



**MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZ TIPLERİNİN DÜĞÜM
NOKTASI BİRLEŞİM DETAYINA VE ÇERÇEVE
DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Büşra CENGİZ

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Şenol GÜRSOY**

**MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZ TIPLERİNİN DÜĞÜM NOKTASI BİRLEŞİM
DETAYINA VE ÇERÇEVE DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Büşra CENGİZ

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Şenol GÜRİSOY**

**KARABÜK
Haziran 2020**

Büşra CENGİZ tarafından hazırlanan “MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZ TIPLERİNİN DÜĞÜM NOKTASI BİRLEŞİM DETAYINA VE ÇERÇEVE DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Şenol GÜRİSOY

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 03.07.2020

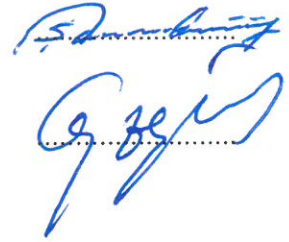
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

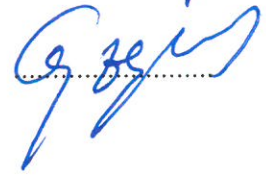
Başkan : Doç. Dr. Selçuk BAŞ (BÜ)



Üye : Doç. Dr. Şenol GÜRİSOY (KBÜ)




Üye : Dr. Öğr. Üyesi Zehra Şule GARİP (KBÜ)



KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tez çalışmasındaki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Buşra CENGİZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZ TIPLERİNİN DÜĞÜM NOKTASI BİRLEŞİM DETAYINA VE ÇERÇEVE DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Büşra CENGİZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Şenol GÜRSOY

Haziran 2020, 84 sayfa

Yüksek dayanım ve süneklik özellikleri deprem etkilerine karşı çelik yapıların tercih edilme sebebi olmuştur. Günümüzde çelik yapı taşıyıcı sistemleri olarak merkezi çelik çaprazlı çerçeveler yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Ancak oluşan depremler sonrasında yapılan incelemelerde çelik yapıların birleşim bölgelerinde önemli hasarların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle farklı merkezi çelik çaprazların ve düğüm noktası birleşiminin türünün çelik yapı davranışına etkisini bilmek oldukça önemlidir. Bu husus çelik yapıların göstereceği davranışların bilinmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı farklı merkezi çapraz tiplerinin ve düğüm noktası birleşim detayının çelik yapıların davranışlarını etkisini karşılaştırmalı olarak incelemektir.

Bu amaçla yapılan tez çalışması toplam altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde bu konu ile ilgili geçmişte yapılan bazı çalışmalara yer verilmiştir. İkinci bölümde, elik yapılarla ilgili bazı genel bilgiler verilerek Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde bahsedilen elik taşıyıcı sistemleri hakkında bazı bilgiler verilmektedir. nc bölümde, merkezi elik aprazlı çerçeveler ile ilgili olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve elik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelikteki tasarım kuralları özetlenmektedir. Dördüncü bölümde bu tez çalışmasının sayısal uygulamalar için farklı merkezi elik çapraz elemanlara sahip yapı modelleri oluşturulmaktadır. Beşinci bölümde, söz konusu elik yapı modellerinin Sta-Steel programı yardımı ile yapısal zmlmeleri gerçekleştirilerek elde edilen bulgular birbiriyle karşılaştırılmaktadır. Altıncı bölümde ise çalışmanın tümünden elde edilen başlıca sonuç ve öneriler verilmekte ve bu bölümü kaynaklar dizini takip etmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, farklı merkezi elik çapraz elemanların elik yapıların davranışlarına olumlu katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Bu husus elik yapıların performansını artıran merkezi elik aprazların oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca Türkiye'de özellikle deprem bölgelerinde inşa edilecek elik yapıların emniyeti ve performansı bakımından iki yönlü merkezi elik çaprazlara sahip elik taşıyıcı sistemlerinin tercih edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler : elik yapılar, elik taşıyıcı sistemler, elik yapıların tasarımı, merkezi elik çaprazlar, Sta-Steel.

Bilim Kodu : 91103

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

AN INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CENTRAL STEEL BRACING TYPES ON THE JOINT CONNECTION DETAIL AND FRAME BEHAVIOR

Büşra CENGİZ

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor:
Assoc. Prof. Dr. Şenol GÜRSOY
June 2020, 84 pages**

High strength and ductility properties have been the reason for the preference of steel structures against earthquake effects. Today, central steel braced frame structures as steel structure structural systems are widely preferred. However, in the investigations made after the earthquakes, it was observed that significant damages occurred in the joint connection of the steel structures. Therefore, it is very important to know the effect of different central steel bracing and nodal point type on steel structure behaviour. this matter reveals the need to know the behaviours that it will show of steel structures.

The main purpose of this thesis study is to comparatively examine the effects on the behaviour of steel structures of the different central braced types and joint connection details.

The thesis study for this purpose consists of a total of six chapters. In the first chapter, some previous related studies on this subject are included. In the second chapter, by giving some general information about steel structures, the Turkey Building Earthquake Regulation are given some information about mentioned steel structural systems. In the third chapter, with regard to the central steel braced frames Turkey Earthquake Building Regulations and design rules in the Regulation on the Principles of Design and Construction Design of Steel Structures are summarized. In the fourth chapter, building models with different central steel bracing members are created for numerical applications of this thesis study. In the fifth chapter, the structural analyses of these steel structure models with the help of the Sta-Steel program is carried out and the findings obtained are compared. In the sixth chapter, the main results and suggestions obtained from the whole study are given and this chapter is followed by the references directory.

The results obtained from this study reveal that different central steel bracing members contribute positively to the behaviour of steel structures. this matter shows that central steel braced that increase the performance of steel structures are very important. Also in Turkey, particularly in terms of safety and performance of the steel structures to be constructed in earthquake zones are proposed to prefer of steel structural systems with bidirectional central steel braces.

Key Word : Steel structures, steel structural systems, design of steel structures, center steel bracing members, Sta-Steel.

Science Code : 91103

TEŞEKKÜR

Çelik yapılarda kullanılan merkezi çelik çapraz tiplerinin düğüm noktası birleşim detayına ve çerçeve davranışına etkisinin incelenmesi isimli bu tez çalışmasını bana önererek, Yüksek Lisans eğitimim süresince yoğun çalışmalarına rağmen, tez çalışmamın başlangıcından yazımına kadar tüm aşamalarını takip ederekengin bilgi birikimi ve emeğini eksik etmeyen, bana araştırma zevki ve bilimsel düşünce disiplini aşılayan, çalışmamın her safhasında derin tecrübesinden yararlanma imkânı bulduğum yönetici hocam Sayın Doç. Dr. Şenol GÜRSOY'a teşekkür ve saygılarımı sunmayı bir borç bilirim.

Bu çalışmamızın tez jüri üyeliğini kabul eden Sayın Doç. Dr. Selçuk BAŞ ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Zehra Şule GARİP'e katkılarından dolayı minnettar olduğumu belirtmek isterim. Ayrıca bu tez çalışmamda kullanmış olduğum Sta-Steel programının akademik lisanslıni kullanmamı sağlayan Sta-Steel yazılımcılarına teşekkür ederim.

Burada, eğitim-öğrenimim boyunca bana emeği geçen değerli hocalarımı saygı ile anarken, tez çalışmam süresince desteklerini benden eksik etmeyip sabırla bekleyen, hiçbir fedakarlığı esirgmeden ömrünü bizim yetişmemiz için adanmış başta annem ve babam olmak üzere aileme minnettar olduğumu belirtir ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda tez çalışmam süresince bana güvenerek desteğini her zaman üzerimde hissettiren, sevgi ve merhametiyle bana birçok konuda yardımcı olan can yoldaşım Sadık'a teşekkür eder, çalışmamın ülkemize faydalı olmasını gönülden dilerim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
1.1. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLERLE İLGİLİ GEÇMİŞTE YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR	3
1.2. TEZ ÇALIŞMASININ AMAÇ VE KAPSAMI.....	8
BÖLÜM 2.	10
ÇELİK YAPILARLA İLGİLİ GENEL BİLGİLER	10
2.1. ÇELİK YAPILARIN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	10
2.2. ÇELİK MALZEME VE ÖZELLİKLERİ	11
2.3. ÇELİK MALZEMENİN ÜSTÜNLÜKLERİ.....	15
2.4. ÇELİK MALZEMENİN SAKINCALARI	15
2.5. ÇELİĞİN MALZEMENİN SÜNEKLİĞİ VE ENERJİ SÖNÜMLEME ÖZELLİĞİ.....	16
2.6. TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER	18
2.6.1. Çelik Taşıyıcı Sistemler.....	18
2.6.1.1. Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeveler (MÇÇÇ).....	19
2.6.1.2. Dış Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeveler (DMÇÇÇ)	21

