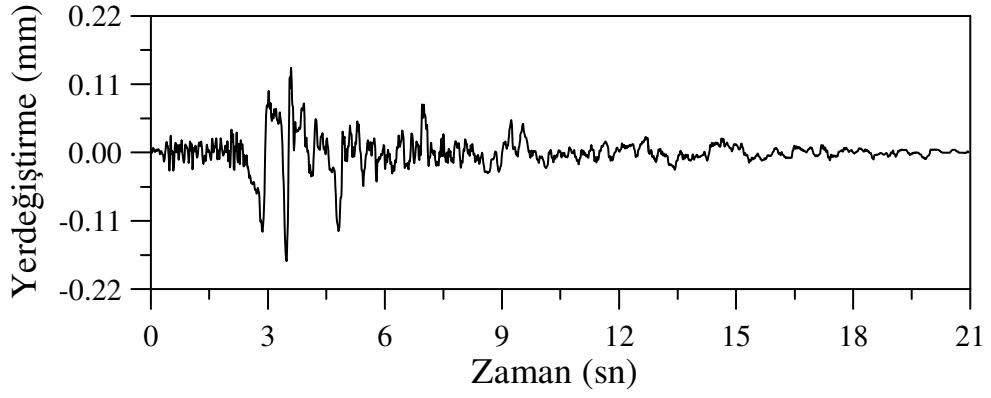
**Model: D-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>**



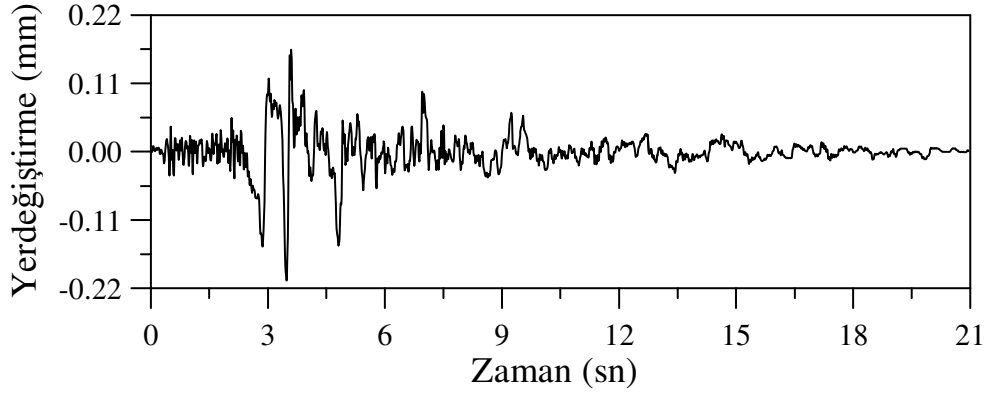
**Model: D-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>**

Şekil 3.13. D-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-1-e<sub>5</sub> modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi

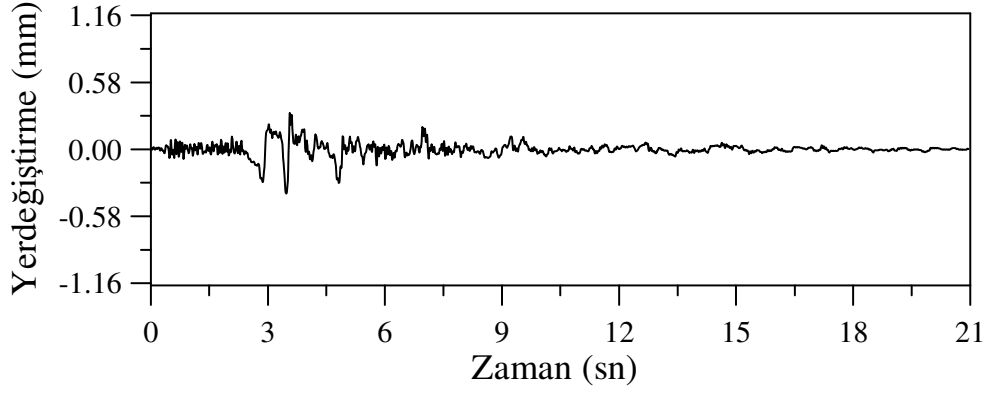
Şekil 3.13'ün devamı



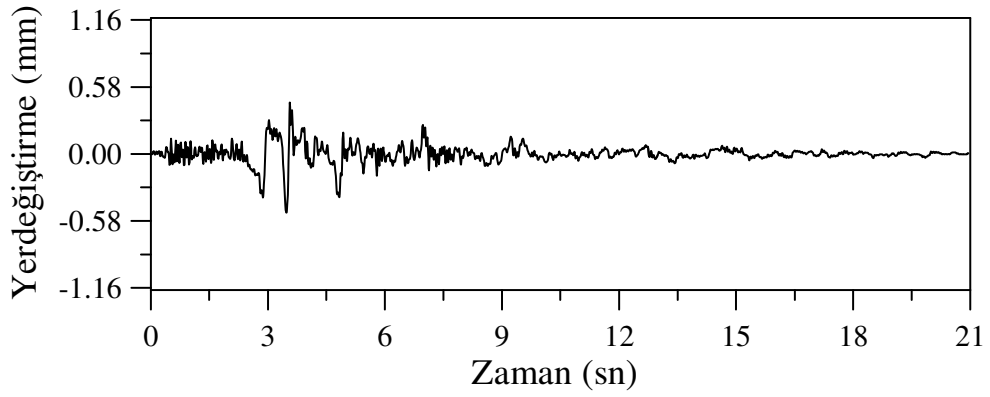
**Model: D-DÇÇ-1-e<sub>4</sub>**



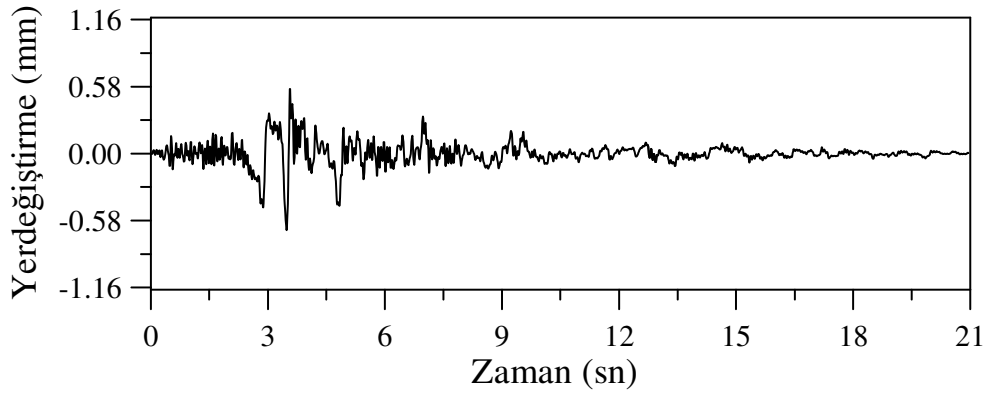
**Model: D-DÇÇ-1-e<sub>5</sub>**



**Model: D-DCÇ-2-e<sub>1</sub>**



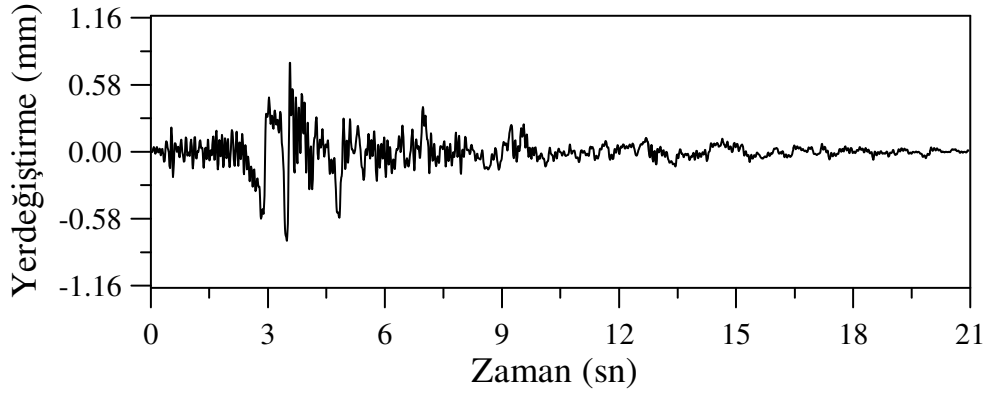
**Model: D-DCÇ-2-e<sub>2</sub>**



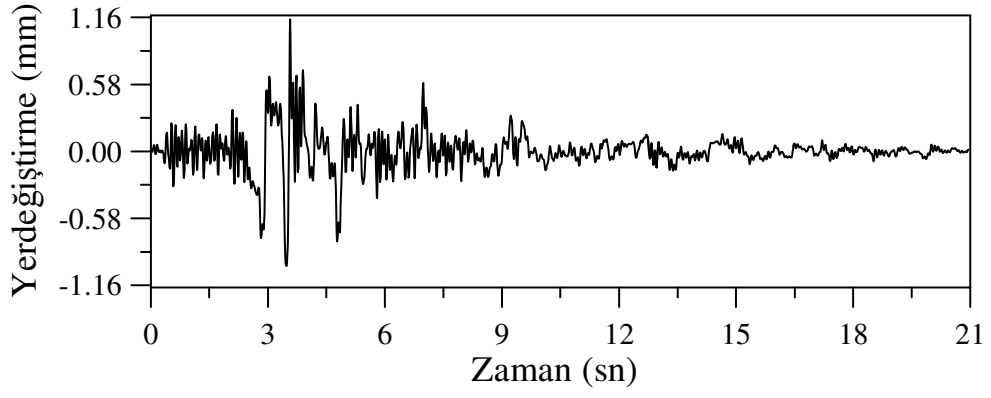
**Model: D-DCÇ-2-e<sub>3</sub>**

Şekil 3.14. D-DCÇ-2-e<sub>1</sub>, D-DCÇ-2-e<sub>2</sub>, D-DCÇ-2-e<sub>3</sub>, D-DCÇ-2-e<sub>4</sub> ve D-DCÇ-2-e<sub>5</sub> modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi

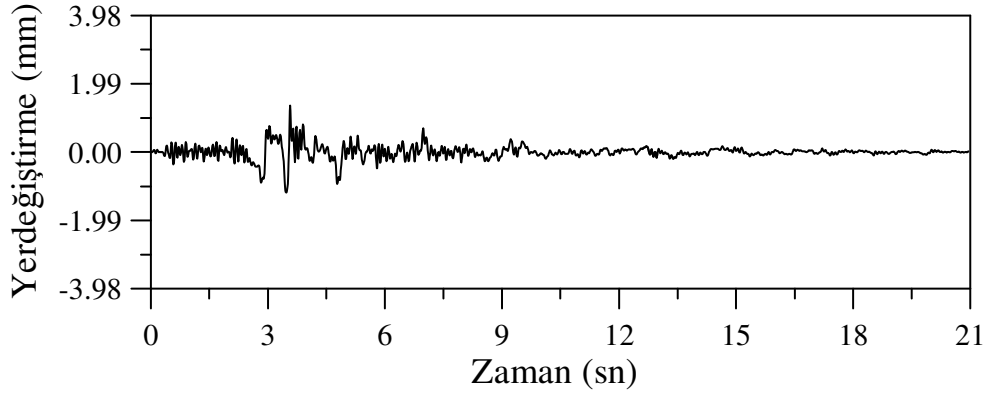
Şekil 3.14'ün devamı



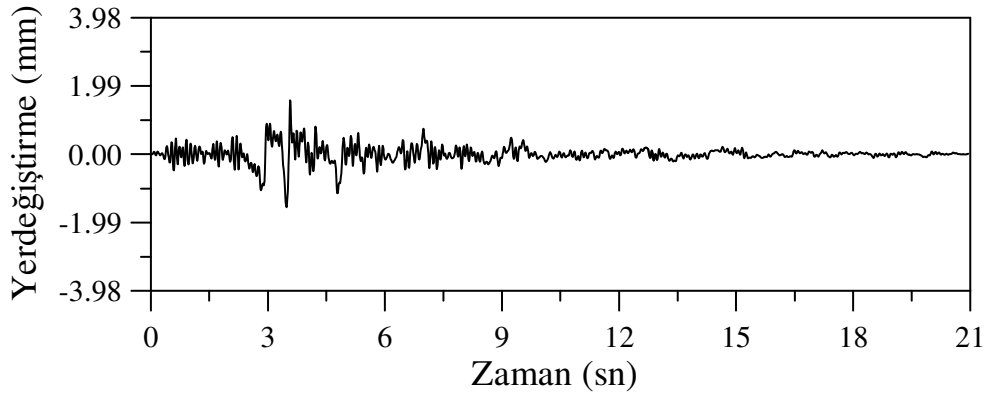
**Model: D-DÇÇ-2-e<sub>4</sub>**



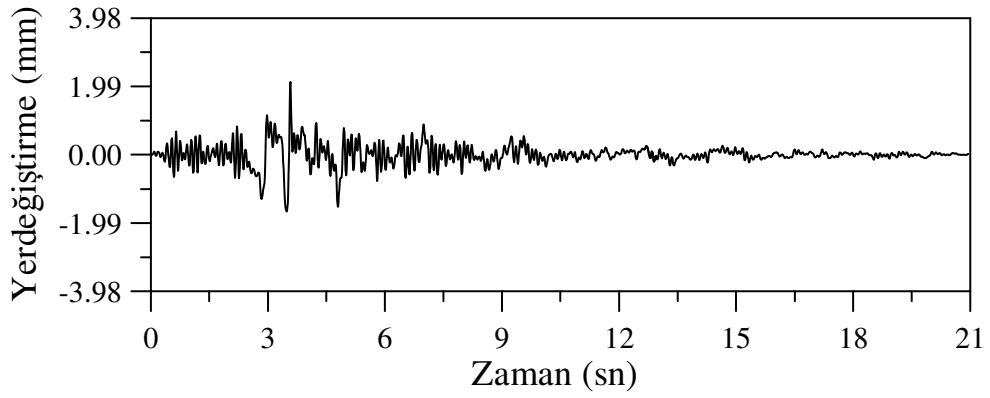
**Model: D-DÇÇ-2-e<sub>5</sub>**



**Model: D-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>**



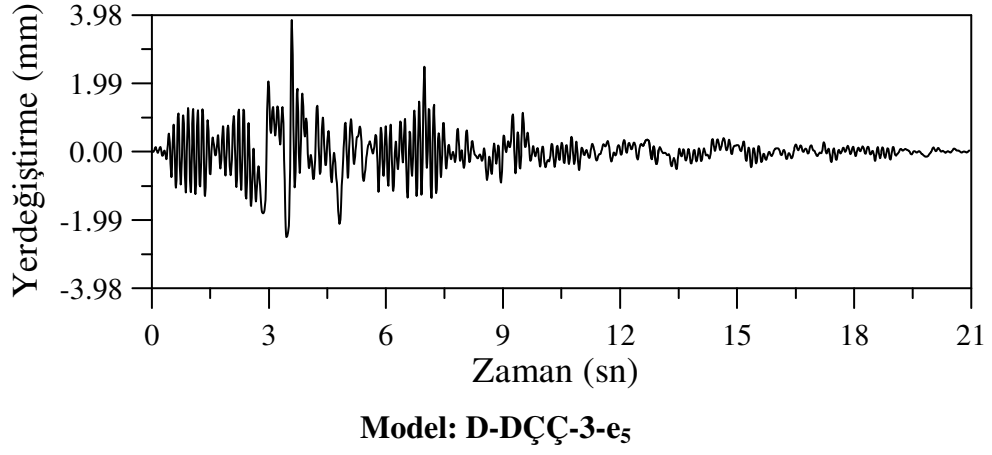
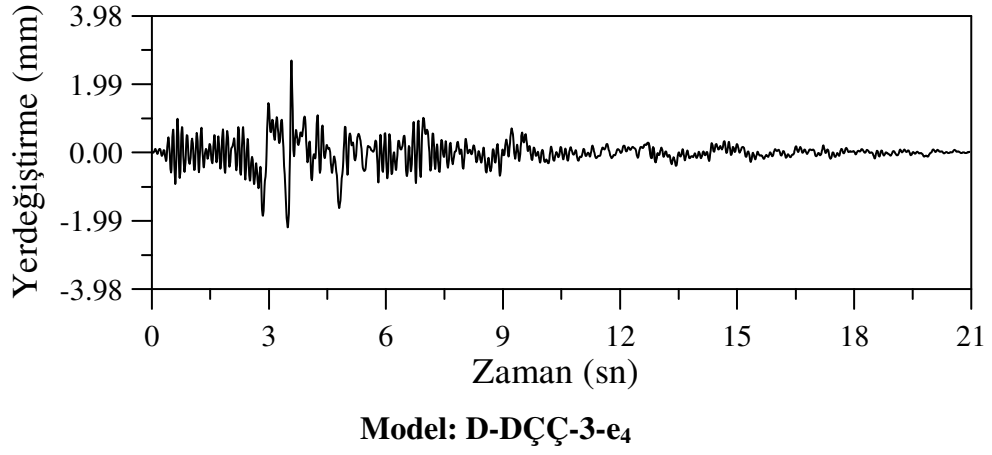
**Model: D-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>**



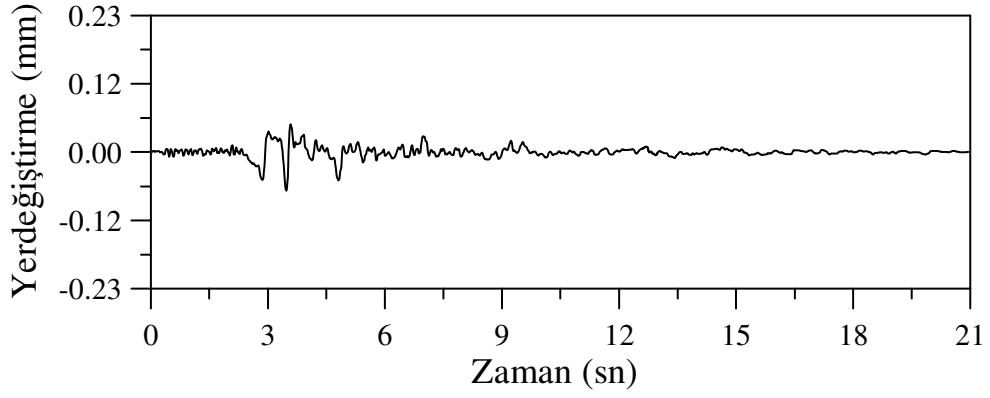
**Model: D-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>**

Şekil 3.15.D-DÇÇ-3-e1, D-DÇÇ-3-e2, D-DÇÇ-3-e3, D-DÇÇ-3-e4 ve D-DÇÇ-3-e5 modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi

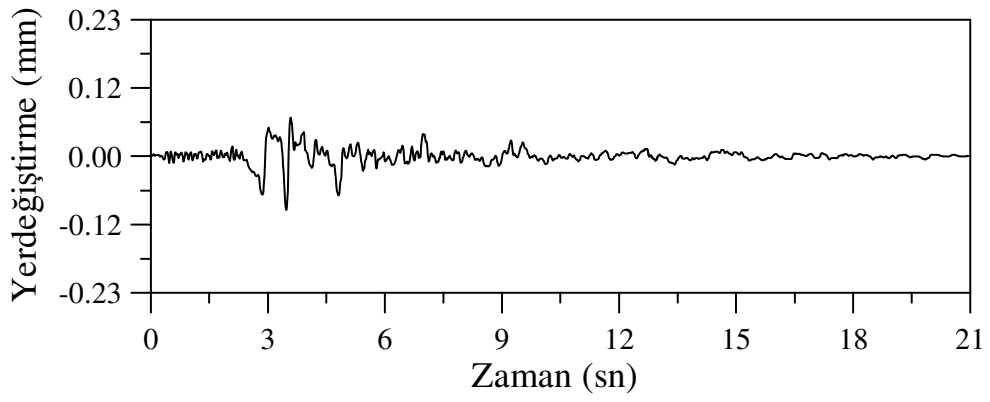
Şekil 3.15'in devamı



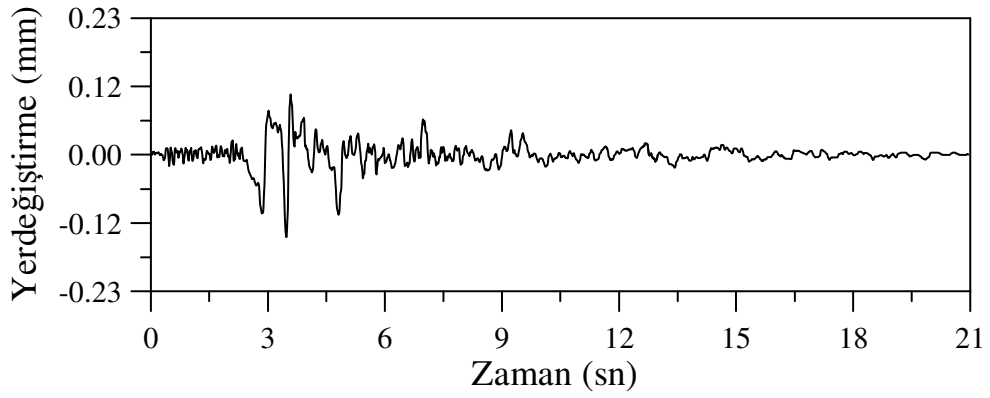




**Model: Ters V-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>**



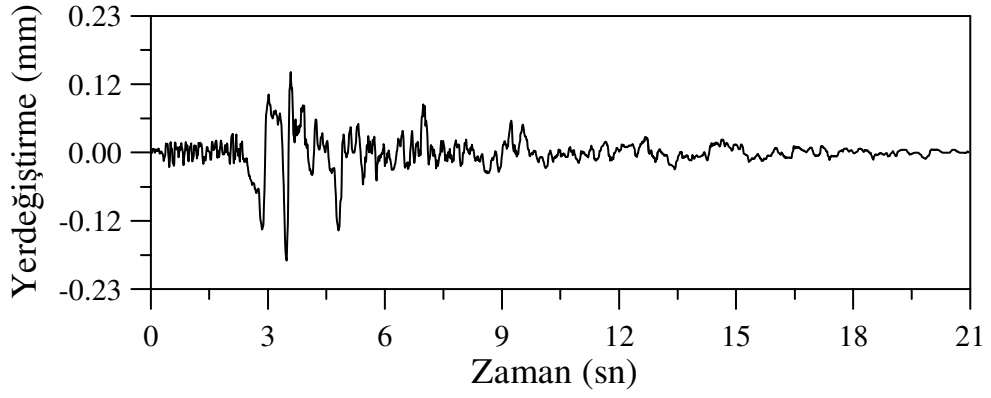
**Model: Ters V-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>**



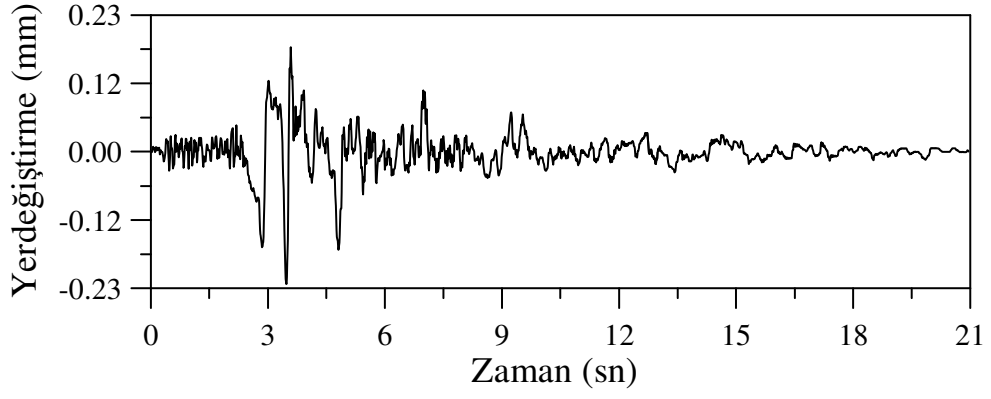
**Model: Ters V-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>**

Şekil 3.16. Ters V-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-1-e<sub>5</sub> modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi

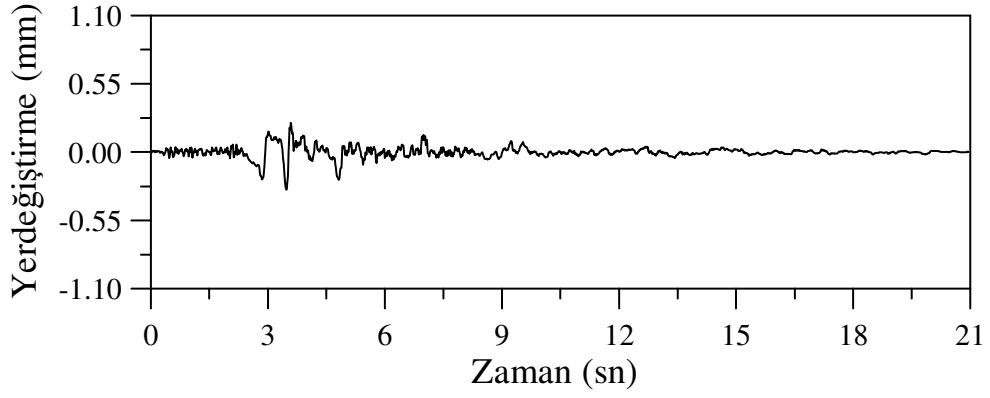
Şekil 3.16'nın devamı



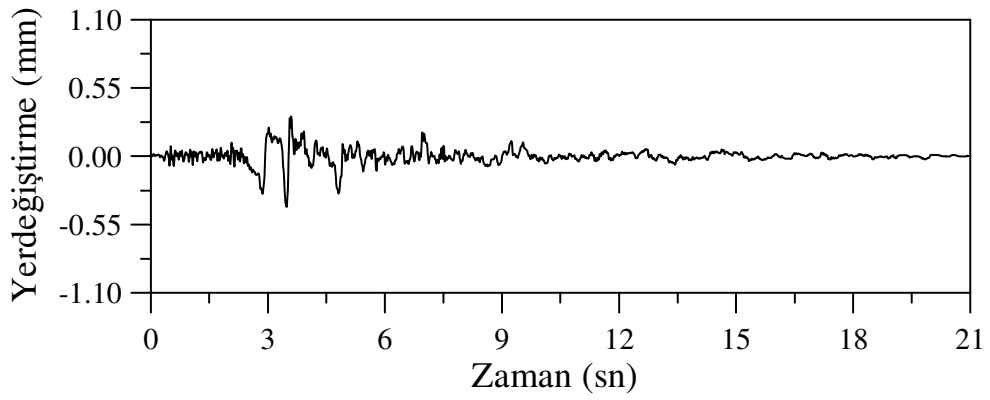
**Model: Ters V-DÇÇ-1-e<sub>4</sub>**



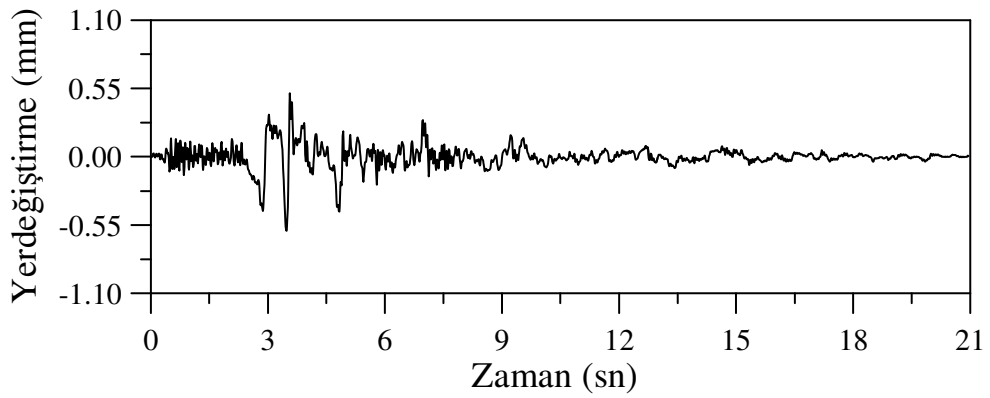
**Model: Ters V-DÇÇ-1-e<sub>5</sub>**



**Model: Ters V-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>**



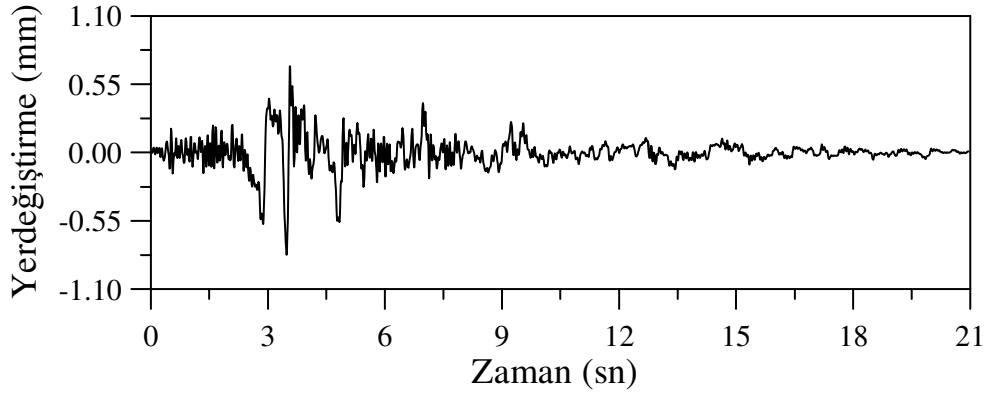
**Model: Ters V-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>**



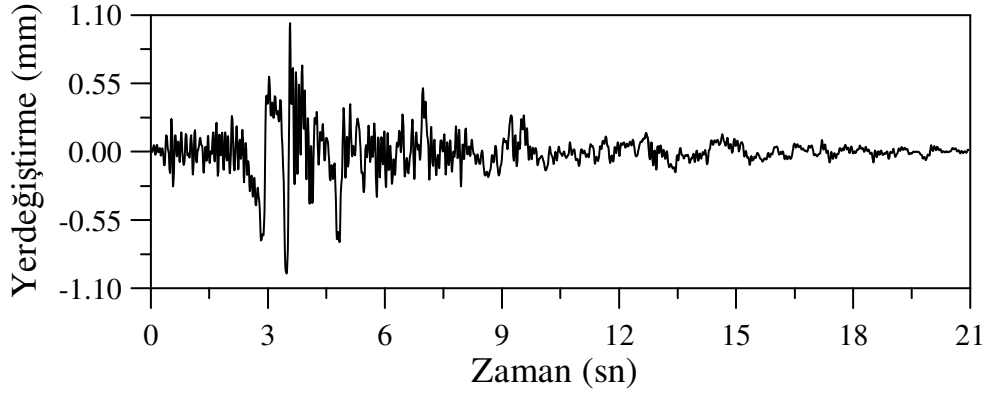
**Model: Ters V-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>**

Şekil 3.17. Ters V-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-2-e<sub>5</sub> modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi

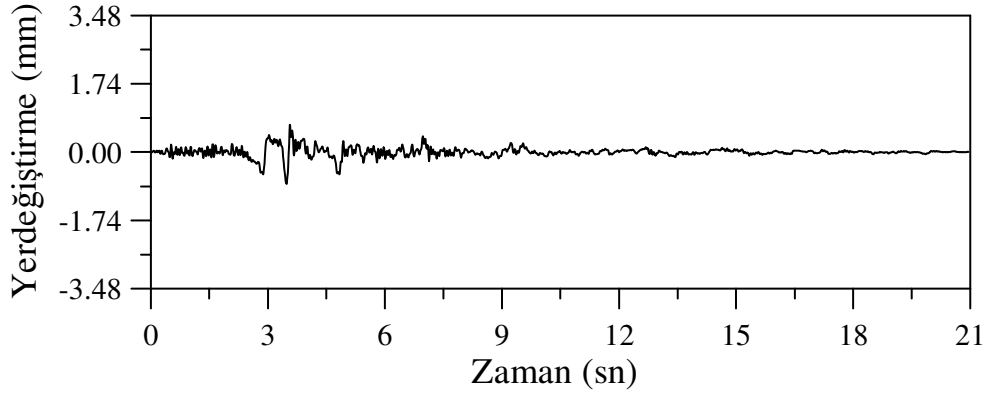
Şekil 3.17'nin devamı



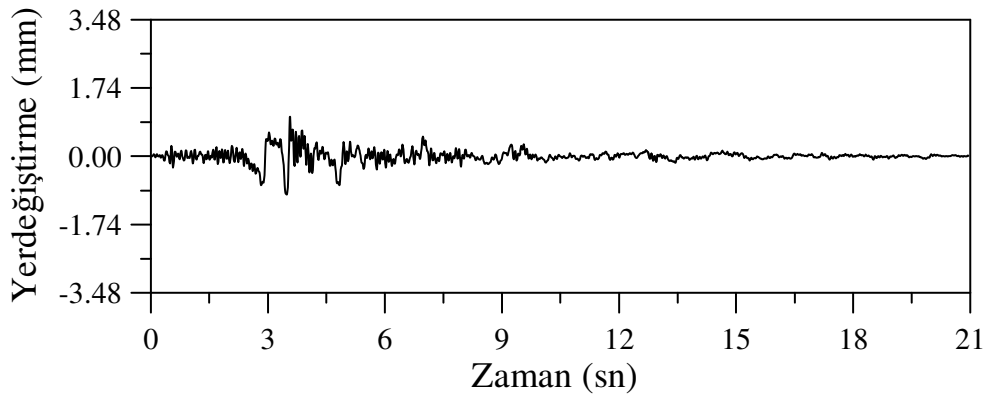
**Model: Ters V-DÇÇ-2-e<sub>4</sub>**



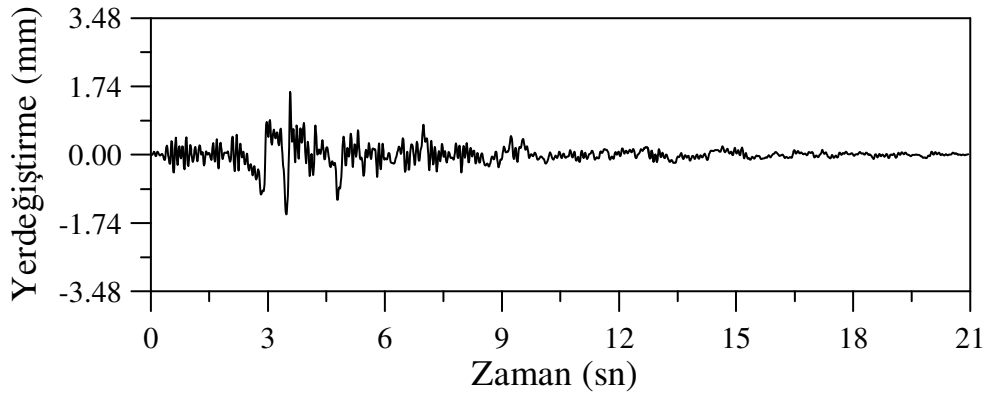
**Model: Ters V-DÇÇ-2-e<sub>5</sub>**



**Model: Ters V-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>**



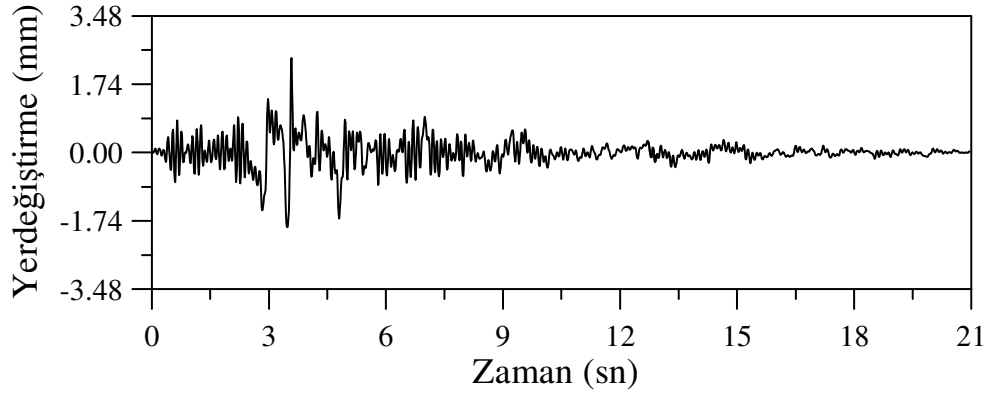
**Model: Ters V-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>**



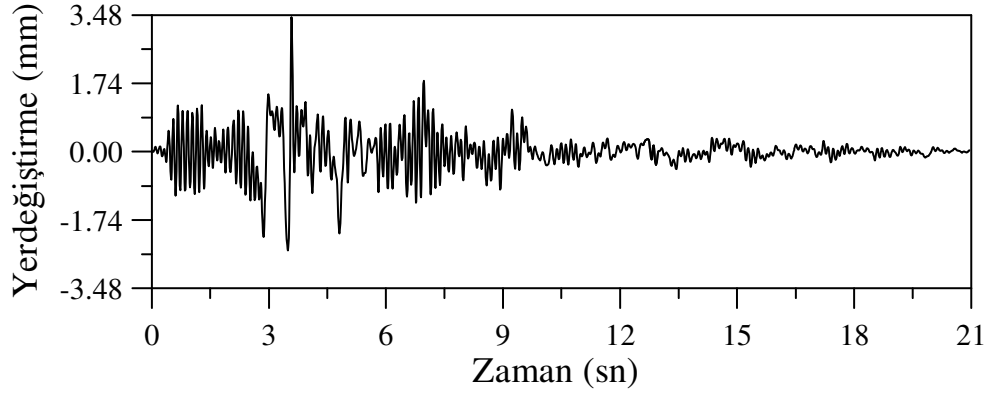
**Model: Ters V-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>**

Şekil 3.18. Ters V-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-3-e<sub>5</sub> modellerinde elde edilen tepe yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi

Şekil 3.18'in devamı



**Model: Ters V-DÇÇ-3-e<sub>4</sub>**



**Model: Ters V-DÇÇ-3-e<sub>5</sub>**

### 3.2.2. Kayma Gerilmeleri

Bu kısımda, moment aktaran çerçeve (MAÇ), merkezi çaprazlı çerçeve (MÇÇ) ve dışmerkez çaprazlı çerçeve (DÇÇ) sistemlerin dinamik analizi sonucu elde edilen  $S_{12}$  kayma gerilmeleri incelenmiştir. Bu amaçla dikkate alınan bütün sistemler üzerinde kayma gerilmesi dağılımları eş gerilmeleri eğrileri şeklinde verilmiştir. Buna göre; bir katlı çerçeve sistemlere ait MAÇ-1, D-MÇÇ-1 ve Ters V-MÇÇ-1 modelleri için  $S_{12}$  kayma gerilme dağılımı Şekil 3.19'da, iki katlı çerçeve sistemlere ait MAÇ-2, D-MÇÇ-2 ve Ters V-MÇÇ-2 modelleri için  $S_{12}$  kayma gerilme dağılımı Şekil 3.20'de ve üç katlı çerçeve sistemlere ait MAÇ-3, D-MÇÇ-3 ve Ters V-MÇÇ-3 modelleri için  $S_{12}$  kayma gerilme dağılımı Şekil 3.21'de verilmiştir.

Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerin dinamik davranışına bağlantı kiriş uzunluğunun etkisi, iki farklı dışmerkez çapraz eleman göz önüne alınarak incelenmiştir. Bunlar; diyagonal ve Ters V dışmerkez çapraz elemanlardır. Bu dışmerkez çapraz elemanlar, beş farklı dışmerkezlik (e) göz önüne alınarak çerçeve sistemlere yerleştirilmiştir. Bu şekilde oluşturulan bir katlı diyagonal dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait D-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-1-e<sub>5</sub> modelleri için  $S_{12}$  kayma gerilme dağılımı Şekil 3.22'de, iki katlı diyagonal dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait D-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-2-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-2-e<sub>5</sub> modelleri için  $S_{12}$  kayma gerilme dağılımı Şekil 3.23'te ve üç katlı diyagonal dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait D-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-3-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-3-e<sub>5</sub> modelleri için  $S_{12}$  kayma gerilme dağılımı Şekil 3.24'te verilmiştir.

Ters V dışmerkez çapraz elemanlar kullanılarak oluşturulan bir katlı Ters V dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait Ters V-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-1-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-1-e<sub>5</sub> modelleri için  $S_{12}$  kayma gerilme dağılımı Şekil 3.25'te, iki katlı Ters V dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait Ters V-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-2-e<sub>5</sub> modelleri için  $S_{12}$  kayma gerilme dağılımı Şekil 3.26'da ve üç katlı Ters V dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlere ait Ters V-DÇÇ-3-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-3-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-3-e<sub>5</sub> modelleri için  $S_{12}$  kayma gerilme dağılımı Şekil 3.27'de verilmiştir.

Dikkate alınan bütün çerçeve sistemlerdeki  $S_{12}$  kayma gerilmeleri incelendiğinde en büyük kayma gerilmelerinin MAÇ modellerde, en küçük kayma gerilmelerinin ise Ters V-MÇÇ modellerde meydana geldiği görülmektedir.

Ters V-MÇÇ modellerinin  $S_{12}$  kayma gerilmeleri dağılımları incelendiğinde, kolon, kiriş ve çapraz elemanlarda meydana gelen kayma gerilmelerinin bir hayli az olduğu, zorlanmaların guselerde meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, sistemlere yerleştirilen Ters V çapraz elemanların büyük bir rijitlik sağlamasından kaynaklanmaktadır.

D-MÇÇ modellerinin  $S_{12}$  kayma gerilmeleri dağılımları incelendiğinde, kayma gerilme değerlerinin çapraz, kolon, kiriş birleşim bölgelerinde artmaya başladığı, buna bağlı olarak kolon-kiriş-çapraz birleşimindeki kolonların daha fazla zorlandığı görülmektedir. D-MÇÇ modellerde kayma gerilme değerlerinin küçük çıkması, çapraz elemanların bu tip sistemlere de büyük rijitlik katmasından kaynaklanmaktadır.

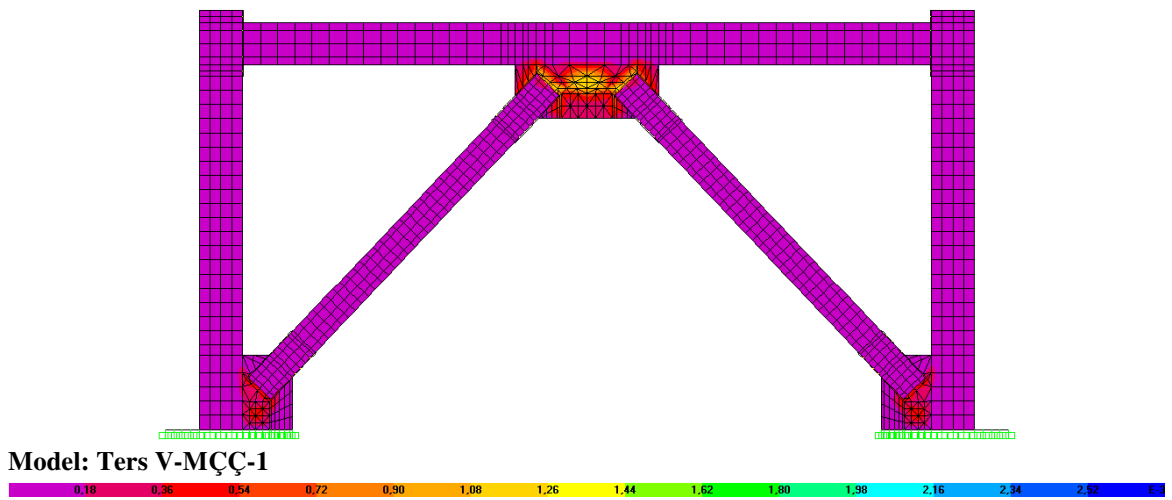
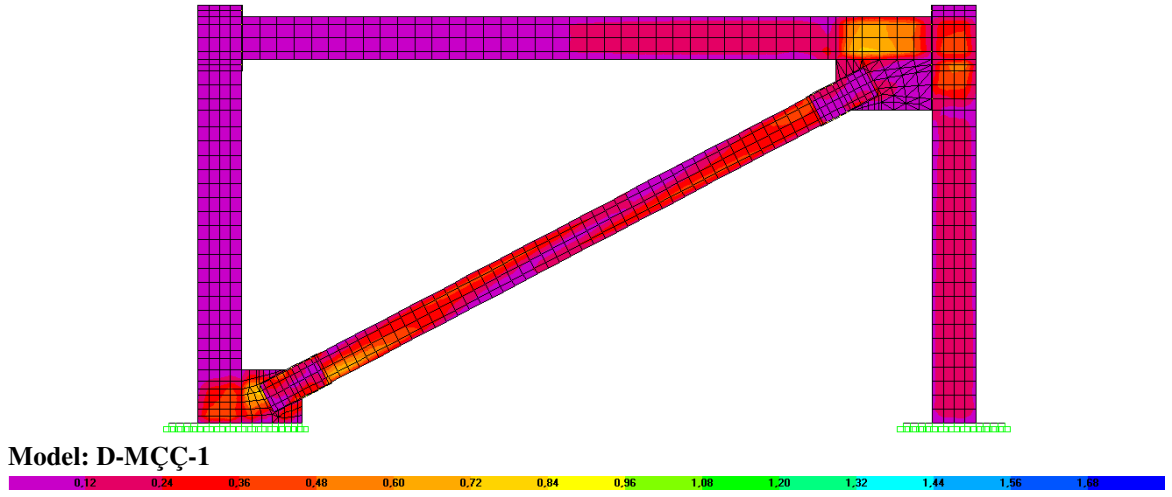
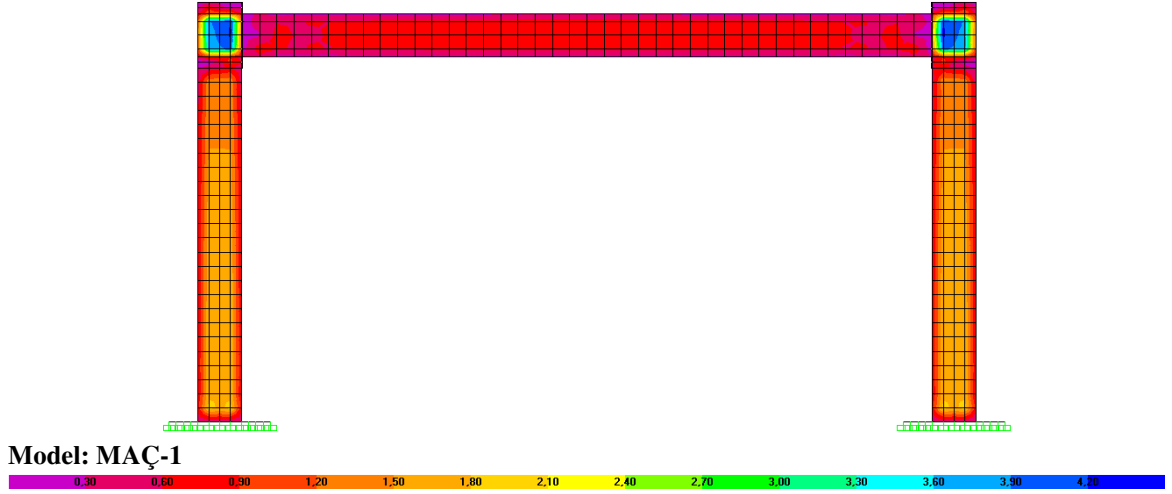
D-DÇÇ modellerinin  $S_{12}$  kayma gerilmeleri incelendiğinde, kayma gerilme değerlerinin arttığı görülmektedir. MAÇ modellerinde kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kayma gerilmeleri yığılmalarının, dışmerkez çapraz elemanların kullanılmasıyla birlikte eksantrisiteye bağlı olarak bağ kirişi üzerinde toplanmaya başladığı görülmektedir. Tek ve iki katlı D-DÇÇ  $e_1$  ve D-DÇÇ  $e_2$  modellerinde kayma gerilmeleri, bağ kirişi ve kolon kiriş birleşim bölgeleri üzerinde homojen olarak dağılmakta,  $e_3$  bağ kirişi uzunluğundan sonra kayma gerilmeleri kolon-kiriş birleşim bölgelerinde tekrar toplanmaya başlamaktadır. Üç katlı D-DÇÇ- $e_1$ , D-DDÇ- $e_2$ , D-DDÇ- $e_3$  ve D-DDÇ- $e_4$  modellerinde gerilmelerin homojen olarak dağıldığı, D-DÇÇ- $e_5$  modelinde ise kolon-kiriş birleşim bölgeleri tekrar aşırı zorlanmaya başladığı görülmektedir. Bu durum kat sayısının, DÇÇ sistemlerde bağ kirişlerinde meydana gelen kayma gerilme yığılımlarına etki ettiğini göstermektedir.