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3.	24
MERKEZİ ÇELİK SİSTEMLERİN TASARIMI.....	24
3.1. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLER.....	24
3.2. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLERDE SÜNEKLİK DÜZEYİ....	25
3.3. TBDY’E GÖRE MÇÇÇ SİSTEMLERİNİN TASARIM ESASLARI.....	26
3.3.1. Süneklik Düzeyi Sınırlı MÇÇÇ Sistemler.....	26
3.3.1.1. Genel Koşullar.....	26
3.3.1.2. Sistem Analizi	26
3.3.1.3. Çaprazlar	30
3.3.1.4. Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar.....	30
3.3.1.5. Çapraz Birleşimleri.....	33
3.3.1.6. Kolon Ekleri	33
3.3.2. Süneklik Düzeyi Yüksek MÇÇÇ Sistemler.....	34
3.3.2.1. Genel Koşullar.....	34
3.3.2.2. Sistem Analizi	34
3.3.2.3. Çaprazlar	36
3.3.2.4. Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar.....	36
3.3.2.5. Kolon-Kiriş-Çapraz Birleşimleri.....	37
3.3.2.6. Çapraz Uç Birleşimlerinin Gerekli Dayanımı	38
3.3.2.7. Kolon Ekleri	39
3.4. YENİ ÇELİK YAPILAR YÖNETMELİĞİNE GÖRE MÇÇÇ SİSTEMLERİN TASARIM ESASLARI.....	39
3.4.1. Tasarım İlkeleri.....	39
3.4.1.1. Sınır Durumlar.....	39
3.4.1.2. Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT).....	40
3.4.1.3. Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT)	40
3.4.1.4. Stabilitate Analizi.....	40
3.4.1.5. Birleşimlerin Tasarımı.....	40
3.4.1.6. Kirişlerde Yeniden Dağılım	41
3.4.1.7. Yapısal Bütünlük İçin Tasarım	42
3.4.2. Yükler ve Yük Birleşimleri	42
3.4.2.1. Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım (YDKT).....	43
3.4.2.2. Güvenlik Katsayılarıyla Tasarım (GKT).....	44

	<u>Sayfa</u>
3.4.3. Yapısal Eleman En Kesit Özellikleri	45
3.4.3.1. Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin En Kesitlerin Sınıflandırılması. 45	45
3.4.3.2. Boru ve Kutu En Kesit Alanların Tasarım Et Kalınlıkları	50
3.4.3.3. Kayıpsız ve Net En Kesit Alanları	50
BÖLÜM 4.	52
YAPILAN ÇALIŞMALAR	52
4.1. ÇELİK YAPI MODELLERİ.....	52
4.1.1. Yapı Modellerinin Genel Özellikleri	52
4.1.2. Çelik Yapı Modellerinin Yapısal Elemanlarının Malzeme Özellikleri ..	61
BÖLÜM 5.	63
YAPI MODELLERİNİN YAPISAL ÇÖZÜMLEMELERİ VE ELDE EDİLEN BULGULARIN TARTIŞILMASI.....	63
BÖLÜM 6.	77
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye’deki çelik yapıların dağılımı.....	1
Şekil 1.2. Çelik yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemler	2
Şekil 2.1. Coalbrookdale Köprüsünden bir görünüm.....	10
Şekil 2.2. Britannia Köprüsünden bir görünüm	11
Şekil 2.3. Çeliğin gerilme-şekildeğiştirme (σ - ϵ) diyagramı	14
Şekil 2.4. Yapı çeliğinde gerilme-şekil değiştirme hali	17
Şekil 2.5. Yapısal çelikte (a) yarı yükleme çevriminde harcanan enerji (b) tam yükleme çevriminde harcanan enerji	18
Şekil 2.6. TBDY’e göre MÇÇÇ Tipleri	20
Şekil 2.7. TBDY’e göre DMÇÇÇ Tipleri	22
Şekil 2.8. DMÇÇÇ düzenlenmesi bağlı olarak mimari fonksiyonellik.....	23
Şekil 3.1. Farklı çerçeve tiplerinin tersinir yük altındaki davranışı	25
Şekil 3.2. Eksenel basınç kuvvetine maruz çapraz elemanların burkulma anına denk gelen mekanizma durumu	35
Şekil 3.3. Çapraz elemanın veya bağlantı levhasının kolon-kiriş birleşimine bağlantı detayları.....	38
Şekil 4.1. Model 1’in dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü	54
Şekil 4.2. Model 2’nin dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü	55
Şekil 4.3. Model 3’ün dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü	55
Şekil 4.4. Model 4’ün dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü	55
Şekil 4.5. Model 5’in dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü	56
Şekil 4.6. Model 6’nın dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü	56
Şekil 4.7. Model 7’nin dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü	56
Şekil 4.8. Model 8’in dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü	57
Şekil 4.9. Çelik yapı modellerinin temel sisteminin görünümü ve boyutları.....	57
Şekil 4.10. Dikkate alınan çerçevelerin bulonlu ve kaynaklı olarak oluşturulan düğüm noktası birleşimi detayları	58
Şekil 4.11. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 1’in dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü	58

Şekil 4.12. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 2'nin dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü	59
Şekil 4.13. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 3'ün dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü	59
Şekil 4.14. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 4'ün dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü	59
Şekil 4.15. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 5'in dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü	60
Şekil 4.16. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 6'nın dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü	60
Şekil 4.17. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 7'nin dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü	60
Şekil 4.18. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 8'in dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü	61
Şekil 5.1. Model 1'in x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için yapısal elemanlarının yer değiştirme görünümleri	63
Şekil 5.2. Model 2-model 4'ün x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için yapısal elemanlarının yer değiştirme görünümleri.....	64
Şekil 5.3. Model 5-model 7'nin x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için yapısal elemanlarının yer değiştirme görünümleri.....	65
Şekil 5.4. Model 8'in x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için yapısal elemanlarının yer değiştirme görünümleri	66
Şekil 5.5. Çelik yapı modellerinin seçilen düğüm noktası ve yapısal elemanları.....	66
Şekil 5.6. Çelik yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle x doğrultusundaki deprem etkisi için seçilen kolonunun kat seviyelerindeki yerdeğiştirme değerleri	73
Şekil 5.7. Çelik yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle x doğrultusundaki deprem etkisi için seçilen kolonunun kat seviyelerindeki yerdeğiştirme değerleri	74
Şekil 5.8. Çelik yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle y doğrultusundaki deprem etkisi için seçilen kolonunun kat seviyelerindeki yerdeğiştirme değerleri	74
Şekil 5.9. Çelik yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle y doğrultusundaki deprem etkisi için seçilen kolonunun kat seviyelerindeki yerdeğiştirme değerleri	75

Şekil 5.10. Düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit olduğu kabulleriyle farklı merkezi çelik çapraz oranlarına göre çelik yapı modellerinin deprem yükü değerleri..... 76

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Bazı elementlerin çelik alaşımındaki etkileri.....	13
Çizelge 3.1. TBDY’ e göre enkesit koşulları	27
Çizelge 3.2. TBDY’ e göre R, D ve BYS katsayıları.....	29
Çizelge 3.3. Eksenel basınç kuvveti etkisindeki en kesit parçaları için genişlik/kalınlık oranları (λ)	46
Çizelge 3.4. Eğilme momentinin basınç bileşeni etkisindeki en kesit parçaları için genişlik/kalınlık oranları.....	47
Çizelge 4.1. S275 malzemesinin karakteristik akma gerilmesi (F _y) ve çekme dayanımı (F _u).....	61
Çizelge 4.2. Bulon sınıfının karakteristik akma gerilmesi (F _{yb}) ve çekme dayanımı (F _{ub}).....	62
Çizelge 4.3. Çelik yapı modellerinin diğer tasarım parametreleri.....	62
Çizelge 5.1. Merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin rijit ve yarı-rijit yapısal çözümlerinden elde edilen periyot (T) ve açısal hız (ω) değerleri.....	67
Çizelge 5.2. Merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için rijit ve yarı-rijit yapısal çözümlerinden elde edilen 1 ve 2 düğüm noktalarındaki yer değiştirme ve dönme değerleri.....	68
Çizelge 5.3. Merkezi çelik çaprazlı çelik yapı modellerinin x ve y doğrultularında deprem etkisi için rijit ve yarı-rijit yapısal çözümlerinden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerleri	70
Çizelge 5.4. Merkezi çelik çaprazlı çelik yapı modellerinin x ve y doğrultularında deprem etkisi için rijit ve yarı-rijit yapısal çözümlere göre devrilme kuvveti devrilme momenti, devrilmeye karşı moment ve güvenlik katsayısı değerleri.....	71
Çizelge 5.5. Merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin seçilen kirişinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit kabulüyle yapısal çözümlerinden elde edilen maksimum sehim ve yerdeğiştirme değerleri.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- A : En kesit alanı
- A_e : Etkin en kesit alanı
- A_{fb} : Başlık en kesit alanı
- A_g : Toplam (kayıpsız) en kesit alanı
- A_n : Net (kayıplı) alan
- b : **I, U, T, L**, kutu ve yapma profillerin başlık genişliği
- C_a : Sağlanması gereken aksenal kuvvet dayanımının tasarım aksenal kuvvet dayanımına oranı
- C_d : Büküm noktasındaki stabilite destek elemanının sağlanması gereken rijitlik ve dayanımı için büyütme katsayısı
- D : Dayanım fazlalığı katsayısı
- d_e : Etkin delik çapı ($= d_h - 2mm$)
- d_h : Karakteristik bulon deliği çapı
- E : Yapı çeliğinin elastisite (esneklik) modülü “ $200000MPa$ ”
- e : Dış merkezi çelik çaprazlı çerçevelerde bağ kirişlerin boyu
- E_d : Tasarıma esas toplam deprem etkisi
- E_d^H : Tasarıma esas yatay deprem etkisi
- E_d^Z : Tasarıma esas z doğrultusundaki deprem etkisi
- F : Akışkan madde basıncı
- F_{cr} : Kritik burkulma gerilmesi
- F_{cre} : Olası akma gerilmesiyle hesaplanan kritik burkulma gerilmesi
- F_u : Yapı çeliğinin karakteristik çekme dayanımı
- F_y : Yapı çeliğinin karakteristik akma gerilmesi

- G : Sabit / kalıcı yük
- g : Kuvvete dik doğrultudaki ardışık iki bulon deliğinin merkezleri arasındaki uzaklık
- H : Yatay zemin itkisi
- H_c : Kolon yüksekliği
- h : **I, U, T, L**, kutu ve yapma profillerin en kesit yüksekliği
- h_c : Hadde profillerinin ağırlık merkezi ile basınç başlığı tarafının gövde parçasındaki eğrilik bitim noktası arasındaki uzaklığın iki katı
- h_o : Kesit başlıklarının merkezleri arasındaki uzaklık
- i : Atalet yarıçapı
- i_y : Kiriş en kesitinin zayıf eksenine göre atalet yarıçapı
- K : Burkulma katsayısı
- KL : Çubuk burkulma boyu
- L : Çubuk boyu
- L_b : Basınç başlığının yanal doğrultuda mesnetlendiği veya en kesitin çarpılmaya karşı mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklık
- M_a : GKT göre yük birleşimleri esas alınarak sağlanması gereken eğilme dayanımı
- M_p : Karakteristik plastik eğilme dayanımı
- M_{pc} : Kolonun karakteristik plastik eğilme dayanımı
- M_r : Sağlanması gereken eğilme dayanımı
- M_u : YDKT göre yük birleşimleri esas alınarak sağlanması gereken eğilme dayanımı
- P_{br} : Yanal destek elemanlarının sağlanması gereken eksenel kuvvet dayanımı
- P_a : GKT için yük kombinezonları ile hesaplanan gerekli eksenel kuvvet dayanımı
- P_u : YDKT için yük kombinezonları ile hesaplanan gerekli eksenel kuvvet dayanımı
- Q : Hareketli yük
- Q_r : Çatı hareketli yükü
- R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (süneklik katsayısı)

- R_a : GKT yük birleşimi ile belirlenen gerekli dayanım
- R_n : Karakteristik dayanım
- R_t : Olası çekme dayanımının karakteristik çekme dayanımına oranı
- R_u : YDKT yük birleşimi ile belirlenen gerekli dayanım
- R_y : Olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı
- S : Kar yükü
- s : Kuvvet doğrultusunda ardışık iki bulon deliğinin merkezleri arasındaki uzaklık
- T : Sıcaklık değişmesi ve/veya mesnet çökmesi etkileri
- t : **I**, **U**, **T** ve **L** profillerinin başlık kalınlığı, boru ve kutu profillerin cidar (et) kalınlığı
- t_w : **I** ve yapma **I** profillerinin gövde kalınlığı
- W : Rüzgâr yükü
- W_{exc} : x ekseninde etrafında basınç bölgesi için elastik mukavemet momenti
- W_{ext} : x ekseninde etrafında çekme bölgesi için elastik mukavemet momenti
- W_p : Plastik mukavemet momenti
- λ_{hd} : SDY elemanlar için en kesit koşulu sınır değeri
- λ_{md} : SDS elemanlar için en kesit koşulu sınır değeri
- ϕ : Dayanım katsayısı (YDKT)
- ϕ_c : Basınç kuvveti etkisi için dayanım katsayısı
- Ω : Güvenlik katsayısı (GKT)
- Ω_c : Basınç kuvveti etkisi için güvenlik katsayısı

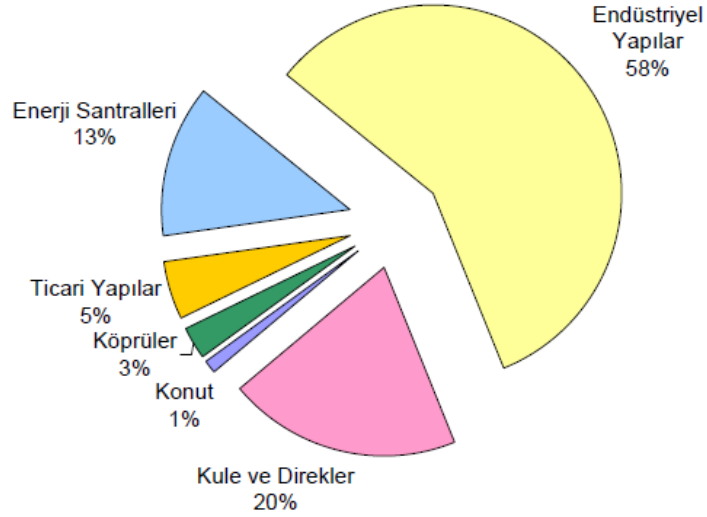
KISALTMALAR

I	: Bina önem katsayısı
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
ÇYTHYEDY	: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik
ÇYTYK	: Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
DD	: Yer Hareketi Düzeyi
DD2	: 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 (Tekrarlanma Periyodu 475 Yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
DMÇÇÇ	: Dış Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeve
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
GKT	: Güvenlik Katsayılarıyla Tasarım
LRFD	: Load and Resistance Factor Design
MAÇÇ	: Moment Aktaran Çelik Çerçeve
MÇÇÇ	: Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeve
SAP 2000	: Structural Analysis Program
SDS	: Süneklik Düzeyi Sınırlı
SDY	: Süneklik Düzeyi Yüksek
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TDY	: Türkiye Deprem Yönetmeliği
YDKT	: Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım
T1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu (s)
TA, TB	: Spektrum Karakteristik Köşe Periyotları (s)
T _L	: Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumunda Sabit Yerdeğiştirme Bölgesine Geçiş Periyodu (s)
ZB	: TBDY'e Göre Yerel Zemin Sınıfı (Az Ayrışmış, Orta Sağlam Kayalar)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

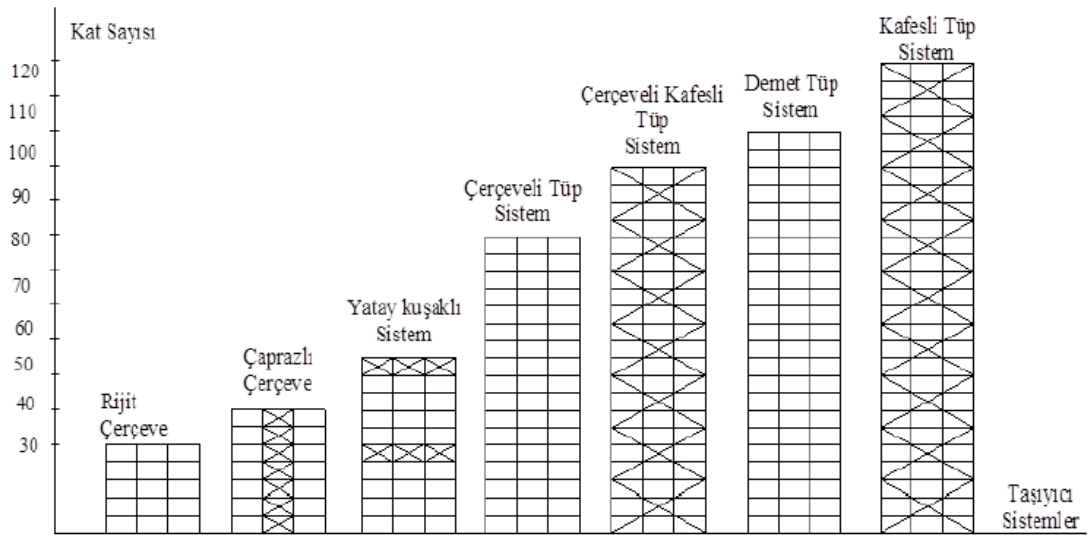
Türkiye’de çelik yapıların en yaygın kullanımının endüstriyel yapılarda olduğu görülmektedir (bkz. Şekil 1.1). Diğer taraftan son yıllarda meydana gelen depremler sonrası konutlarda da çelik malzeme kullanımına olan ilgiyi artırmış bulunmaktadır. Bu durumda çelik yapıların tasarım ve tekniğine uygun olarak inşa edilmesinin önemini daha da artırmaktadır. Zira topraklarının hemen hemen hepsi deprem tehlikesiyle karşı karşıya olan Türkiye’de inşa edilen ve/veya edilecek yapılardan beklenen temel özellik oluşacak depremlere karşı dayanıklı olmasıdır. Bununla beraber oluşacak depremler sonucu yapısal hasarları minimuma indirmek için söz konusu yapıların deprem davranışlarını doğru anlayarak buna uygun tasarımların yapılması gerekmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye’deki çelik yapıların dağılımı (Altay ve Güneyisi, 2005).

Çelik taşıyıcı sistemler kolon ve kirişlerin varsa diyagonal elemanların birbirlerine birleştirilmesiyle oluşmaktadır. Diğer bir ifadeyle kolon ve kirişlerin birleştirilmesiyle oluşan çerçeve sistemler de çelik taşıyıcı sistemleri oluşturmaktadır. Çelik yapıya etkiyen yükler de bu çerçeve sistemler ile

karşılanmaktadır. Çelik çerçeve sistemlerde farklı taşıyıcı sistemler mevcuttur (bkz. Şekil 1.2). Bu taşıyıcı sistemlerin seçimi ve boyutlandırılması, kat sayısı ile ilişkili olmaktadır. Çünkü kat sayısı arttıkça yapıya etkiyen rüzgâr ve deprem gibi yatay yükler artmakta ve artan bu yükler düşey yüklere göre daha etkili olmaktadır. Çelik yapıya etkiyen bu yatay yükün düşey yüke göre daha etkili olduğu durumlarda, söz konusu yatay yükleri karşılamak için çaprazlı çerçeve tiplerinin kullanılmasının önemi daha da artmaktadır. Çelik yapıların tasarımında merkezi çelik çaprazlı çerçeveler kullanılabileceği gibi dış merkezi çelik çaprazlı çerçeveler de kullanılabilir. Bununla beraber en kolay olan tasarlanabilen ve özellikle endüstriyel yapıların inşasında en fazla tercih edilen merkezi çaprazlı çelik çerçevelerdir. Ancak merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin süneklikleri diğer çerçeve türlerine (dış merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ve moment aktaran çelik çerçeveler) kıyasla daha düşüktür. Ayrıca merkezi çaprazlı çerçevelerin çapraz birleşimlerinde oluşan gevrek kırılmalar en büyük sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle çapraz birleşimlerin tasarımında, çaprazlardan aktarılabilecek maksimum kuvvete göre hesap yapılmalıdır (Akbaş, 2011).