Ters V-DÇÇ modellerinin  $S_{12}$  kayma gerilmeleri incelendiğinde, bağ kirişi uzunluğundaki artışa bağlı olarak kiriş boyunca meydana gelen kayma gerilmelerin arttığı görülmektedir. Bu modellerde kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelen kayma gerilmesi yığılımlarının tamamen bağ kirişlerinde olduğu görülebilir.

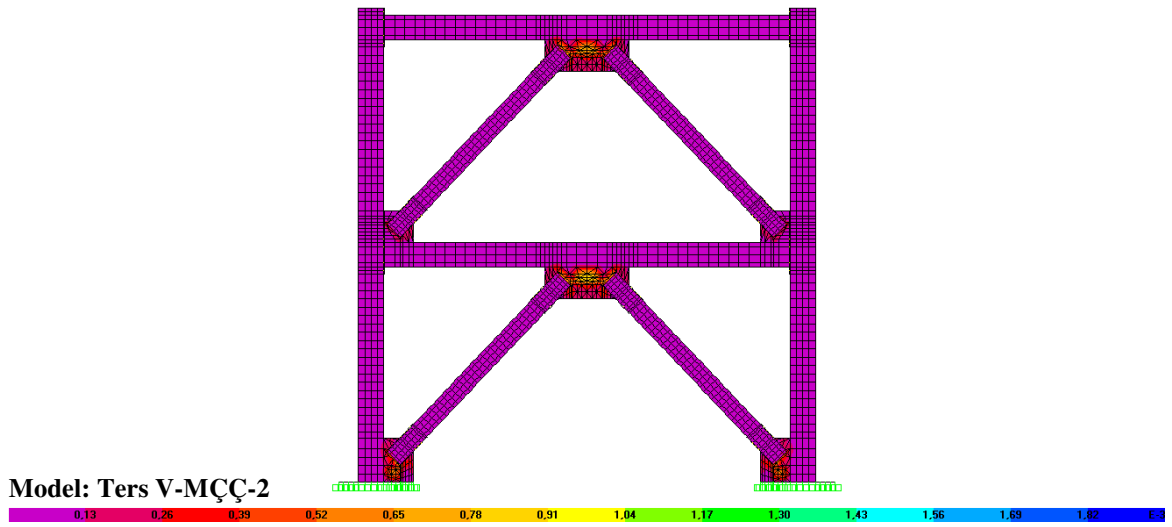
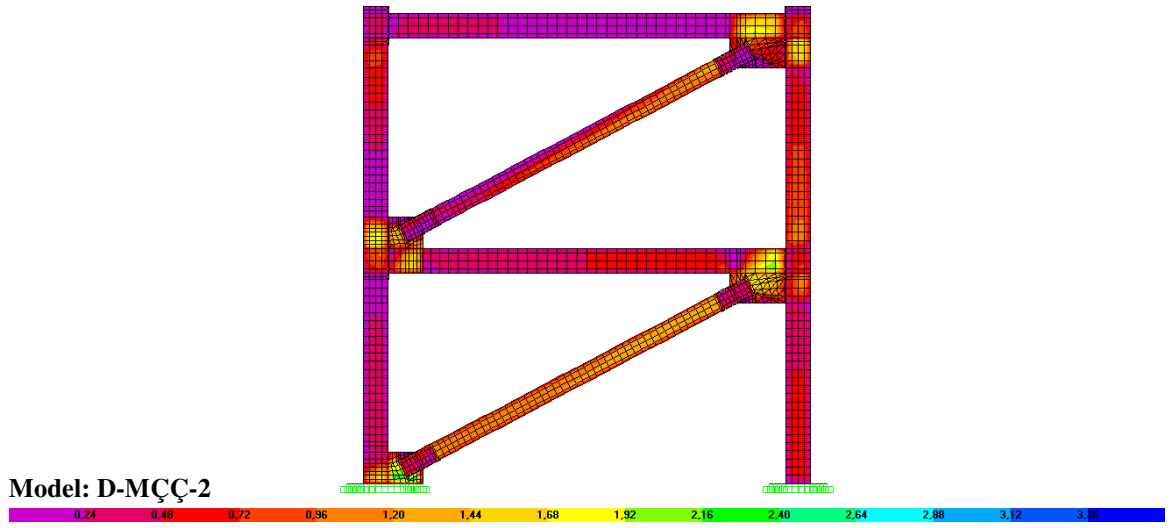
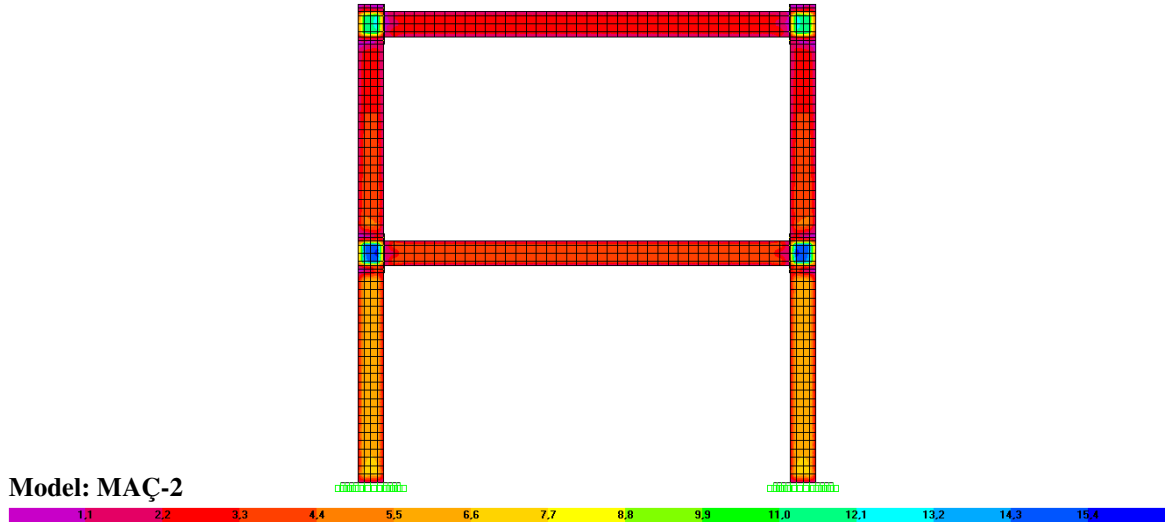
Netice itibarıyla, DÇÇ modellerinde bağ kirişleri üzerinde meydana gelen  $S_{12}$  kayma gerilmesi yığılımları, bağ kirişlerinin büyük plastik deformasyonlar yapmasına neden olmaktadır. Bu plastik deformasyonlar, deprem tasarım yük değerlerinin üzerine çıkan dış yükler olması halinde, çapraz elemanlarda burkulmaları önlenmektedir. Ayrıca bağ kirişleri üzerinde oluşan plastik kayma deformasyonları, bağ kirişlerinin enerji yutma kapasitelerini artırmaktadır. Bu özellik, bağ kirişlerinde sünek “sismik sigorta” olarak



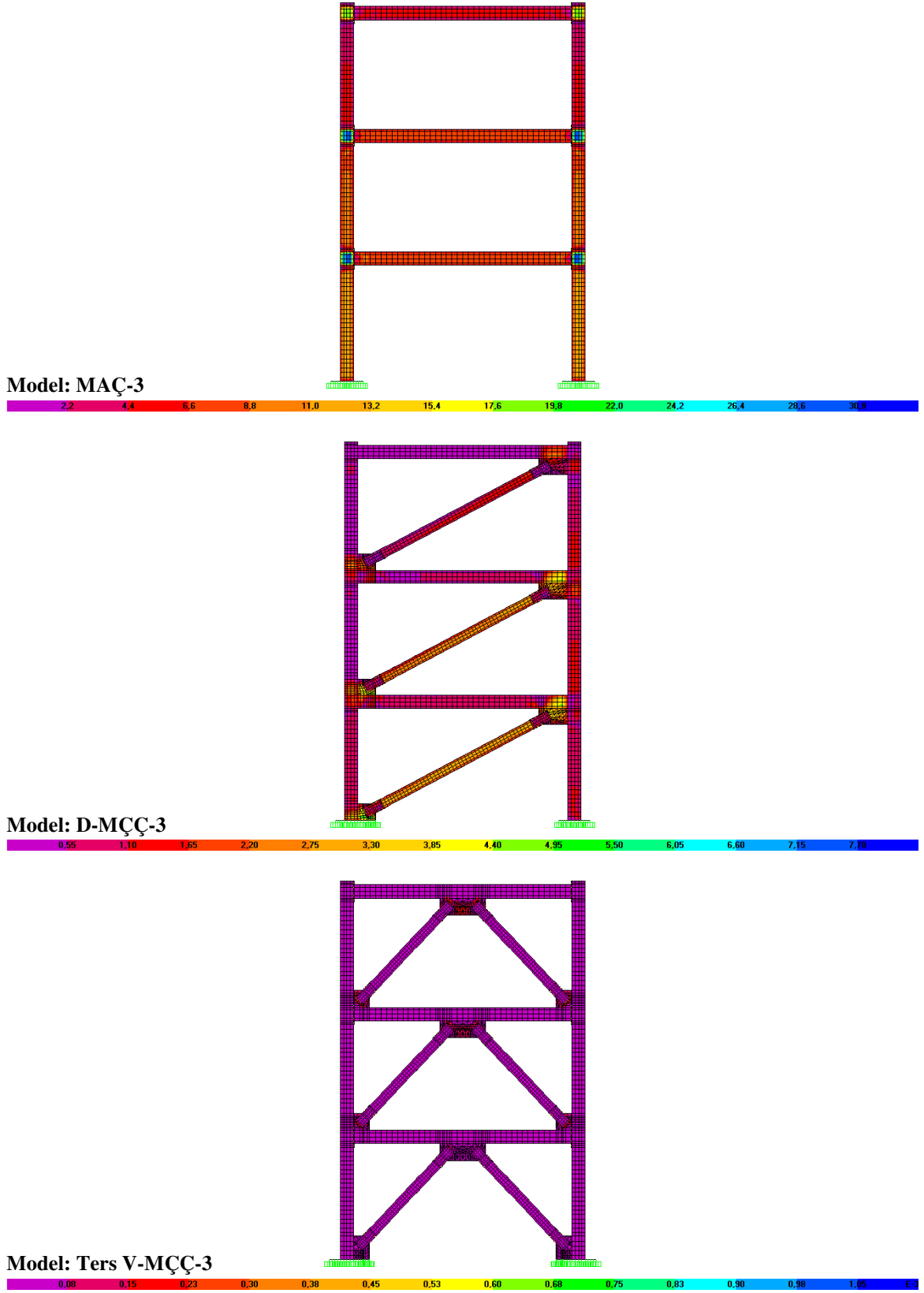
adlandırılmaktadır (Deren vd., 2003). Bu özellik, DÇÇ modellerine MAÇ modellerinin süreklilik özelliklerini katmaktadırlar.



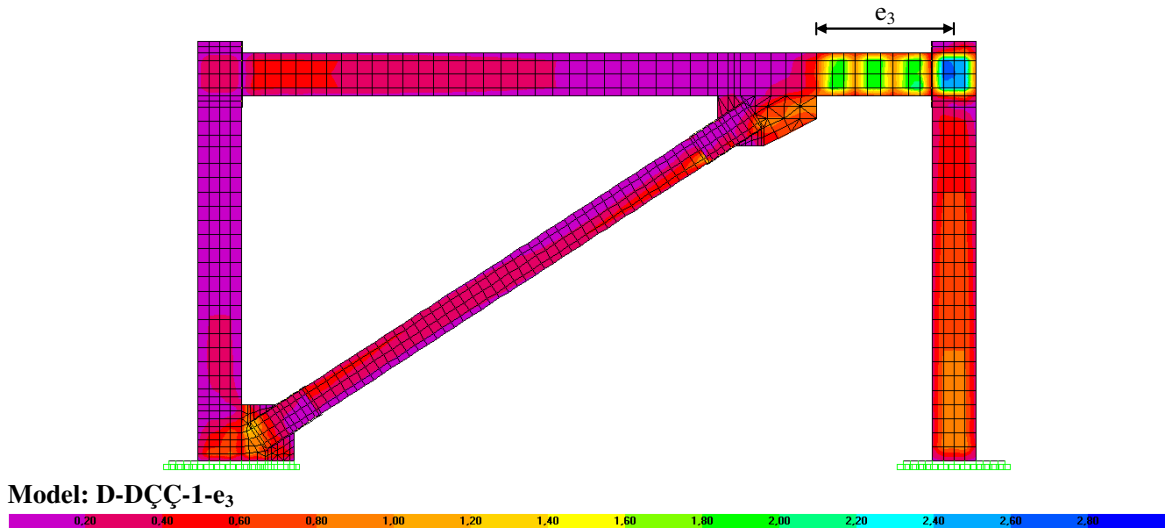
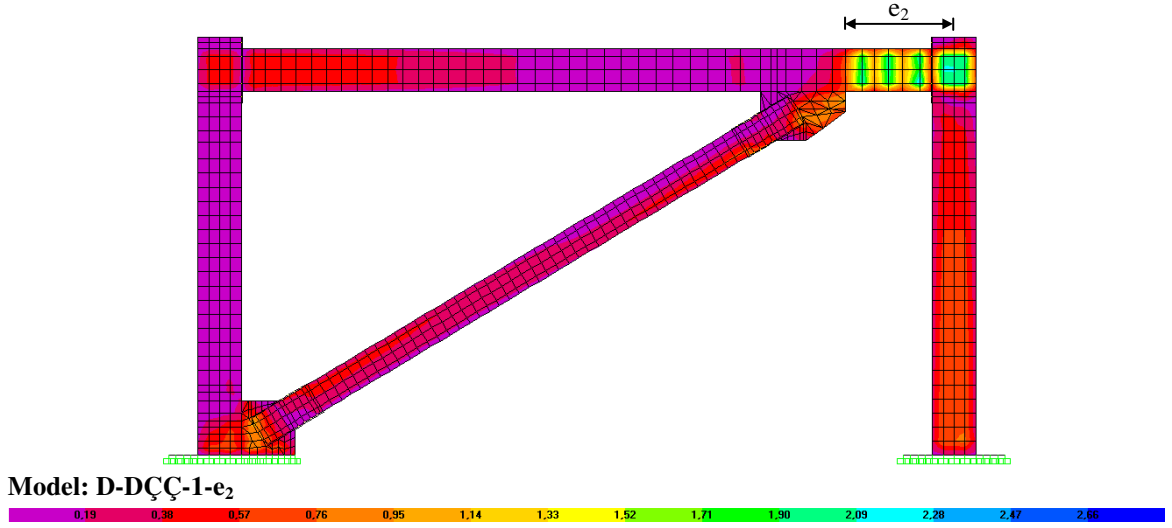
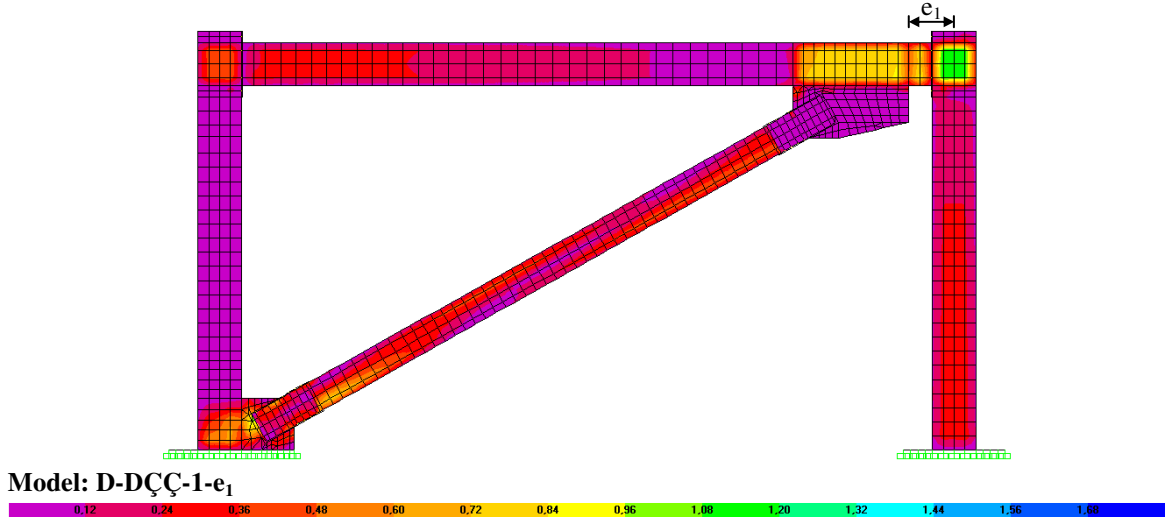
Şekil 3.19. MAÇ-1, D-MÇÇ-1 ve Ters V-MÇÇ-1 modelleri için  $S_{12}$  kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa)