Şekil 1.2. Çelik yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemler (Kalaycı, 2013).

Yönetmeliklerde yapılarda ani sistem çökmesini önlemek için, güçlü kolon-zayıf kiriş düzenlemesi yapılarak plastik mafsalsın önce kirişlerde oluşması önerilmektedir.

Çünkü büyük dış etkiler altındaki yapısal elemanlarda söz konusu etkileri elastik bölgede karşılamak ekonomik olmamaktadır.

Bu sayede oluşabilecek şiddetli depremlerde can kaybı olmaksızın ve taşıyıcı sistem tamamen göçmeksizin yapısal hasarlar kabul edilmekte, orta şiddetteki depremlerde ise elastik sınırlar dışındaki onarılabilir yapısal hasarlar kabul edilmektedir. Oluşabilecek küçük şiddetli depremlerde ise herhangi bir yapısal hasarın oluşmaması öngörülmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye’de çelik yapıların tasarımında kullanılan merkezi çelik çapraz türlerinin yapıların performansı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, önce bu konuda yapılmış olan literatür özeti sunulacak ve çelik yapılarla ilgili bazı genel bilgiler verilecektir. Daha sonra verilen bu bilgilerin ışığında örnek olarak seçilen merkezi çaprazlı çelik yapı modellerinin yapısal çözümlenmeleri Sta-Steel (Sta-Steel, 2019) programıyla gerçekleştirilecektir. Bu tez çalışmasının sonunda gerçekleştirilen yapısal analizlerden elde edilen bulgular irdelenerek bazı sonuçlar ve öneriler sunulacaktır.

1.1. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLERLE İLGİLİ GEÇMİŞTE YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında teknik literatürde merkezi çaprazlı çelik yapılarla ilgili yapılan bazı çalışmalar incelenmiş ve bu tezin olgunlaşım-gelişmesinde kaynak olarak kullanılmışlardır. Söz konusu çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmektedir.

Şengel ve Kırac (2003) çalışmalarında, çelik bir yapıyı elastik ve plastik hesap yöntemleriyle incelemişlerdir. Bu amaçla önce diyagonalleri deprem yüklerine göre boyutlandırmışlar ve daha sonra birleşimleri bulonlu olarak tasarlamışlardır. Böylece kullandıkları farklı çözüm yöntemlerinin birleşim elemanları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, plastik hesap yönteminin elastik hesap yöntemine göre %20 daha ekonomik olduğu gözlemlenmiştir. Ancak plastik çözümde birleşimlerde kullanılması gereken birleşim elemanı sayısının, elastik çözüm

yöntemine göre hesaplanan birleşim elemanlarından daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır.

Çatalkaya (2004) çalışmasında, deprem etkisi altındaki 4 farklı çapraz türüne sahip çelik çerçevelerin sünekliklerini karşılaştırarak davranışlarını incelemiştir. Bu amaçla merkezi Λ , dış merkezi Λ , merkezi X ve dış merkezi X çapraz türlerine sahip modellerin yapısal çözümlerini SAP2000 programıyla modal analiz yöntemini kullanılarak gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirilen yapısal çözümlerden, büyük periyot değerinin x-x doğrultusunda dış merkez Λ tipinde olduğu ve en küçük periyot değerinin ise x-x doğrultusunda merkezi Λ tipinde olduğunu ifade etmiştir. Bu duruma bağlı olarak da spektrum katsayısı en büyük olan merkezi Λ çaprazlı model iken spektrum katsayısı en küçük olan dış merkez Λ çaprazlı modeldir. Ayrıca en fazla şekil değiştirmenin x-x doğrultusunda merkezi X çaprazlı sistemde olduğunu ve en az şekil değiştirmenin ise x-x doğrultusunda dış merkez X çaprazlı sistemde olduğunu belirtmiştir.

Topaloğlu (2007) tarafından yapılan tez çalışmasında, merkezi çaprazlı çelik perdelerin davranışı doğrusal olmayan statik itme analizle incelenmiştir. Bu amaçla FEMA-356 ve ATC-40'ta performans seviyesinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler irdelenmiştir. Yabancı deprem yönetmeliklerinde bulunan ve 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde uygulanmaya başlanan artımsal itme analizi mevcut binaların dayanımı hakkında bilgi vermekte ve onarım-güçlendirme ihtiyaçları da belirlenebilmektedir.

Korkmaz vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, on iki adet merkezi çaprazlı modellerin elastik ötesi davranışları doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleriyle incelenmiştir. Bu amaçla dört farklı kat yüksekliğine sahip yapıların üç farklı çapraz modelinden elde edilen sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda tüm kat yüksekliklerinde V ve Λ modellerinin daha rijit bir davranış gösterdiği, buna karşın diyagonal çapraz tipinin ise daha sünek bir davranış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Yurdasev (2008) çalışmasında, merkezi ve dış merkezi çelik çaprazlı yapıların süneklik düzeylerinin belirlenmesi için nonlinear davranışını incelemiştir. Çalışmasında 11 katlı merkezi çaprazlı, dış merkezi çaprazlı ve moment aktaran çerçevelerin yapısal analizlerini SAP2000 programını kullanarak yapmıştır. Analizler sonucunda; yapının deprem yükleri altındaki davranışı, süneklik, periyot, rijitlik, deplasman gibi değişkenlere göre değerlendirmesini yapmış ve dış merkezi Λ çaprazlı yapıların en avantajlısı olduğunu ifade etmiştir.

Dizdar (2009) çalışmasında, merkezi çaprazlı çelik çerçeveleri nonlinear (doğrusal olmayan) zaman geçmişi analiziyle incelemiştir. Bu amaçla, 3 ve 9 katlı iki farklı merkezi çaprazlı çelik çerçeveyi, Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY) ve Amerikan Deprem Yönetmeliğine (ASCE-7, 2005) göre tasarlanmıştır. Çaprazların orta noktalarına iki tip eksenel mafsal tanımlamış ve 5 adet deprem kaydı kullanarak SAP2000 programıyla nonlinear zaman geçmişi analizlerini yapmış ve sismik performanslarını değerlendirmiştir.

Yüksekova (2011) tarafından yapılan çalışmada bulonlu birleşimlerde yük dağılımları ve yapısal esasları incelenmiştir. Birleşimlerdeki yük dağılımı sonucu oluşan davranış şekli ve deformasyonları, geçmişte yapılan deneysel çalışma sonuçlarıyla, sayısal hesapların sonuçlarıyla ve sonlu elemanlar modeli ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır. Ancak ulaşılan sonuçların, her birinin tek başına anlamlı ve sağlıklı sonuçlar vermediği ve tümünün bir bütün olarak incelenmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Kural ve Zeybek (2012) yaptıkları çalışmalarında, farklı formlarda tasarlanmış çok katlı merkezi çaprazlı binaların doğrusal olmayan davranışları incelemiştir. Çalışmanın sonucunda yapısal eleman iç kuvvetleri, yatay yer değiştirmeler ve yapı periyotları göz önüne alındığında, merkezi çaprazlı çerçevelerin, moment aktaran çerçevelerden daha küçük ikinci mertebe etkilerine sahip olduğu ifade etmişlerdir.

Kalaycı (2013) çalışmasında, kayma etkisi sebebiyle oluşan P- Δ etkilerini incelemek için moment aktaran çerçeve modeli ve eleman eğriliğinden dolayı oluşan P- δ etkilerini incelemek için merkezi çaprazlı çelik çerçeve modeli oluşturmuştur. Bu

amaçla sabit yapı yüksekliğinde ve değişken kat yüksekliklerinde, modeller üzerinde deprem ve rüzgâr yükleri altında ikinci mertebe etkilerini araştırmıştır. Ayrıca kat yüksekliklerinin değişimini göz önüne alarak referans kabul edilen değerleri ve yönetmeliklere göre hesaplanan değerleri karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre artırılmış yük kombinezonları dikkate alındığında LRFD-1999'un emniyetli tarafta kaldığını ifade etmiştir.

Özkan (2013) çalışmasında burkulması önlenmiş çelik çaprazlı yapıları incelemiştir. Bu amaçla Amerikan yönetmeliklerine uygun bir tasarım yapmış ve burkulması önlenmiş çaprazların inelastik davranışını araştırmıştır. Sonuç olarak çelik başlıkların alanlarının artırılmasıyla dönme ve yanal ötelemelerin azaldığını ve akmanın başlık bölgelerinde oluşmaması için başlık bölgesi alanının akma bölgesi alanından büyük olması gerektiğini ifade etmiştir. Ancak başlık alanının sınırlandırılması gerektiğini belirtmiştir.

Özer (2015) 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğinin güncellenmesi çalışmaları kapsamında, depreme dayanıklı çelik ve kompozit elemanlı binaların tasarımında gerçekleştirilen bazı düzenlemelerin gerekçelerini ve temel uygulama prensiplerini sunmuştur. Bu amaçla çelik yapı elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılan dayanım esaslı tasarım yaklaşımını, depreme dayanıklı çelik binaların boyutlandırılmasında uygulanan kapasite tasarımı ilkelerini, moment aktaran çelik çerçevelerde birleşim ve ek detaylarını, çelik binaların deprem kuvveti taşıyıcı sistemlerinde kapasitesi korunan bölgelerini, kat döşemelerinde yatay kuvvetlerin düşey taşıyıcılara aktarılmasını, çelik-betonarme kompozit kolonlar ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlı sistemleri incelemiştir. Sonuç olarak depreme dayanıklı çelik yapıların yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme esaslı performansa göre tasarımının da deprem yönetmeliği kapsamı içinde yer alması gerektiğini ifade etmiştir.