Şekil 3.20. MAÇ-2, D-MÇÇ-2 ve Ters V-MÇÇ-2 modelleri için  $S_{12}$  kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa)

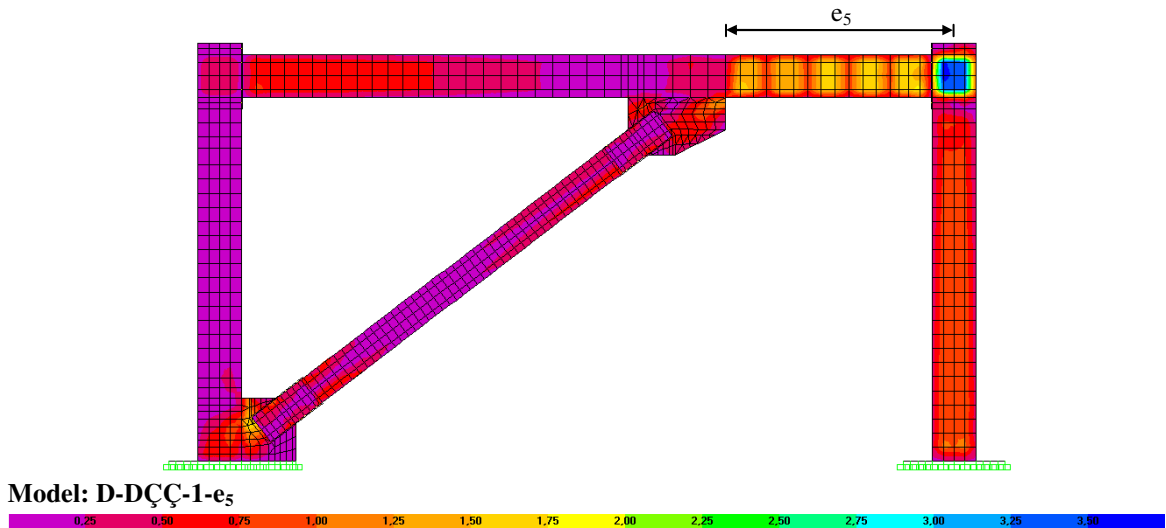
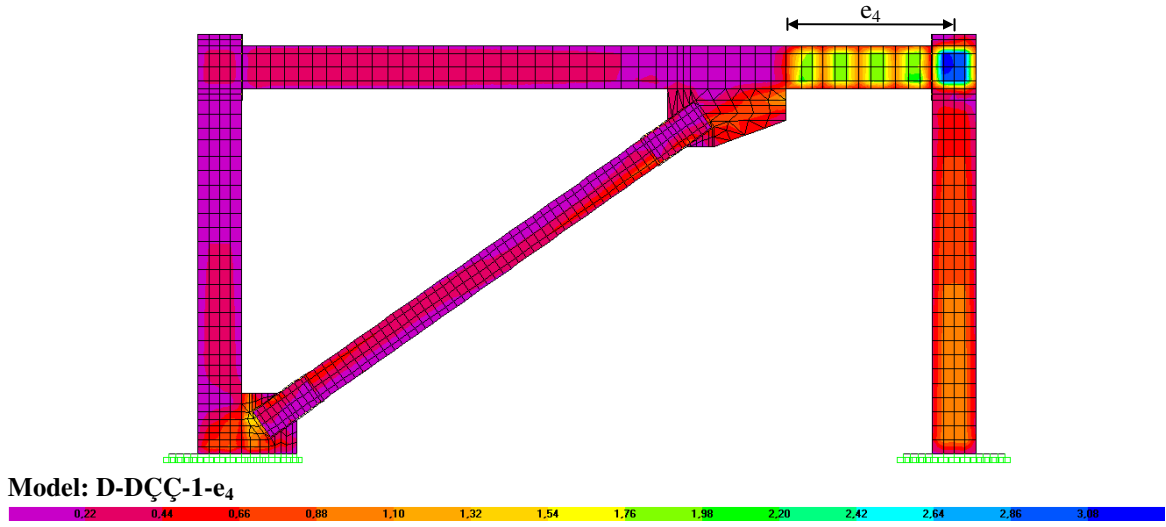


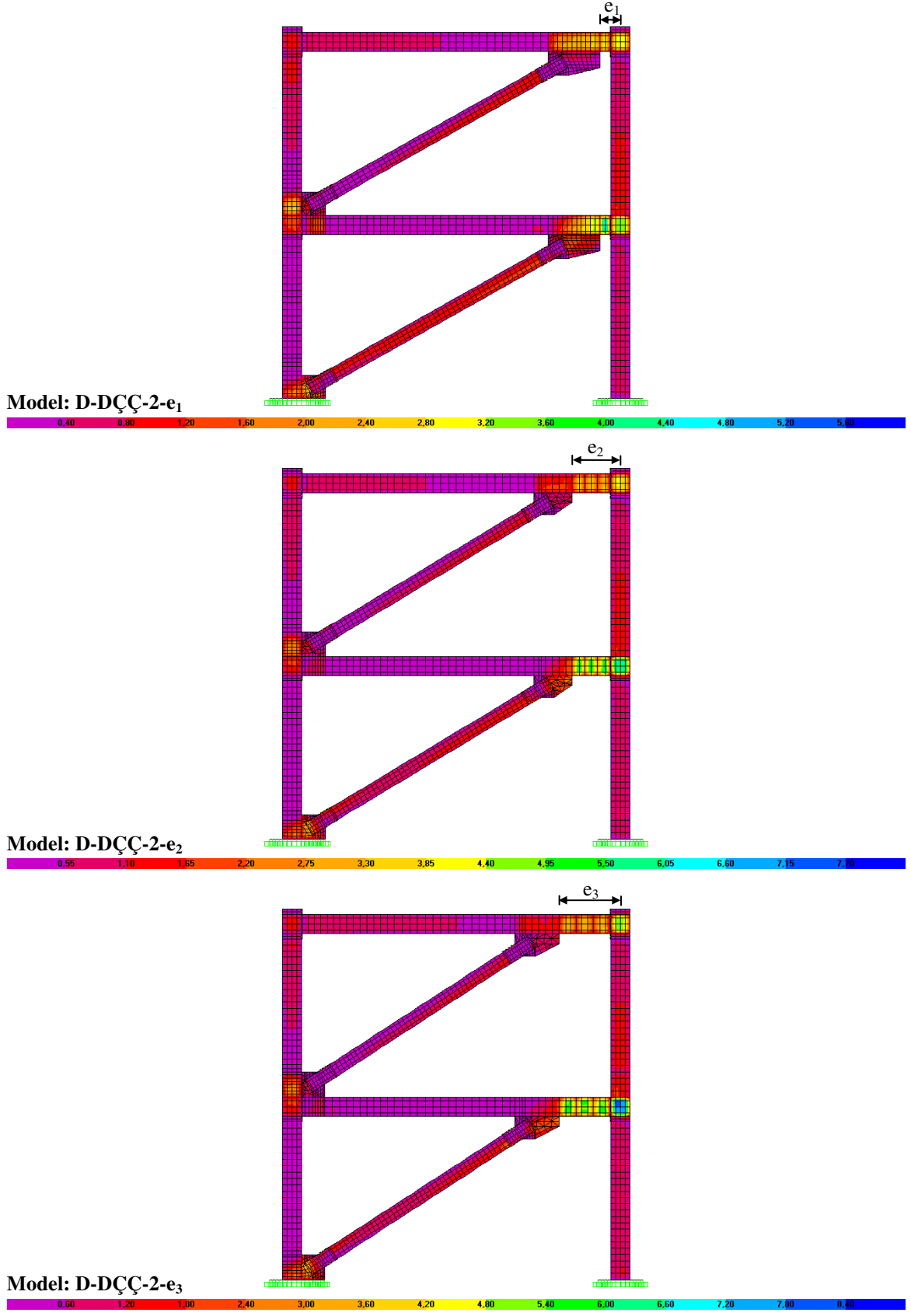
Şekil 3.21. MAÇ-3, D-MÇÇ-3 ve Ters V-MÇÇ-3 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa)



Şekil 3.22. D-DÇÇ-1-e<sub>1</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>2</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>3</sub>, D-DÇÇ-1-e<sub>4</sub> ve D-DÇÇ-1-e<sub>5</sub> modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa)

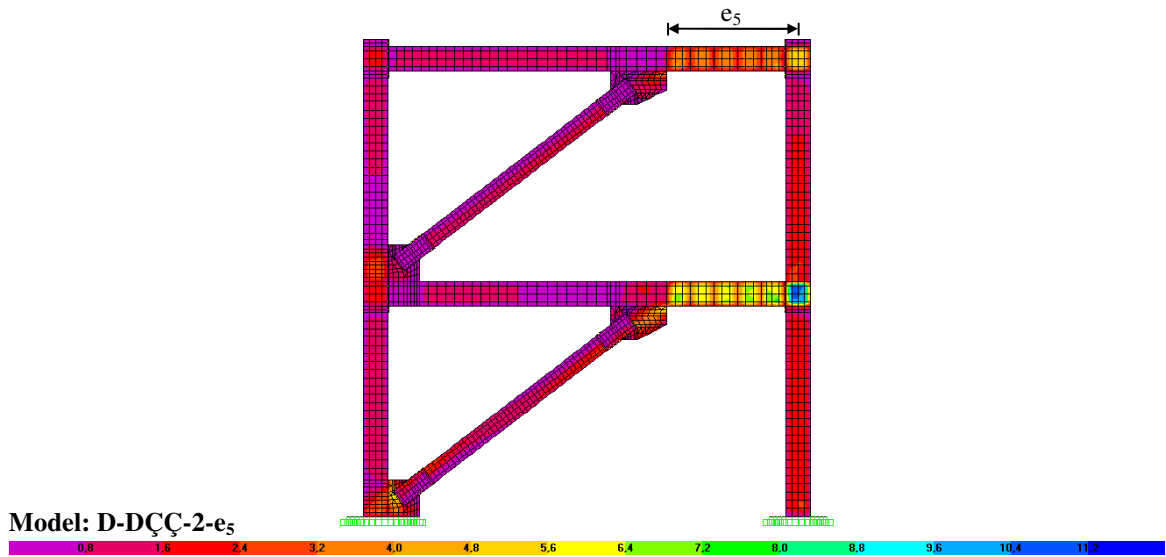
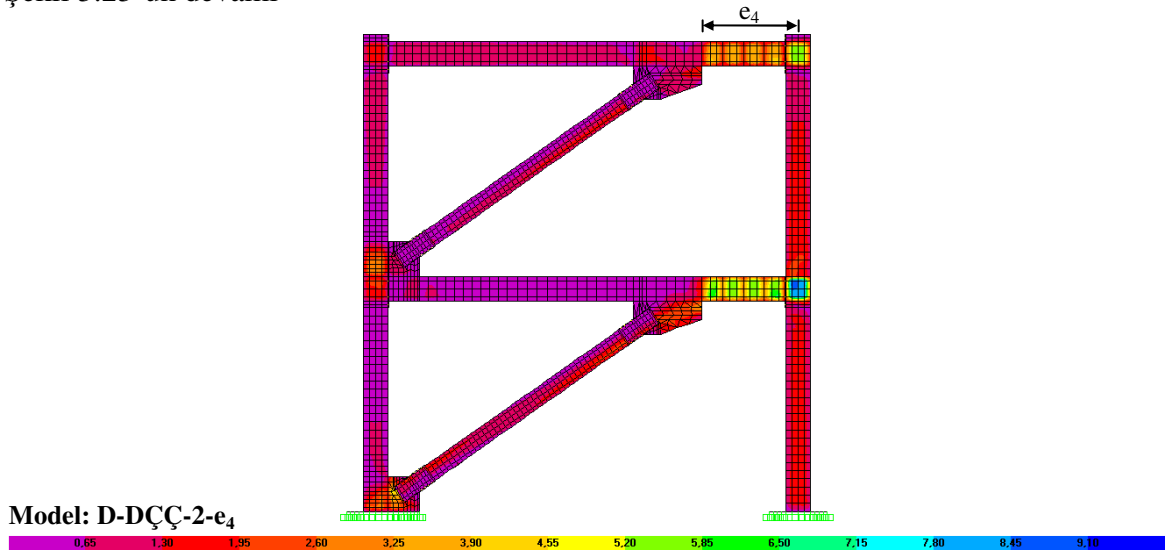
Şekil 3.22'nin devamı



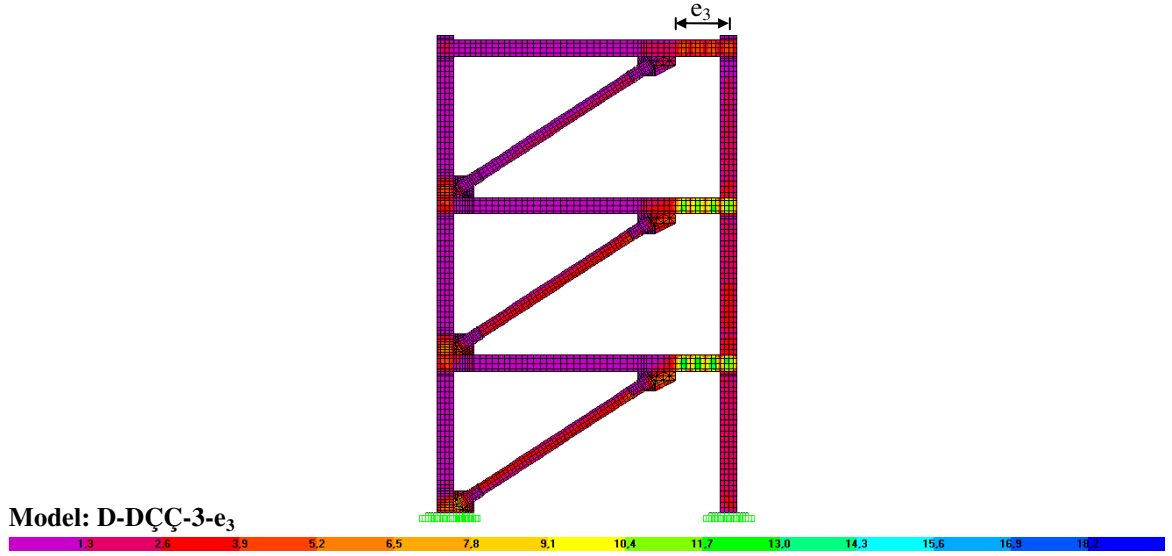
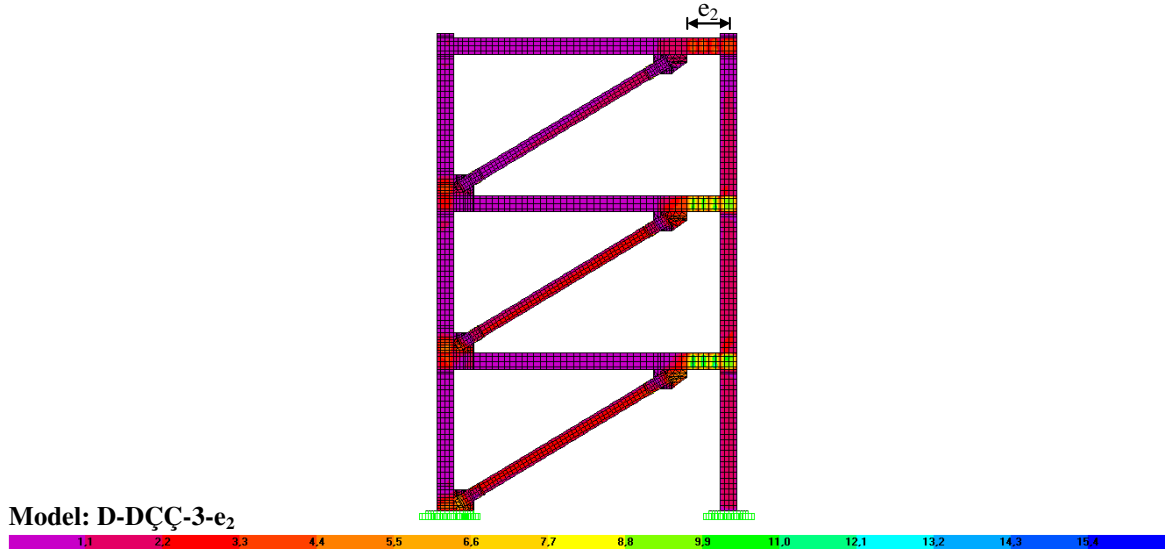
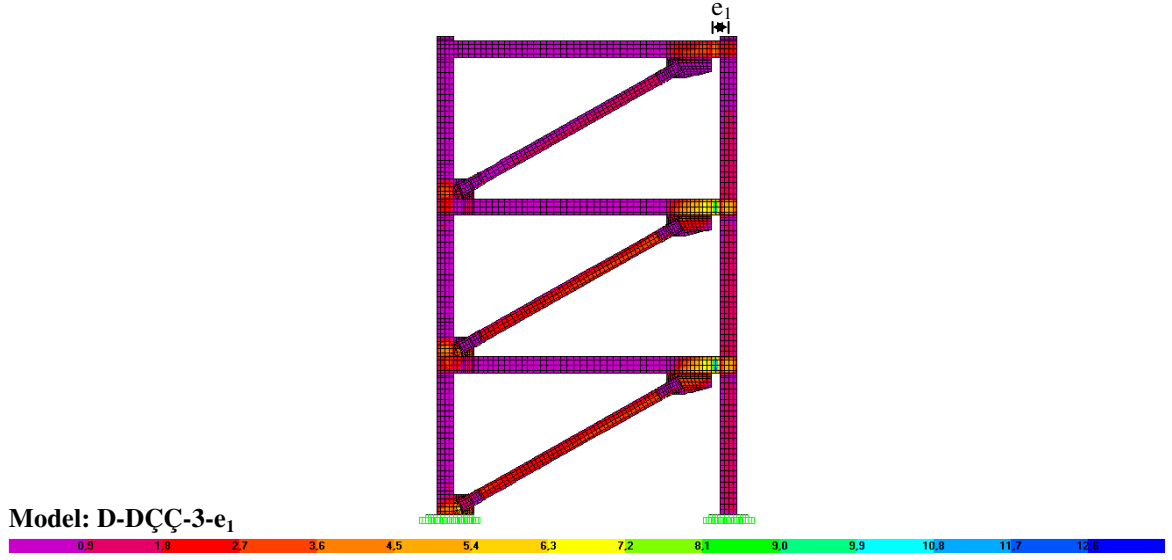