Lekesiz (2016) tarafından yapılan çalışmada farklı çaprazlı perde alternatiflerinin deprem performansları incelenmiş ve yapıların hemen kullanım performans seviyesi için gerekli çapraz takviyeleri belirlenmiştir. Bu amaçla iki katlı endüstri yapılarını bir doğrultuda merkezi çaprazlı olarak diğer doğrultuda ise çerçeve sistemden oluşturmuştur. Oluşturulan sistemlerde 4 farklı çapraz tipi (diyagonal, Λ , X, iki katta

X) ve sadece çekme kuvvetine karşı çalışan X çapraz tipi kullanmıştır. Ayrıca her çaprazlı perde tipini süneklik düzeyi normal ve yüksek olarak düzenlemiştir. Sonuç olarak en iyi deprem performansını sadece çekme kuvvetine çalışan X tipi ve diyagonal tipte olduğunu ve en kötü deprem performansının ise Λ çaprazlı sistemde olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca hemen kullanım performans seviyesinde diyagonal çapraz tipinin en uygun çapraz tipi olduğunu belirtmiştir.

Türk (2016) tarafından yapılan çalışmada *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerinin* kurallarına göre süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı çerçeve modelleri oluşturmuş ve söz konusu modellerin zaman tanım alanında ve statik itme analizleriyle performanslarını belirlemiştir. Sonuç olarak göçme durumunun belirleyicisinin çapraz elemanlar olduğunu, mekanizma durumuna göre yapılan hesaplarda çaprazlardan kirişlere, çaprazların orta noktada birleştiği kirişlere, herhangi bir yük gelmediğini, ancak dinamik analizler yapıldığında deprem yüklerinin çaprazlardan kirişlere aktarıldığını ifade etmiştir.

Yenitürk (2016) çalışmasında, 5 ve 9 katlı süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde kolon, kiriş ve çerçevelerde oluşan kuvvet değişimlerini farklı yer hareketleri kullanarak artımsal yüklemeler için incelemiştir. Buna göre artırılmış deprem etkilerini tespit etmekte kullanılan Ω_0 değerini 5 katlı binada 1,73 ve 9 katlı binada ise 1,67 olarak elde etmiştir. Çapraz elemanlarda bu değerlerin 5 katlı binada 1,80 ve 9 katlı binada ise 1,66 olduğu gözlemlenmiştir.

Akgönen (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, merkezi çaprazlı üç modele (X, V, Λ) ve moment aktaran çerçeve modeline (toplamda 4 modele) statik itme analizi uygulanarak yük taşıma kapasiteleri, süneklikleri ve rijitlikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen sonuçlarına göre merkezi çaprazlı X tipi çerçeve modelinin yatay yükler altında daha iyi rijitlik ve enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Çavdar (2017), çalışmasında X, V ve Λ çaprazlı olarak üç farklı tipte bina modelleri oluşturarak, bunların deprem performanslarını eşdeğer deprem yükü yöntemiyle

değerlendirmeyi amaçlamıştır. Söz konusu bina modelleri X doğrultusunda dört, Y doğrultusunda üç açıklıktan ve 6 kattan oluşmaktadır. Yapısal çözümler sonucunda modellerin kesit etkileri, periyot ve yer değiştirme değerleri birbirleriyle kıyaslandığında, V çaprazlı modelin deprem performansının diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiğini ifade etmiştir.

Genç (2017) çalışmasında *Çelik Yapı Tasarım Esasları ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerine* uygun olarak 3 katlı ve 9 katlı burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve ile 3 katlı ve 9 katlı Λ merkezi çaprazlı çelik çerçeve tasarlayarak 4 tip çerçevenin üç farklı yer hareketine (Kobe, Kocaeli, Northridge depremlerine) göre deprem performanslarını incelemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre geleneksel çaprazlarda, basınç kuvveti etkisinde oluşan burkulma nedeniyle, birim şekil değiştirmelerin kalıcı olduğunu gözlemlemiştir. Burkulması önlenmiş çaprazlarda ise hem çekmede hem de basınçta akmanın görüldüğünü ve birim şekil değiştirmelerin ise negatif ve pozitif olabileceğini ifade etmiştir. Ayrıca Kobe depremi etkisinde 9 katlı geleneksel çaprazlı yapılarda, burkulması önlenmiş çaprazlara göre tepe deplasmanlarında ani artışlar meydana geldiğini, burkulması önlenmiş çaprazlarda ise şekil değiştirmelerin daha kararlı davranış gösterdiğini ve burkulması önlenmiş çaprazlarda akmanın daha erken görüldüğünü belirtmiştir.

Günday (2017) yaptığı çalışmasında çelik yapıların dinamik yükler altındaki davranışlarını çelik çaprazlar kullanıldıktan sonraki davranışlarını SAP2000 programıyla karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Bu amaçla X tipi merkezi çaprazlar ile güçlendirilmiş modeli ve moment aktaran çerçeve sistemi kullanmıştır. Her iki modelde de maksimum yer değiştirme ve maksimum ivmeye sahip olan düğüm noktasını karşılaştırma için seçmiştir. Sonuç olarak çelik çaprazlarla güçlendirilen çelik yapıların rijitliğinin daha fazla olduğunu ifade etmiştir.

1.2. TEZ ÇALIŞMASININ AMAÇ VE KAPSAMI

Bu tez çalışmasında, çelik yapıların deprem etkilerine karşı dayanımlarını artırmak amacıyla kullanılan merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin, düğüm noktası rijit ve yarı rijit birleşimlerinde davranışlarının incelemesi amaçlanmıştır. Bu amaçla

moment aktaran çerçeve modeli referans model alınarak (model 1), X, V, Λ ve diyagonal çaprazlı yapı modelleri, bugün yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY, 2018) ve Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmenlik (ÇYTHYEDY, 2018) koşullarına göre oluşturularak yapısal çözümlenmeleri yapılmıştır. Böylece elde edilen bulgular birbirleriyle karşılaştırılarak bazı sonuçlara varılmıştır. Diğer taraftan merkezi çelik çaprazlı yapıların tasarımına esas farklı bir değerlendirme sunarak, güncel bir kaynak oluşturulması hedeflenmektedir.

Merkezi çelik çaprazlı çerçevelerin davranışlarıyla ilgili yapılan bu çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde çelik yapılara ait genel bilgiler özetlenerek bu konu ile ilgili geçmişte yapılan bazı çalışmalara yer verilmiştir. İkinci bölümde çelik malzemenin bazı özelliklerinden bahsedilmektedir. Üçüncü bölümde TBDY ve ÇYTHYEDY'e ilişkin tasarım esasları verilmektedir. Dördüncü bölümde farklı merkezi çelik çapraz elemanlara sahip 8 yapı modeli rijit ve yarı rijit birleşimli olarak oluşturulmuş ve Sta-Steel paket programıyla yapısal çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir. Beşinci bölümde ise yapısal çözümlenmelerden elde edilen bulgular birbirleriyle karşılaştırılarak bazı sonuç ve öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2

ÇELİK YAPILARLA İLGİLİ GENEL BİLGİLER

2.1. ÇELİK YAPILARIN TARİHSEL GELİŞİMİ

İnsanlık tarihinde demir ve çeliğin kullanımı iki yüzyıl öncesine dayanmaktadır. Eski devirlerde üretim alanı oldukça kısıtlı olan demir ve çelik ilk olarak silah ve/veya eşya yapımında kullanılmıştır. Demirin yapı malzemesi olarak kullanılması ise 18. yüzyılda İngiltere’de geliştirilen yüksek fırın yöntemiyle başlamıştır. Böylelikle yüksek fırınlarda ham demir ve font üretimi gerçekleştirilmiştir. İlk inşa edilen yapı İngiltere’de Severn Nehri üzerinde 1778 yılında tamamlanan Coalbrookdale köprüsü olmuştur (bkz. Şekil 2.1). 31 m açıklığa sahip bu köprü günümüzde hala kullanılmaktadır. Coalbrookdale Köprüsü’nden sonra font demir kullanılarak inşa edilen ikinci yapı Almanya’da Schlesien bölgesinde Striegauer akarsuyu üzerinde 1796 yılında inşa edilen köprü olmuştur. Fontun malzeme olarak basınç dayanımı oldukça yüksek olmasına rağmen, çekme dayanımı düşük olması nedeniyle font malzemeyle inşa edilen bu köprü ve daha sonraki köprülerde kemer sistemi kullanılmıştır (Deren vd., 2005).



Şekil 2.1. Coalbrookdale Köprüsünden bir görünüm (Özhendekçi, 2009).

Abraham Darby kok kömürünü kullanarak demiri işleyen ilk kişi olmuştur. Ancak bu demirin içinde bol miktarda karbon köpüğü bulunduğu için kalitesiz olduğundan sanat yapılarının inşasında kullanılamamıştır. 1784 yılında Henry Cort tarafından pudralama metodu geliştirilerek kaliteli dövme çelik üretimine başlanmıştır. Dövme çelik malzemeyle kafes ana kirişli ve dolu gövdeli ana kirişli köprüler inşa edilmiştir (Özhendekçi, 2009). Bu köprülerden biri İngiltere'deki 140m açıklığa sahip Britannia Köprüsü'dür (bkz. Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Britannia Köprüsünden bir görünüm (Özhendekçi, 2009).

Zaman içinde çeşitli yöntemler geliştirilip (Bessemer, Siemens-Martin, Thomas vb. gibi) demir sıvı haldeyken artırılarak dökme çelik üretimine başlanmıştır. 1875 yılından sonra font kullanımı yerine daha büyük çekme dayanımına sahip olan dövme çelik ve ardından da dökme çelik üretimine başlanmıştır. 20. yüzyıl başından itibaren de elektrikli fırınların kullanımı yaygınlaşmıştır (Özhendekçi, 2009).

2.2. ÇELİK MALZEME VE ÖZELLİKLERİ

Yapısal çelik, değişken miktarda karbon elementi ve demir elementinden oluşan bir alaşımdır. Yapısal çelik, karbon dışında farklı miktarlarda elementler de içermektedir. Bunlar; silisyum (Si), alüminyum (Al), krom (Cr), molibden (M), vanadyum (V), bor (B), nikel (Ni), bakır (Cu), manganez (Mn) gibi elementlerdir.

Yapısal çeliğin bünyesindeki karbon miktarı %0,2~%2,1 arasında değişkenlik göstermekte ve bu değişkenlik de çeliğin sınıflandırılmasında önemli rol oynamaktadır. Yukarıda bahsedilen elementlerle farklı oranlarda yapılan kimyasal bileşimler çeliğe farklı özellikler kazandırmaktadır. Diğer taraftan çeşitli elementlerin alaşımıyla farklı özelliklere sahip çelik üretilebileceği gibi ısı işlemlerle de farklı özelliklere sahip yapısal çelikler üretilebilmektedir. Bazı elementlerin çelik alaşımı üzerindeki etkileri Çizelge 2.1’de verilmektedir.

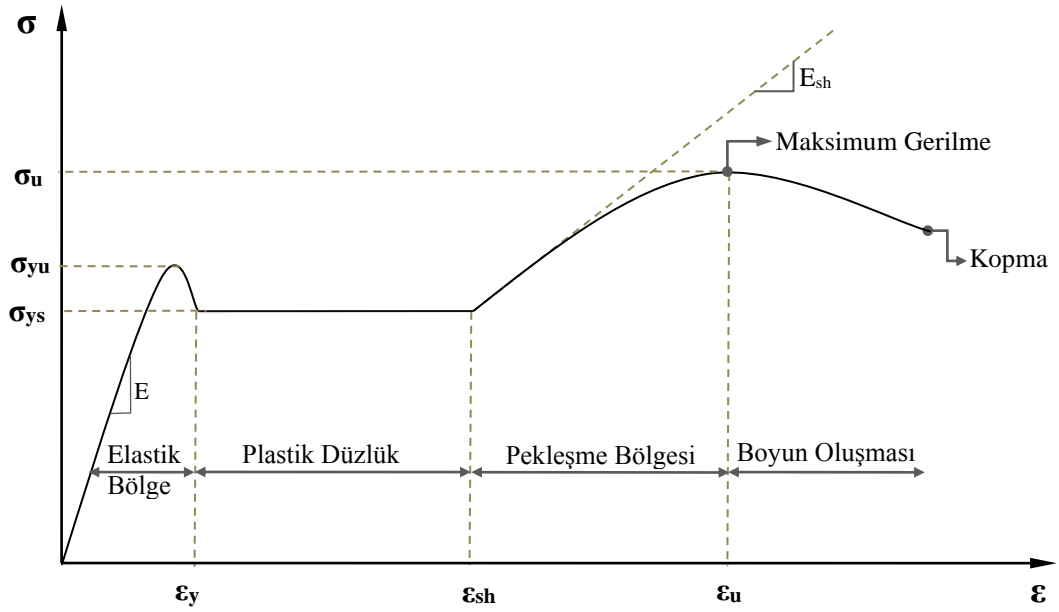
Demir cevheri içerisindeki karbon miktarı hidroksit ve oksitle birlikte düşürülmekte ve bu durumda cevhere plastik özellik kazandırmaktadır. Ancak tek başına bu özelliğiyle yapılarda kullanılamazlar. Demir, kok kömürü yakılarak yüksek fırınlarda eritilmekte ve %5 karbon oranına sahip ham demir elde edilmektedir. Elde edilen bu ham demire katkı maddeleri katılıp özel fırınlarda işlenerek %4 karbon oranı bulunduran font (pik) elde edilmektedir. Ancak karbon miktarı %4 olan fontun kolay işlenebilmesi olanaklı değildir. Diğer taraftan çekme dayanımı düşük olduğundan döküm malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca font malzemesine ısı işlemler uygulanarak karbon miktarı azaltmakta ve işlenebilir duruma getirilmektedir. Thomas, Siemens-Martin, Bessemer yöntemlerine göre ham demir arıtılmakta ve katkı maddeleri ilave edilerek sıvı durumdaki çelik malzeme üretilmektedir. Uygulanan ısı işlemler sonucunda, hedeflenen sertlik, fiziksel ve kimyasal özellikler, yüksek sıcaklığa ve korozyona karşı dayanım özellikleri kazandırılmaktadır. Ayrıca gerekli sıcaklıklara kadar malzeme ısıtılarak, dövülerek, preslenerek, haddelenerek şekil verilebilmektedir.

Çeliğin yapısında hammaddeden kaynaklı bazı elementler bulunmaktadır. Bunlar; manganez (Mn), Silisyum (Si), Fosfor (P), Kükürt (S) gibi elementleridir. Ayrıca diğer elementler gerekli miktarlarda ilave edilebilmektedir. Karbon elementi, çeliğin sertlik ve mukavemetini artırırken, süneklik ve kaynaklanabilme özelliklerini azaltmaktadır. İnşaat çeliğinde karbon miktarı %0,16~%0,22 oranında değişmektedir (Kalaycı, 2013). Bu aralık dışındaki karbon miktarına sahip çelik malzemenin sertliği, dayanımı, şekil değiştirme ve kaynaklanma özellikleri hedeflenen performansı karşılamamaktadır.

Çizelge 2.1. Bazı elementlerin çelik alaşımındaki etkileri.

Alaşım Elementi	Sertlik	Mukavemet	Akma Noktası	Uzama	Kesit Daralması	Darbe Direnci	Elastisite	Yüksek Sıcaklığa Dayanım	Soğuma Hızı	Karbür Oluşumu	Aşınma Direnci	Dövülebilirlik	İşlenebilirlik	Oksitlenme Eğilimi	Korozyon Dayanımı
Si	↑	↑	↑↑	↓	~	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓↓↓	↓	↓	↓	-
Mn*	↑	↑	↑	~	~	~	↑	-	↓	~	↓↓	↑	↓	~	-
Mn**	↓↓↓	↑	↓	↑↑↑	~	-	-	-	↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	-
Cr	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓↓	↑↑	↑	↓	-	↓↓↓	↑↑↑
Ni	↑	↑	↑	~	~	~	-	↑	↓↓	-	↓↓	↓	↓	↓	-
Al	-	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓	-	↓↓	-
W	↑	↑	↑	↓	↓	~	-	↑↑↑	↓↓	↑↑	↑↑↑	↓↓	↓↓	↓↓	-
V	↑	↑	↑	~	~	↑	↑	↑↑	↓	-	↑↑	↑	-	↓	↑
Co	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	↑↑	↑↑	-	↑↑↑	↓	~	↓	-
Mo	↑	↑		↓	↓	↓	-	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	-
S				↓	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↑↑↑	-	↓
P	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	↑↑
*perlitik çeliklerde					↑			↓			~		-		
**östenitik çeliklerde					Artırır			Azaltır			Değiştirmez		Önemsiz		

Yapılarda kullanılan çelik malzeme kristal, izotropik (eş yönlü) ve homojen yapıya sahiptir. Çeliğin izotropik ve homojenlik özelliği dayanım hesaplarında onu beklenen performans bakımından ideal bir malzeme durumuna getirmektedir. Bir çelik numunesi çekme deneyi tabi tutulduğunda aşağıdaki gibi bir grafik elde edilmektedir (bkz. Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Çeliğin gerilme-şekildeğiştirme (σ - ϵ) diyagramı.

Bu şekilden görüldüğü gibi, elastik bölgede malzeme doğrusal elastik davranış göstermekte ve diyagram doğrusaldır. Diğer bir ifadeyle gerilme, şekil değiştirmeye orantılıdır. Doğrusal bölge orantılılık sınırında (σ_{ys}) son bulmaktadır. Gerilme değeri σ_{ys} ulaştığında malzeme elastik davranmaya devam edebilir, ancak Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi diyagram düzleşmekte ve bu durum elastik bölge sınırına ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Bu noktadan sonra yük kaldırıldığında numune başlangıç durumuna geri dönmektedir. Elastik sınırın ötesinde oluşan gerilme kalıcı deformasyonlara (plastik şekil değiştirmelere) neden olmaktadır. Bu duruma malzemenin akması denilmekte ve akma gerilmesi (σ_{yu}) olarak tanımlanmaktadır. Akma noktasında, yükte artış olmaksızın numune uzama devam etmektedir. Akma bittiğinde numune bir miktar daha yük taşıyabilir ve eğri sürekli yükselmektedir. Maksimum gerilmeye (σ_u) ulaştığında eğri düz duruma gelmektedir. Grafiğin yükselme durumunda olduğu bu olaya pekleşme adı verilmektedir. Maksimum gerilme noktasına kadar numune uzamaya devam etmekte ve malzemenin kesit alanı uniform şekilde azalmaktadır. Maksimum gerilme değerine ulaşıldığında ise numunenin kesit alanı lokal bir alanda azalmaya başlar. Azalan numune kesitinde de azalmaya devam eden bir yük taşınacak ve bu durum ise kopma noktasına kadar devam etmektedir.