Şekil 3.23. D-DÇÇ-2-e1, D-DÇÇ-2-e2, D-DÇÇ-2-e3, D-DÇÇ-2-e4 ve D-DÇÇ-2-e5 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa)

Şekil 3.23'ün devamı

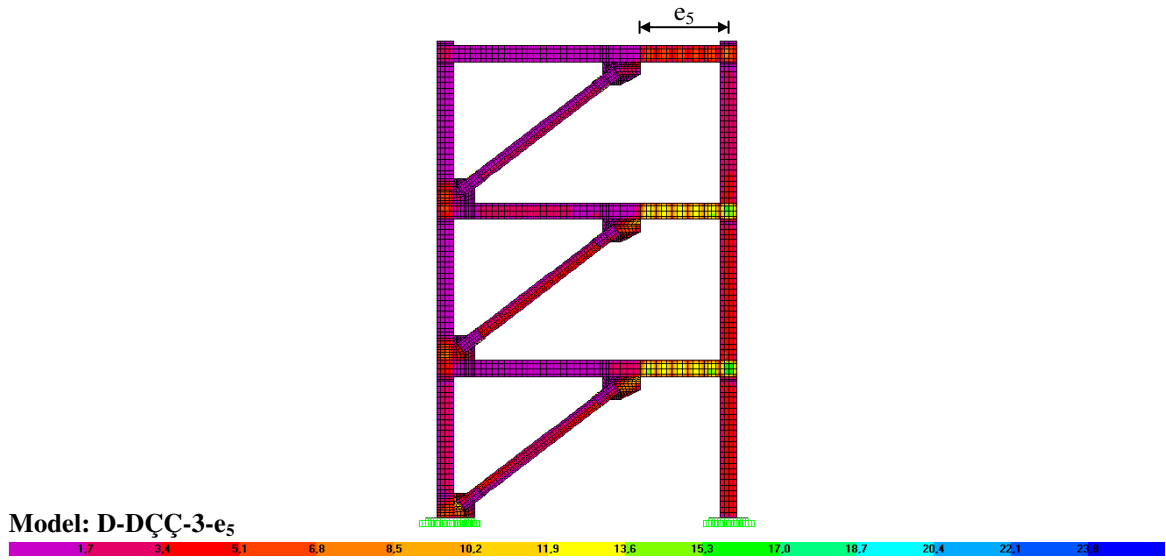
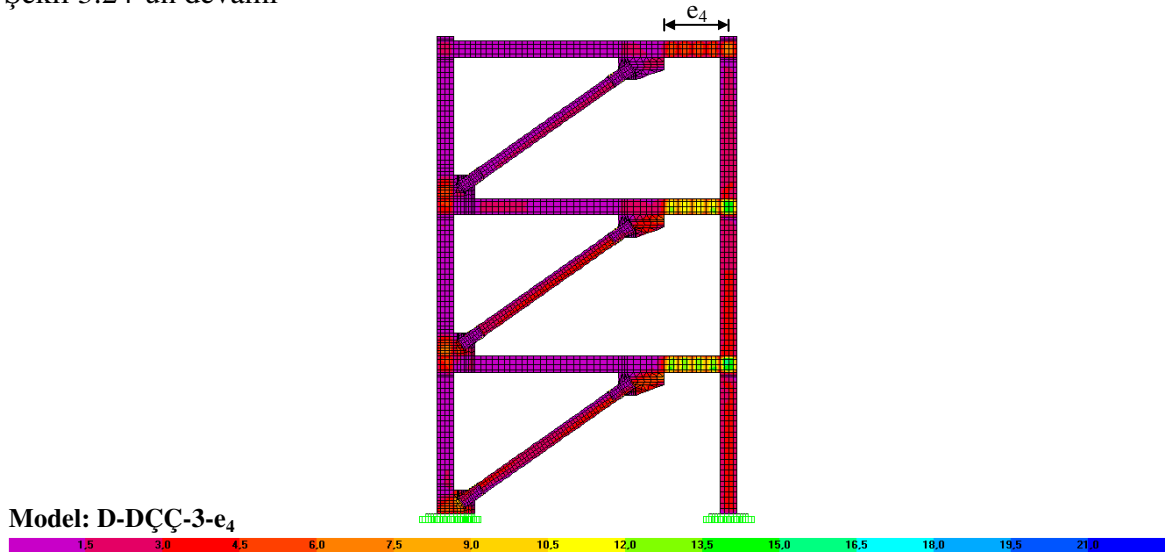


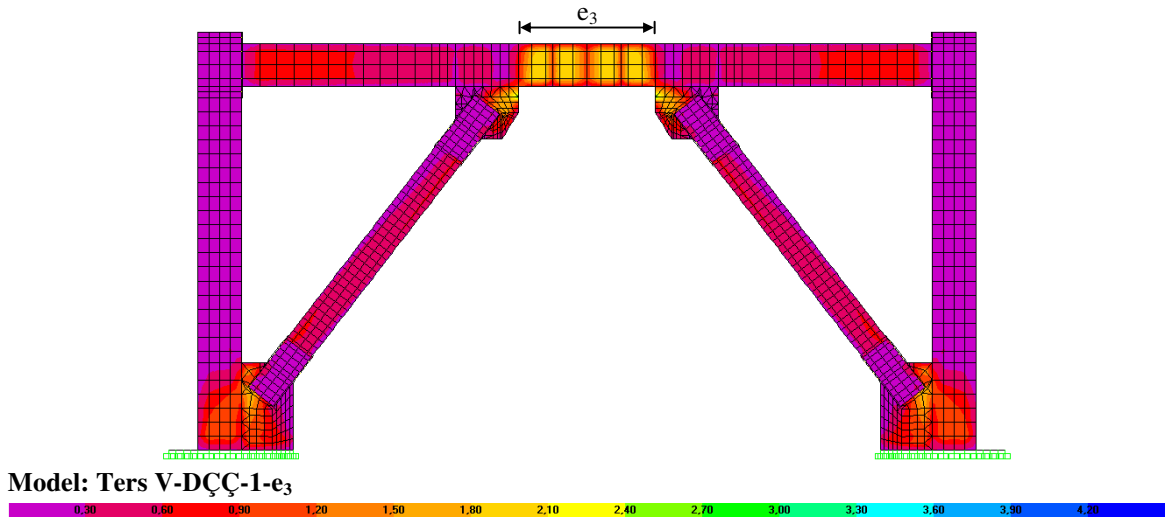
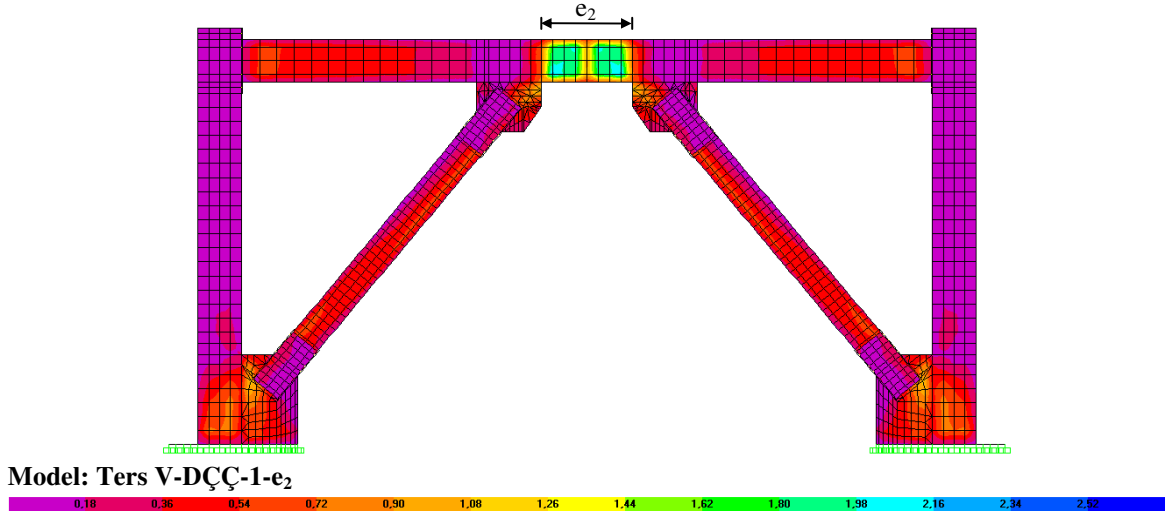
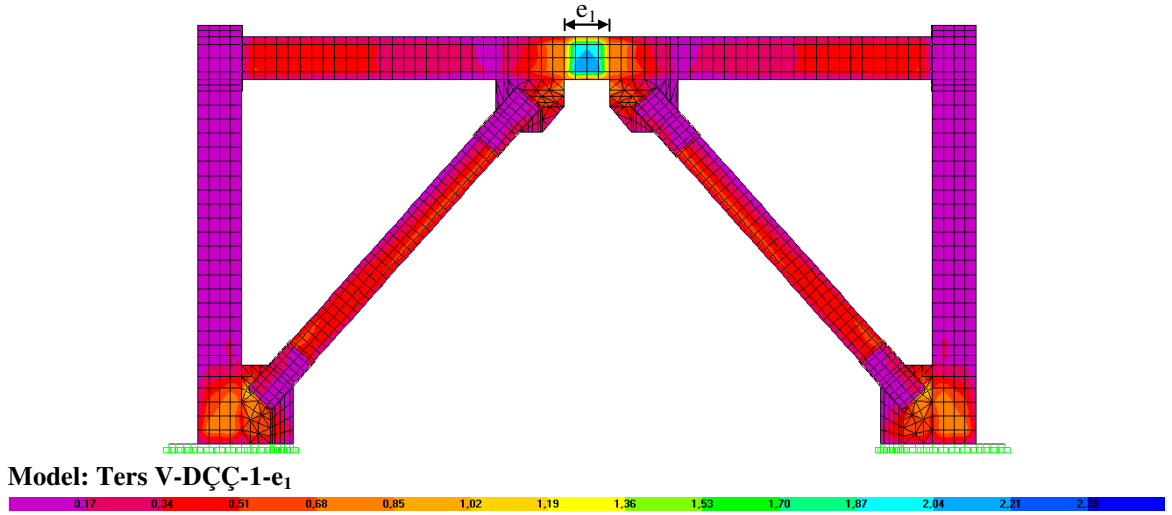




Şekil 3.24. D-DÇÇ-3-e1, D-DÇÇ-3-e2, D-DÇÇ-3-e3, D-DÇÇ-3-e4 ve D-DÇÇ-3-e5 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa)

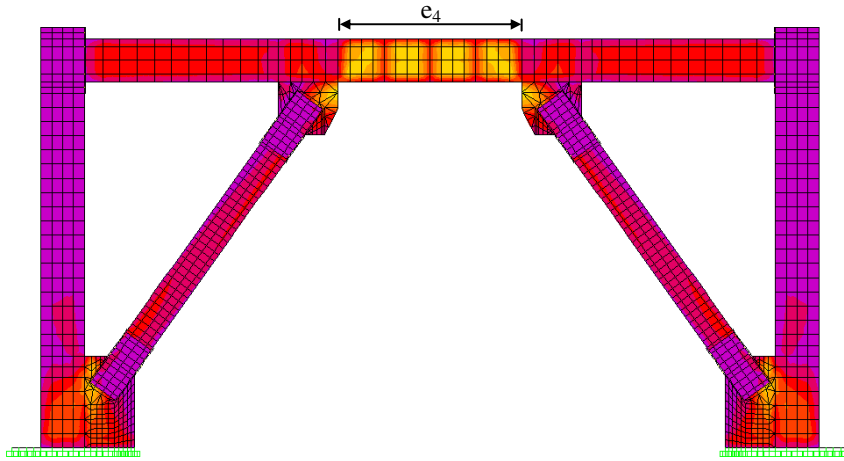
Şekil 3.24'ün devamı



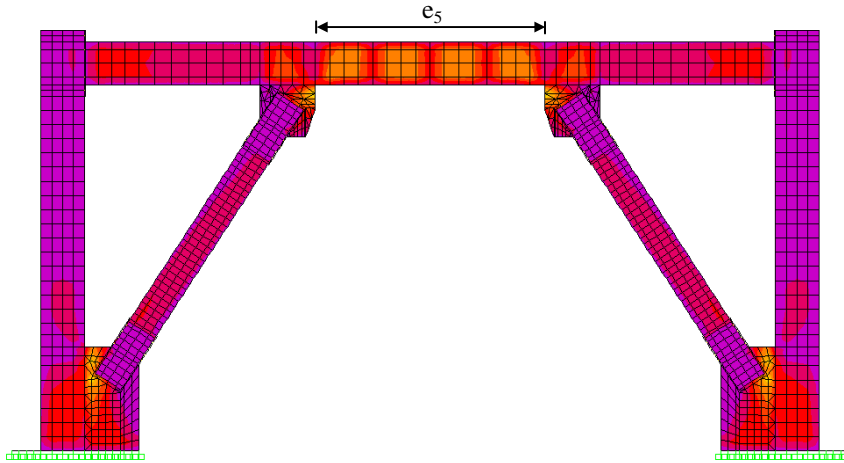


Şekil 3.25. Ters V-DÇÇ-1-e1, Ters V-DÇÇ-1-e2, Ters V-DÇÇ-1-e3, Ters V-DÇÇ-1-e4 ve Ters V-DÇÇ-1-e5 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa)