2.3. ÇELİK MALZEMENİN ÜSTÜNLÜKLERİ

Çelik malzemenin üstünlüklerini aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- 1) Sünek bir niteliğe sahip olan çelik malzemenin çekme ve basınç dayanımları eşittir. Bu nedenle çelik yapıların şekil değiştirme ve enerji yutma kapasiteleri oldukça yüksektir. Bu durum özellikle belirsiz yük durumlarında çelik malzemeyi daha avantajlı kılmaktadır.
- 2) Çelik sistemlere etkileyen yükler betonarme sistemlere göre daha küçük en kesit alanıyla taşınabilmekte dolayısıyla kesit bazında ağırlığı daha küçük olmaktadır. Yapıların depremden etkilenmesi yapı ağırlığıyla doğru orantılı olduğundan, çelik yapılar bu yönüyle depremden daha az etkilenmektedir.
- 3) Çelik yapı elemanlarının işçiliğinin önemli bir kısmı atölyelerde yapıldığından şantiyede montajı kolay olmaktadır. Bu yüzden inşa süreleri kısa olmakta ve hava şartlarından etkilenmemektedir. Ayrıca malzeme kaybı oldukça azdır.
- 4) Çelik yapı inşaatlarında kalıp ve iskele gereksinimleri yoktur.
- 5) Çelik malzemeyle geniş açıklıklar geçilebildiğinden, kolon sayısının azalması mimari açıdan önemli bir avantaj olmaktadır.
- 6) Fabrikada üretilip işlendiği için malzeme boyutlarında ve hesaplamalarda hata oranı oldukça az olmaktadır. Diğer bir ifadeyle üretimi denetim altında olduğundan güvenlik katsayısı küçüktür.

2.4. ÇELİK MALZEMENİN SAKINCALARI

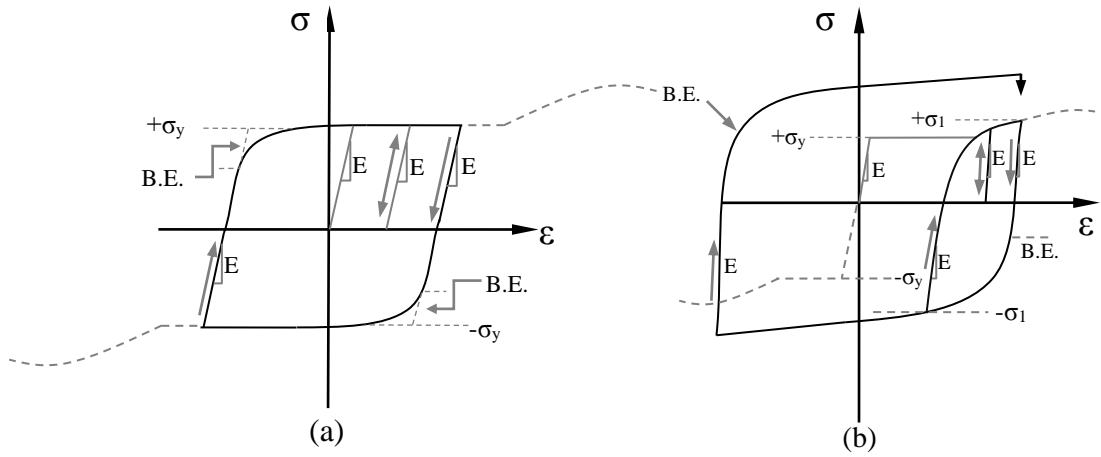
Çelik malzemenin sakıncalarını (zayıf taraflarını) aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- 1) Çelik malzemenin ısıyı ve sesi iletme katsayıları oldukça yüksektir. Bu nedenle ısı ve ses yalıtımları ekonomik olmamaktadır. Diğer taraftan çelik malzeme yanmaz, ancak yangından etkilenmektedir. Çünkü yüksek sıcaklıklarda mukavemet kaybetmekte ve elastisite modülü de önemli derecede azalmaktadır.
- 2) Çelik malzemede su ile temas etmeleri durumunda korozyon görülebilmektedir. Bunun için farklı yöntemlerle gerekli önlemler alındığı takdirde korozyonun önüne geçilebilmektedir. Bu durum ise bakım masraflarını artırmaktadır.
- 3) Çelik malzemenin mukavemeti yüksek olduğundan seçilen kesitleri narin olmaktadır. Bu nedenle genel ve yerel burkulma problemleri ortaya çıkabilmektedir.
- 4) Çelik yapıların işçiliği detaylı ve özen istemekte dolayısıyla işçilik masrafları fazladır.

2.5. ÇELİĞİN MALZEMENİN SÜNEKLİĞİ VE ENERJİ SÖNÜMLEME ÖZELLİĞİ

Süneklik, büyük depremlerin etkisi altında bulunan bir yapının bu etkileri elastik sınırların ötesinde şekil değiştirerek karşılaması özelliğidir. Diğer bir ifadeyle göçme anında oluşan toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı süneklik oranını vermektedir. Sünekliğin fazla olması, deprem gibi dış etkiler altında şekil değiştirmelerin artmasına ve böylece geri dönüşümü olmayan bir enerjiye dönüşerek sönmelenmesini sağlamaktadır. Süneklik özelliği sayesinde zeminden yapıya gelen deprem enerjisinin önemli bir kısmı yapının dayanımında bir kayıp olmaksızın elastik sınırın ötesinde yutulmaktadır. Aşırı yükleme durumunda, akma durumuna gelen kesitlerdeki enerji plastik şekil değiştirmelerle sönmelenmekte ve iç kuvvetler daha az zorlanan kesitlere dağıtılmaktadır. Diğer taraftan plastikleşme bölgelerinin oluşabilmesi için taşıyıcı sistemin hiperstatik olması gerekmektedir (Dizdar, 2009).

Çelik malzemenin davranışı elastik sınırın ötesine geçerek plastik bölge sınırına ulaştığında, tekrarlı olarak yükleme-boşalma sırasında bazı özellikler göstermektedir. Bunlardan birincisi gerilme $\sigma < \sigma_y$ seviyesinde (bkz. Şekil 2.4a) rijitlik E ve davranış elastiktir. Diğeri ise ters istikamette yükleme yapıldığı durumda ($\sigma = \sigma_y$) akma noktasında bulunan keskin köşe kaybolarak akma daha hızlı başlamaktadır (bkz. Şekil 2.4a). Bu durum çelik malzemenin sünekliğini ve enerji yutma kapasitesini göstermektedir. Çelik malzemenin bu davranışı Bauschinger etkisi (BE) olarak bilinmektedir.



Şekil 2.4. Yapı çeliğinde gerilme-şekil değiştirme hali (Bruneau vd., 2011).

Çelik numunesinin plastik şekil değişimi için gerekli olan enerji histerik enerjidir. Histerik enerji, plastik şekil değiştirme ve plastik kuvvetin çarpılması ile elde edilmektedir. Histerik enerji sarf edilmiş enerji olup, kinetik ve elastik şekil değiştirme enerjisinin aksine geriye dönüşü yoktur (Akovalı, 2010).

Şekil 2.5a'daki taralı alana karşılık gelen histerik enerji, artan ve ardından boşalan yükleme durumunda aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

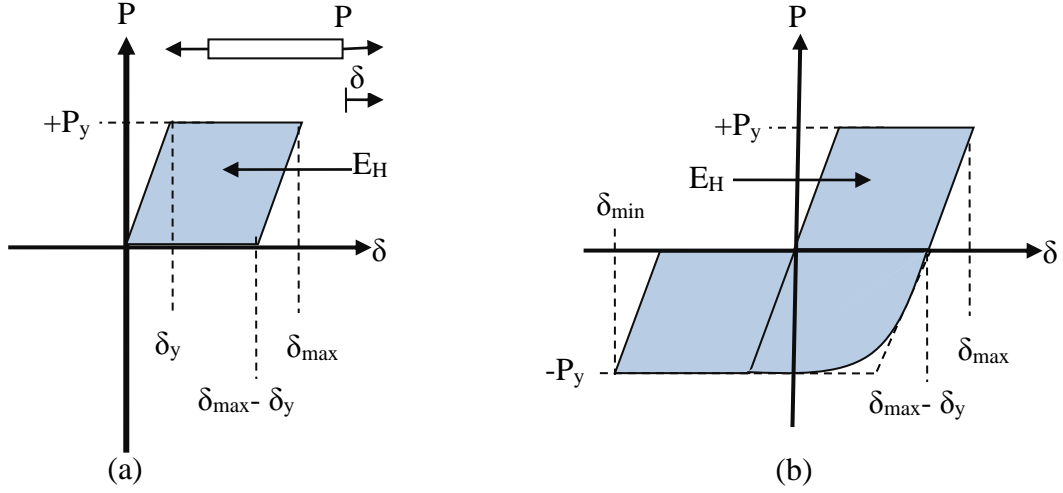
$$E_y = P_y \cdot (\delta_{maks} - \delta_y) \quad (2.1)$$

Süneklik oranı ise;

$$\mu = \frac{\delta_{maks}}{\delta_y} \quad (2.2)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Tam çevrim yükleme-boşalma durumunda yük-şekil değiştirme eğrisiyle çevrili alan aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (bkz. Şekil 2.6b).

$$E_y = P_y \cdot [(\delta_{maks} - \delta_y) + (\delta_{maks} - \delta_{min} - 2 \cdot \delta_y)] \quad (2.3)$$



Şekil 2.5. Yapısal çelikte (a) yarı yükleme çevriminde harcanan enerji (b) tam yükleme çevriminde harcanan enerji (Bruneau vd., 2011).

Çelik bir taşıyıcı sisteme etkiyen deprem yükleri söz konusu sisteme bir enerji uygulamaktadır. Taşıyıcı sistemdeki bu enerjinin karşılığı ise bu sistemde tüketilen plastik enerji, şekil değiştirme enerjisi ve kinetik enerjinin toplamıdır.

$$E_d = E_h + E_e + E_k \quad (2.4)$$

Bu bağıntıda E_d , deprem yüklerinin enerjisini, E_h , harcanan plastik enerjiyi, E_e , elastik şekil değiştirme enerjisini ve E_k ise kinetik enerjiyi göstermektedir.

2.6. TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER

2.6.1. Çelik Taşıyıcı Sistemler

17 Ocak 1994'te meydana gelen Northridge depreminde birçok çelik çaprazlı çerçeve yapı hasar görmüştür. Çelik çaprazlarda oluşan akma ve yerel burkulma

sonucu yapının kendisinden beklenen performanstan daha erken göçtüğü görülmüştür. Bu depremde moment aktaran ve merkezi çaprazlı çerçevelerde oluşan hasarların, 1995 Kobe depreminde oluşan hasarlarla benzerlik göstermesi, malzemenin üretimde kalite ve denetim eksiklikleriyle birlikte mevcut tasarım esaslarının da yetersizliğini açıkça ortaya koymuştur (İşçi, 2010).