Şekil 3.25'in devamı

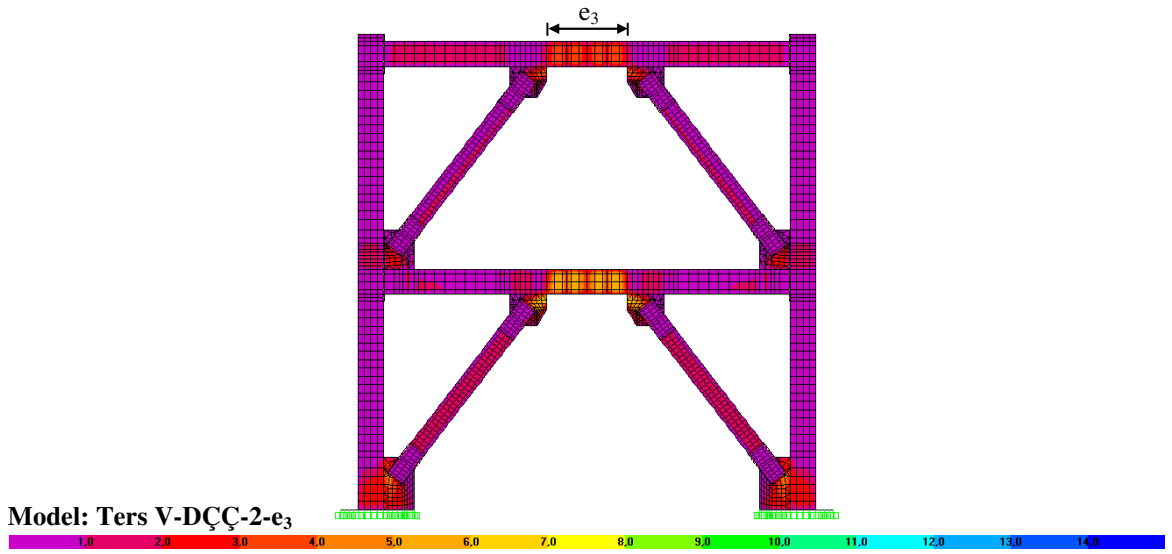
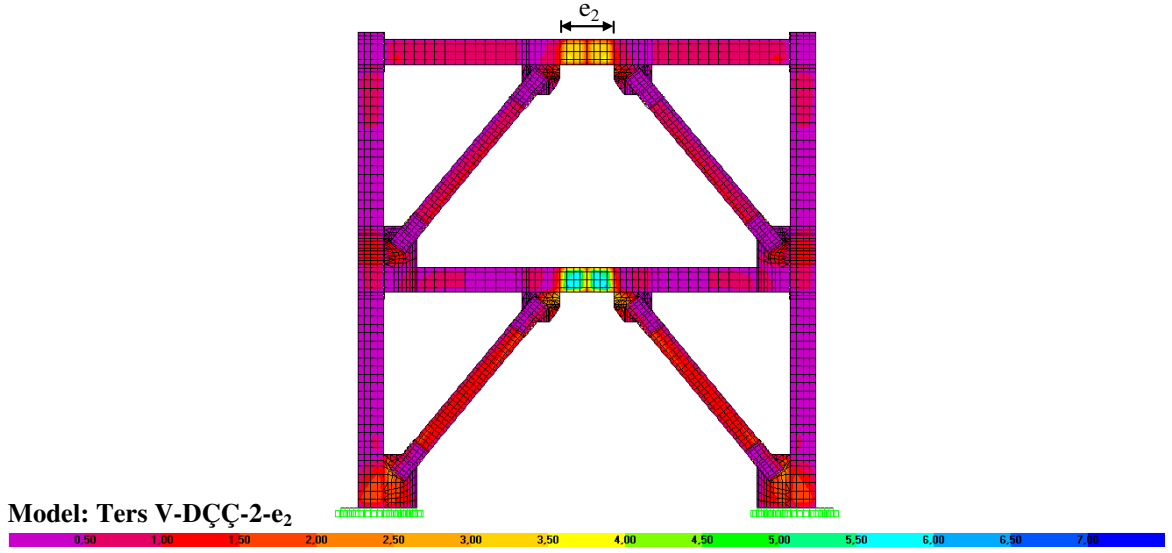
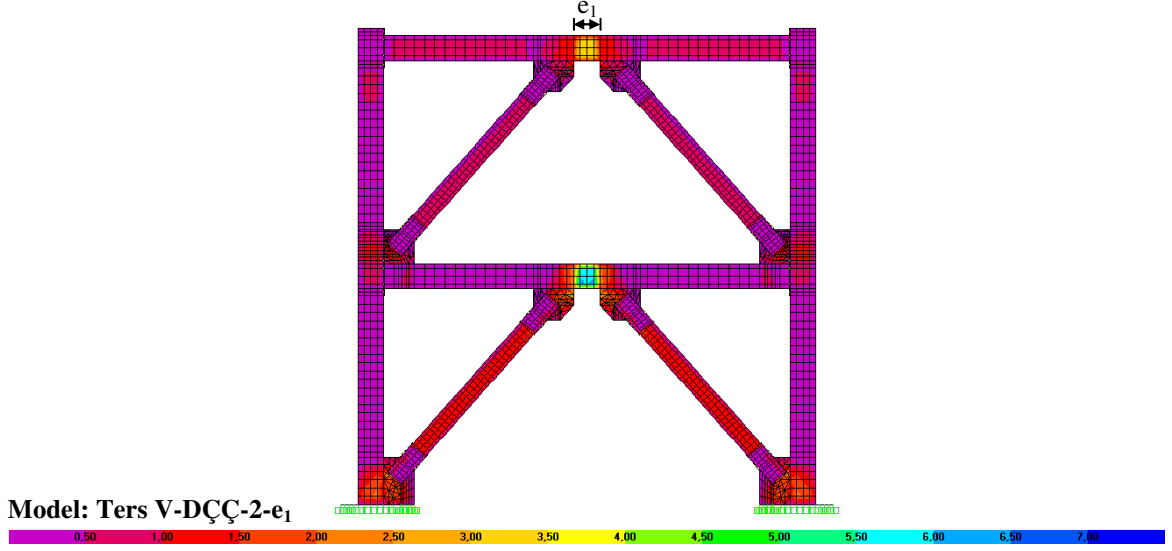


Model: Ters V-DÇÇ-1-e<sub>4</sub>



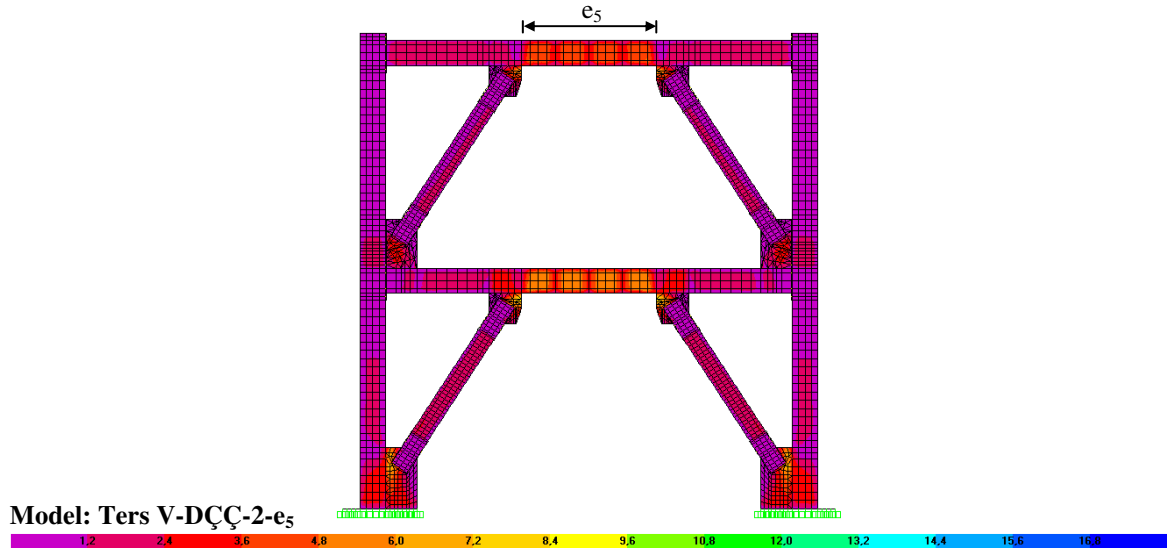
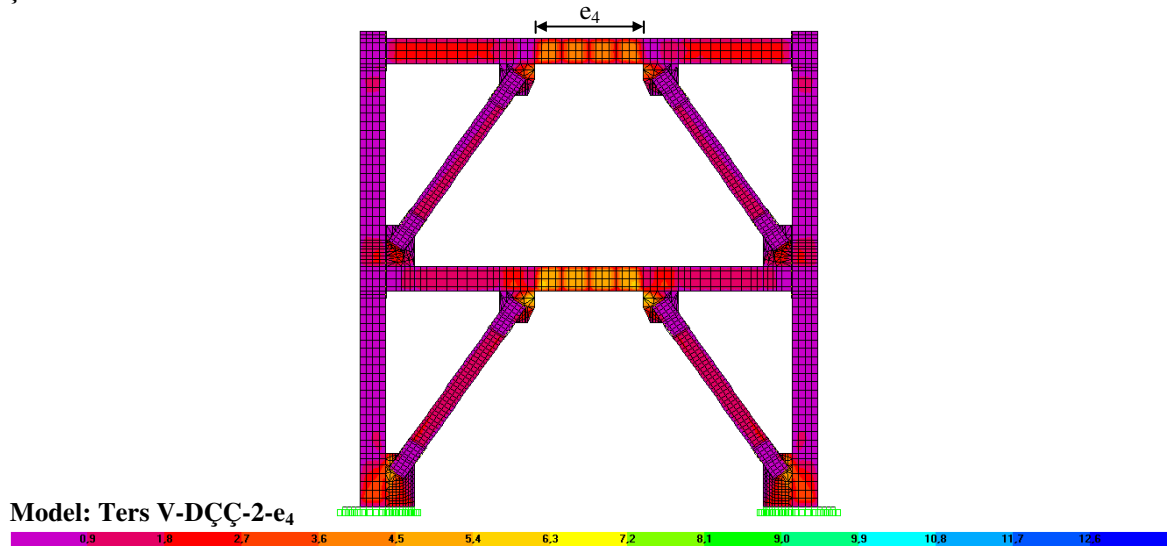
Model: Ters V-DÇÇ-1-e<sub>5</sub>

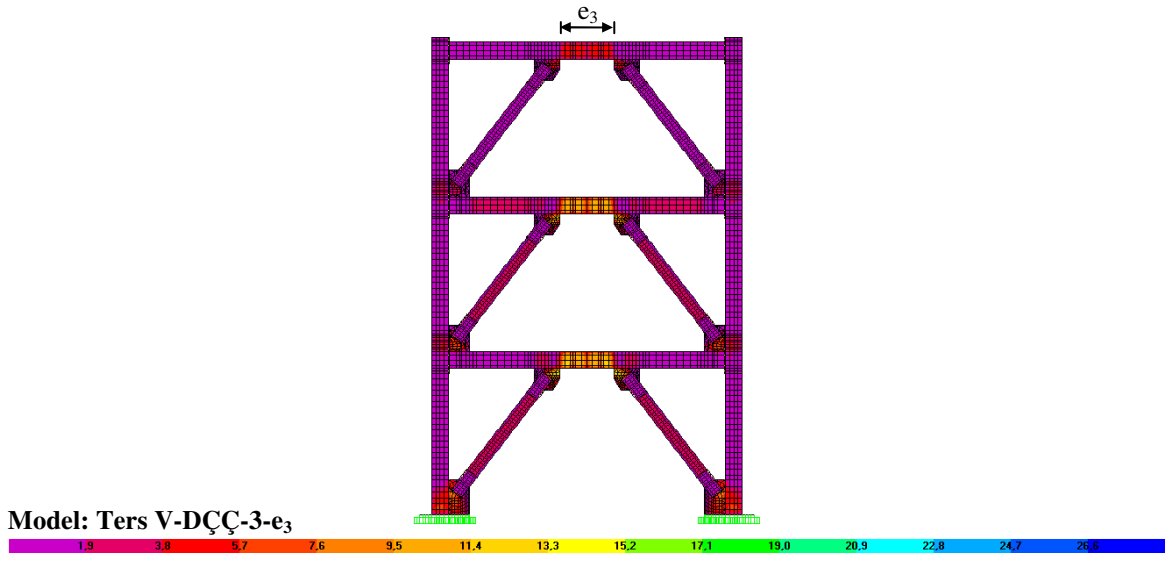
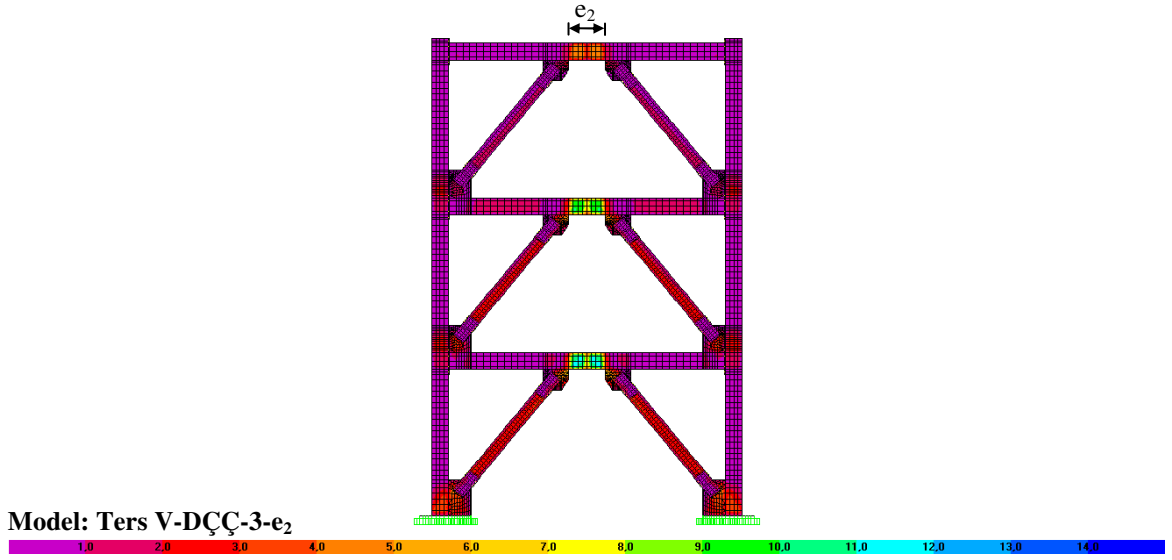
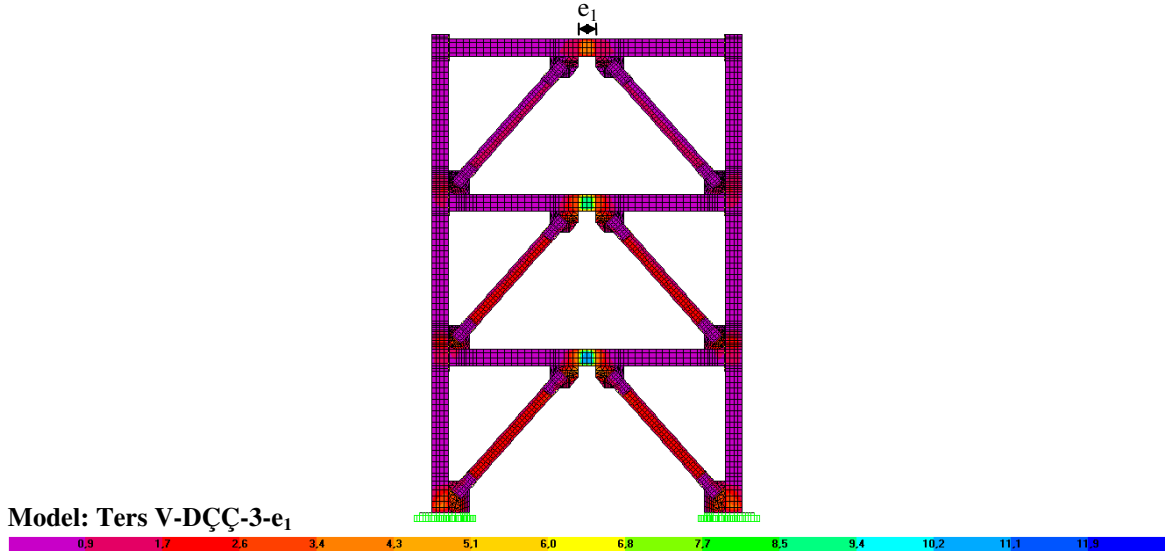




Şekil 3.26. Ters V-DÇÇ-2-e<sub>1</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>2</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>3</sub>, Ters V-DÇÇ-2-e<sub>4</sub> ve Ters V-DÇÇ-2-e<sub>5</sub> modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa)

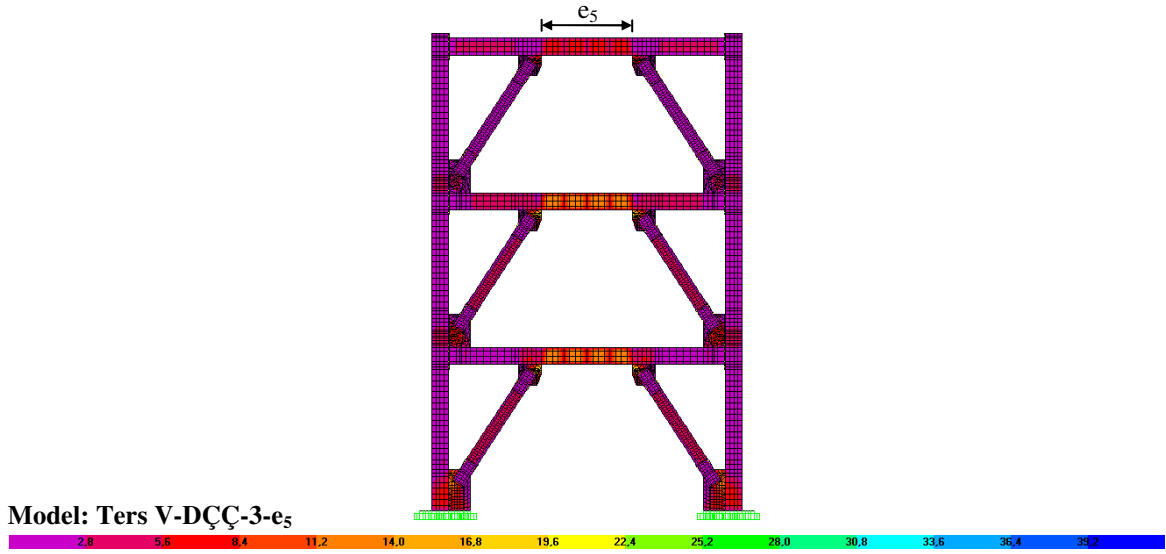
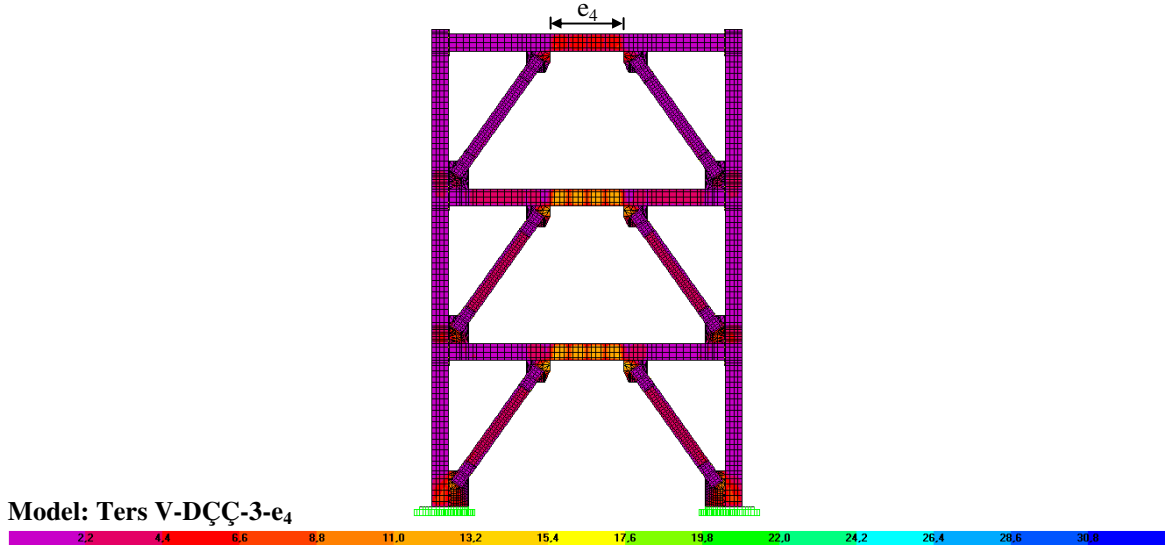
Şekil 3.26'nın devamı





Şekil 3.27. Ters V-DÇÇ-3-e1, Ters V-DÇÇ-3-e2, Ters V-DÇÇ-3-e3, Ters V-DÇÇ-3-e4 ve Ters V-DÇÇ-3-e5 modelleri için S12 kayma gerilme dağılımı (Gerilme Birimi: MPa)

Şekil 3.27'nin devamı





#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, bir boyutlu çubuk elemanlardan teşkil edilebilecek moment aktaran çerçeve ile merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler, kabuk elemanlar (shell elements) ile modellenerek zaman tanım alanında analiz edilmiştir. Çalışmada, çerçevelerin kolon-kiriş birleşimleri doğrusal olmayan bağlantı (non-linear link) elemanlarıyla modellenmiştir. Bu amaçla moment aktaran çerçeve ile çeşitli merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler SAP2000 programı ile modellenmiş ve analiz edilmiştir. Çapraz elemanlar ile çerçeve sistem elemanlarında zorlanan bölgelerin yerlerindeki değişimleri görmek, dışmerkez çapraz elemanlarda bağ kirişlerinde meydana gelen kayma gerilmelerindeki değişimleri incelemek amacıyla modellemede kabuk elemanlar kullanılmıştır.

Çalışmada, moment aktaran çerçeve ile merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin dinamik davranışı tek açıklıklı bir, iki ve üç katlı çerçeve sistem dikkate alınarak incelenmiştir. Bu çerçeve sistemlerde açıklık mesafesi 7.60m, kat yükseklikleri 4.0m alınmış ve 3 adet MAÇ, 3 adet D-MÇÇ, 3 adet Ters V-MÇÇ, 15 adet D-DÇÇ ve 15 adet Ters V-DÇÇ sistemin sonlu eleman modeli oluşturulmuştur.

Üst üste gelen kabuk elemanlar arasında gerilme aktarımını sağlayabilmek amacıyla doğrusal olmayan boşluk elemanlar (Gap Elements) kullanılmıştır. SAP2000 programında bulonlar çubuk eleman olarak tanımlanmıştır. Bu elemanların sadece çekme eksenel kuvvetini taşıması için SAP2000 programında gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

Kolon-alın levhası birleşimi için M30, çapraz-plaka birleşimi için M24 bulonu kullanılmıştır. Kolon, kiriş ve çapraz profilleri sırasıyla HE450B, HE450A, HE320B şeklindedir. Kolon, kiriş, çapraz ve bulon elemanlara ait profiller bütün modellerde aynıdır. Çapraz eleman uzunlukları, alın levhası, taban plakası ve guse boyutları çapraz elemanların geometrilerine ve yerleşim biçimlerine göre modeller arasında farklılıklar göstermektedir.

Çelik çerçeve sistemlerde çelik birleşim noktaları, kolon-kiriş ve çapraz elemanların birleşimleridir. Kolon-kiriş birleşimi alın levhalı moment aktaran rijit bir birleşimdir. Birleşimin geometrik olarak uygulanabilmesi için alın levhasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kiriş, alın levhasına kaynaklı olarak gelir ve kolon başlık levhası ile alın levhasında açılan delikler sayesinde birbirlerine bulonlar ile bağlanarak birleşim tamamlanmış olur.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- 1) Analiz edilen bütün çerçeve sistemlerdeki yer değiştirmeler incelendiğinde en büyük yer değiştirmelerin MAÇ sistemlerde, en küçük yer değiştirmelerin ise Ters V-MÇÇ sistemlerde meydana geldiği görülmüştür.
- 2) Ters V-MÇÇ sistemlerde, yer değiştirmelerin diğer sistemlerin aksine y-ekseni doğrultusunda meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, sistemlere yerleştirilen Ters V çapraz elemanların x-ekseni doğrultusunda büyük bir rijitlik sağlamasından kaynaklanmıştır.
- 3) Bağ kirişi uzunluğunun artmasına bağlı olarak tepe yer değiştirmelerinin arttığı görülmüştür.
- 4) Analiz edilen bütün çerçeve sistemlerdeki  $S_{12}$  kayma gerilmeleri incelendiğinde en büyük kayma gerilmelerinin MAÇ modellerde, en küçük kayma gerilmelerinin ise Ters V-MÇÇ modellerde meydana geldiği görülmüştür.
- 5) Ters V-MÇÇ modellerinin  $S_{12}$  kayma gerilmeleri dağılımları incelendiğinde, kolon, kiriş ve çapraz elemanlarda meydana gelen kayma gerilmelerinin bir hayli az olduğu, zorlanmaların guselerde meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, sistemlere yerleştirilen Ters V çapraz elemanların büyük bir rijitlik sağlamasından kaynaklanmaktadır.
- 6) D-MÇÇ modellerinin  $S_{12}$  kayma gerilmeleri dağılımları incelendiğinde, kayma gerilme değerlerinin çapraz, kolon, kiriş birleşim bölgelerinde artmaya başladığı, buna bağlı olarak kolon-kiriş-çapraz birleşimindeki kolonların daha fazla zorlandığı görülmektedir. D-MÇÇ modellerde kayma gerilme değerlerinin küçük çıkması, çapraz elemanların bu tip sistemlere de büyük rijitlik katmasından kaynaklanmaktadır.
- 7) D-DÇÇ modellerinin  $S_{12}$  kayma gerilmeleri incelendiğinde, kayma gerilme değerlerinin arttığı görülmektedir. MAÇ modellerinde kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kayma gerilmeleri yığılmalarının, dışmerkez çapraz elemanların kullanılmasıyla birlikte eksantrisiteye bağlı olarak bağ kirişi üzerinde toplanmaya başladığı görülmektedir.
- 8) Ters V-DÇÇ modellerinin  $S_{12}$  kayma gerilmeleri incelendiğinde, bağ kirişi uzunluğundaki artışa bağlı olarak kiriş boyunca meydana gelen kayma gerilmelerin arttığı görülmektedir. Bu modellerde kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelen kayma gerilmesi yığılmalarının tamamen bağ kirişlerinde olduğu görülebilir.
- 9) DÇÇ modellerinde bağ kirişleri üzerinde meydana gelen  $S_{12}$  kayma gerilmesi yığılmaları, bağ kirişlerinin büyük plastik deformasyonlar yapmasına neden olmaktadır. Bu plastik deformasyonlar, deprem tasarım yük değerlerinin üzerine çıkan dış yükler

olması halinde, çapraz elemanlarda burkulmaları önlenmektedir. Ayrıca bağ kirişleri üzerinde oluşan plastik kayma deformasyonları, bağ kirişlerinin enerji yutma kapasitelerini artırmaktadır. Bu özellik, DÇÇ modellerine MAÇ modellerinin süneklik özelliklerini katmaktadır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen yukarıdaki sonuçlar ışığında; kabuk elemanlar kullanılarak modellenen çelik çerçeve sistemlerde guse, taban plakası, gövde takviye levhası, alın levhası ve diğer birleşim elemanlarının dinamik davranışa etkisi incelenebilir. Ayrıca bu elemanların optimum tasarımlarıyla ilgili çalışmalar da gerçekleştirilebilir.

## 5. KAYNAKLAR

- Amadio, C., Clemente, I., Macorini, L. ve Fragiacomio, M., 2008. Seismic Behavior of Hybrid System Made of FR Composite Frames Coupled With Dissipative Bracings, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 37, 861-879.
- Aydın, E. ve Boduroğlu, M.H., 2006. Yapıların Deprem Davranışlarının İyileştirilmesi İçin Çelik Çapraz Elemanların Optimum Yerleşimi, İTÜ Dergisi/d Mühendislik, 5, 3, 2, 175-186.
- Bosco, M. ve Rossi, P.P., 2009. Seismic Behavior of Eccentrically Braced Frames, Engineering Structures, 31, 664-674.
- Deren, H., Uzgider, E. ve Piroğlu, F., 2003. Çelik Yapılar, Çağlayan Basımevi, İstanbul.
- Filiatrault, A. ve Tremblay, R., 1998. Design of Tension Only Concentrically Braced Steel Frames for Seismic Induced Impact Loading, Engineering Structures, 20, 12, 1087-1096.
- Hjelmstad, K.D. ve Popov, E.P., 1984. Characteristics of Eccentrically Braced Frames, Journal of Structural Engineering, 110, 2, 340-353.
- Kim, J. ve Choi, H., 2005. Response Modification Factors of Chevron-Braced Frames, Engineering Structures, 27, 285-300.
- Korkmaz, K.A., Ay, Z. ve Çelik, D., 2008. Merkezi Çaprazlı Çelik Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 26, 1, 58-67.
- Malley, J.M., Popov, E.P. ve Asce, F., 1984. Shear In Eccentrically Braced Frames, Journal of Structural Engineering, 110, 9, 2275-2295.
- Marino, E.M. ve Nakashima, M., 2006. Seismic Performance and New Design Procedure for Chevron-Braced Frames, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35, 433-452.
- Martinelli, L., Gabriella, M.M. ve Perotti, F., 1996. The Seismic Response of Concentrically Braced Moment-Resisting Steel Frames, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25, 1275-1299.
- Mastrandrea, L. ve Piluso, V., 2009. Plastic Design of Eccentrically Braced Frames, I: Moment Shear Interaction, Journal of Constructional Steel Research, 65, 107-1014.
- Moghaddam, H. ve Hajirasouliha, I., 2006. An Investigation on The Accuracy of Pushover Analysis for Estimating The Seismic Deformation of Braced Steel Frames, Journal of Constructional Steel Research, 62, 343-351.

- Moghaddam, H., Hajirasouliha, I. ve Doostan, A., 2005. Optimum Seismic Design of Concentrically Braced Steel Frames: Concepts and Design Procedures, Journal of Constructional Steel Research, 61, 151-166.
- Odabaşı, Y., 1997. Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları, 2. Baskı, Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- Okazaki, T., Engelhardt, M.D., Drolias, A. Schell, E., Hong, J.K. ve Uang, C.M., 2009. Experimental Investigation of Link-to-Column Connections in Eccentrically Braced Frames, Journal of Constructional Steel Research, 65, 1401-1412.
- Özhendekçi, D. ve Özhendekçi, N., 2008. Effects of the Frame Geometry on the Weight and Inelastic Behavior of Eccentrically Braced Chevron Steel Frames, Journal of Constructional Steel Research, 64, 326-343.
- Qian, J., Ji, X. ve Xu, Y., 2007. Two Stage Damage Diagnosis Approach for Steel Braced Space Frame Structures, Engineering Structures, 29, 3277-3292.
- Rasekh, A., Mofid, M. ve Khezzadeh, H., 2008. On the Effect of Large Deflection on Nonlinear Behavior of an Eccentric Bracing System, Wiley Interscience, 17, 795-808.
- Rossi, P.P. ve Lombardo, A., 2007. Influence of the Link Overstrength Factor on The Seismic Behavior of Eccentrically Braced Frames, Journal of Constructional Steel Research, 63, 1529-1545.
- Tama, Y.S., Yılmaz, S. ve Kaplan, H., 2006. Çelik Yapılarda Farklı Çapraz Sistemlerin Kapasite ve Sünekliğe Etkisi, Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 11-13 Ekim, İstanbul, Türkiye.
- URL-1, 2010. [http://www.comp-engineering.com/havuz/SAP2000\\_256.html](http://www.comp-engineering.com/havuz/SAP2000_256.html). 15.10.2009
- Yoo, J.H., Lehman, D.E. ve Roeder, 2008. C.W., Influence of Connection Design Parameters on the Seismic Performance of Braced Frames, Journal of Constructional Steel Research, 64, 607-623.
- Yoo, J.H., Roeder, C.W. ve Lehman, D.E., 2009. Simulated behavior of multi-story X-braced frames, Engineering Structures, 31 182-197.

## ÖZGEÇMİŞ

Erman ŞİMŞEK, 1984 yılında Samsun'da doğdu. İlköğrenimini 1990–1995 yılları arasında Samsun Gülsüm Sami İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini ise 1995–2003 yılları arasında Samsun Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2003 yılında üniversite eğitimine başlamış olduğu Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında mezun oldu. 2007 yılında girdiği sınavı kazanarak Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Taşyapı firmasına ait Yavuz ve Midilli Hidroelektrik Santralleri Projelerinde, Procons firmasına ait Bodream projesinde ve taşkın koruma yapılarının projelendirilmesinde görev almıştır. İyi derecede İngilizce ve başlangıç seviyesinde Almanca bilmektedir. Askerliğini tamamlamış olan Erman ŞİMŞEK ortaklığını yaptığı Maksimum Yapı Denetim Firması'nda çalışmaktadır.