Çelik çerçevelerle ilgili yapılan araştırmalarda, kolon kesit yüksekliğinde ve yapıların yatay ötelemelerinde yapılan sınırlandırmaların moment aktaran çelik çerçevelerin (MAÇÇ) ağırlıklarında ve maliyetlerinde artış meydana getirdiği görülmüştür. Bu durum merkezi çelik çaprazlı çerçeve (MÇÇÇ) ve dış merkezi çelik çaprazlı çerçeve (DMÇÇÇ) sistemlerine yönelilmesine neden olmuştur (Sabol, 2004).

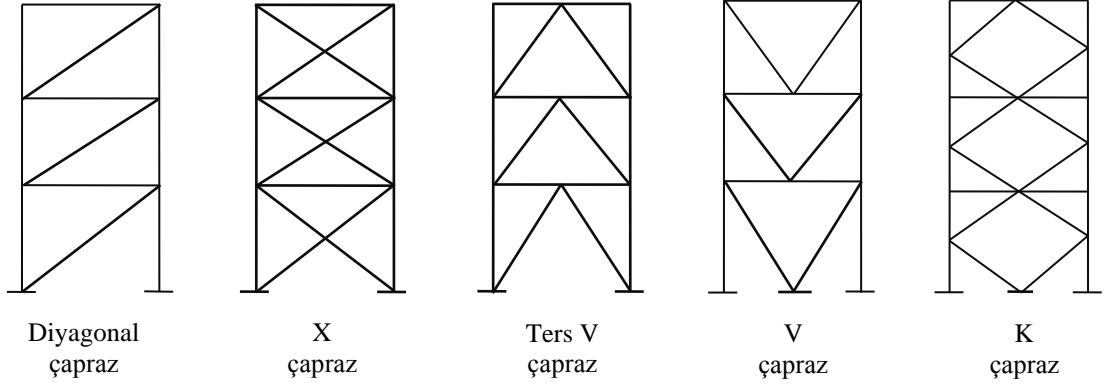
Çelik yapılarda depremlere karşı yönetmeliklerde belirtilen tasarım koşullarına uyularak deprem enerjisi tüketilebilmektedir. Çelik bir yapıyı boyutlandırmak için kapasite kavramı kullanılmaktadır. Çelik yapılar sünek olan kısımların kapasitelerine göre boyutlandırılmaktadır. Yatay yüklerin etkisinde bulunan çelik bir yapıda söz konusu yükler, MÇÇÇ, DMÇÇÇ ve MAÇÇ gibi farklı çerçeve tipleriyle karşılanabilmektedir.

2.6.1.1. Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeveler (MÇÇÇ)

MÇÇÇ sistemleri genellikle orta ve az yükseklikteki binalarda deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklerle karşı, dayanım ve rijitliği sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Diğer taraftan bu sistemler moment aktaran çerçeve sistemlere göre malzemenin tasarruf sağlanmakta ve çaprazlar sayesinde kat ötelemelerini de sınırlandırmaktadır. Ayrıca bu sistemlerde kullanılan çaprazlar yatay yüklerden gelen enerjiyi, çekme gerilmeleri altında akarak ve basınç gerilmeleri altında ise burkularak tüketmektedir.

MÇÇÇ sistemlerin kullanılabilir kalma ve hasar kontrolü sınır durumlarını sağlaması gerekmektedir. Bununla beraber MÇÇÇ sistemler servis yüklerini karşılamada çok iyi performans göstermelerine rağmen tersinir yükler altında dayanım ve rijitliklerinde azalma meydana geldiğinden sınırlı enerji tüketmektedirler. Bu nedenle

yıkıcı depremler esnasında hedeflenen davranışı gösterememektedirler. Durum böyle olunca depremselliği fazla olan bölgelerde MÇÇÇ sistemler kullanıldığında tasarım deprem kuvvetinin artırılarak hesaba katılması gerekmektedir. 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) MÇÇÇ sistemler Şekil 2.6'daki gibi verilmiştir.



Şekil 2.6. TBDY'e göre MÇÇÇ Tipleri (TBDY, 2019).

Diyagonal Çaprazlı Çerçeve Sistemler

Bu tip sistemlerde kullanılan çaprazların hem çekme hem de basınç kuvvetini karşılayabilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle bu tür çerçevelerdeki çaprazların yeterli bir şekilde boyutlandırılması gerekmektedir. Çünkü etkiyen yatay yüklerden dolayı sisteme gelen enerji, bu çaprazlar tarafından tersinir aksel şekil değişimiyle tüketilmektedir.

X Çaprazlı Çerçeve Sistemler

Bu tip sistemlerde diyagonal çaprazların aksine çift çapraz bulunduğundan, bu çaprazlardan biri çekme gerilmelerine çalışırken, diğeri ise basınç gerilmelerine çalışmaktadır. Sisteme etkiyen deprem enerjisi çekme gerilmelerine maruz çapraz ile tüketilirken, basınç gerilmelerine maruz çaprazın enerji tüketilmesinde önemli bir katkısı olmamaktadır.

V ve Λ Çaprazlı Çerçeve Sistemler

Bu sistemlerde çaprazlar hem çekme hem de basınç kuvvetini karşılamaktadırlar. V tipindeki çaprazların X çaprazlı çerçeve sistemlerinden farkı, aksenal kuvvetlerden meydana gelen düşey etkiyle kirişte eğilme etkisi oluşturmasıdır. TBDY’de süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi sınırlı V ve Λ şeklindeki MÇÇÇ sistemlerinde çaprazların bağlandığı kirişler için ek koşulların sağlanması gerekmektedir (TBDY, 2019).

K Çaprazlı Çerçeve Sistemler

Bu tip çaprazların davranışı V ve Λ çaprazların davranışına benzemektedir. Ancak kolon ortasında oluşan yatay yerdeğiştirmeler, yanal burkulmaya ve/veya göçmeye neden olabileceğinden depremselliğİ fazla olan bölgelerde kullanılmamaktadır.

Tasarım aşamasında kolon, kiriş ve birleşim bölgelerinin, hasar oluşmayacak şekilde boyutlandırılması ve düşey yük taşıma kapasitesinde azalma olmadan çaprazların plastik şekil değıştirme yapmasının sağlanması gerekmektedir. Bu şekilde tasarlanan MÇÇÇ sistemler süneklik düzeyi yüksek olarak kabul edilmektedir.

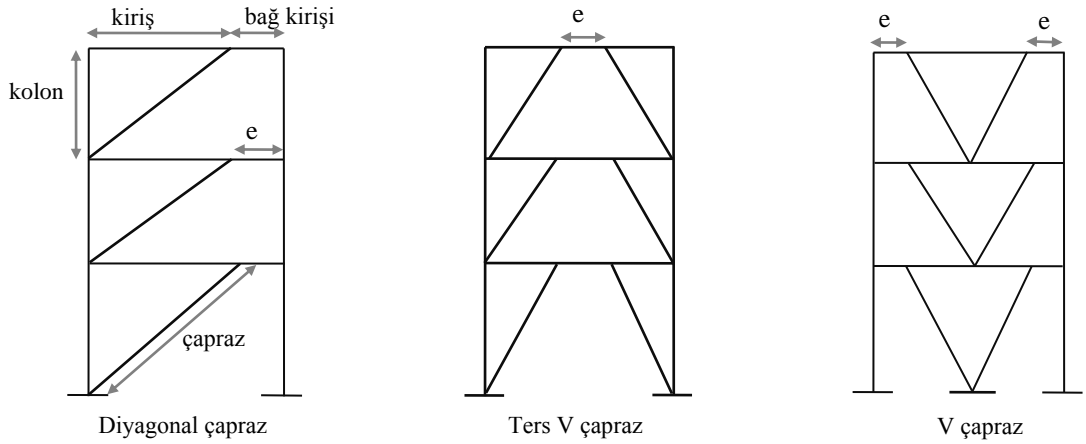
K tipi merkezi çaprazlı çerçeveler yapısal olarak V ve Λ çapraz tiplerine benzerlik göstermektedir. Ancak V ve Λ tipindeki çaprazların birleşimi kirişlere yapılırken, K tipindeki çaprazların birleşimi kolonlara yapılmaktadır. Bununla beraber TBDY’de süneklik düzeyi yüksek kolon orta noktasına bağlanan ve süneklik düzeyi sınırlı kolon orta noktasına bağlanan K tipindeki merkezi çelik çaprazlı çerçeve düzenlerine izin verilmemektedir (TBDY, 2019).

2.6.1.2. Dış Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeveler (DMÇÇÇ)

Moment aktaran çelik çerçevelere yerleştirilen çaprazların kirişİ iki ya da daha fazla parçaya bölmesi sonucu dış merkezi çelik çaprazlı çerçeveler oluşmaktadır. Bölünen kirişteki en küçük parçalar bağ kirişİ (bağlantı kirişİ) olarak adlandırılmaktadır. Bağ kirişlerinin görevi, büyük depremlerde ortaya çıkan enerjinin önemli bir kısmını

plastik kesme ve eğilme şekil değiştirmeleriyle tüketmektedir. Bu nedenle sistemin yer değiştirme ve enerji tüketme kapasitesinde etkili olan bağ kirişlerinin uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir. Diğer taraftan bağ kirişlerin boylarının (e) kısaltılmasıyla çerçevenin rijitliği de artırılabilir. Ayrıca deprem yüklerine maruz kalan çelik yapılardaki bağ kirişleri berkitme levhalarıyla güçlendirilerek gövde buruşması da önlenmelidir.

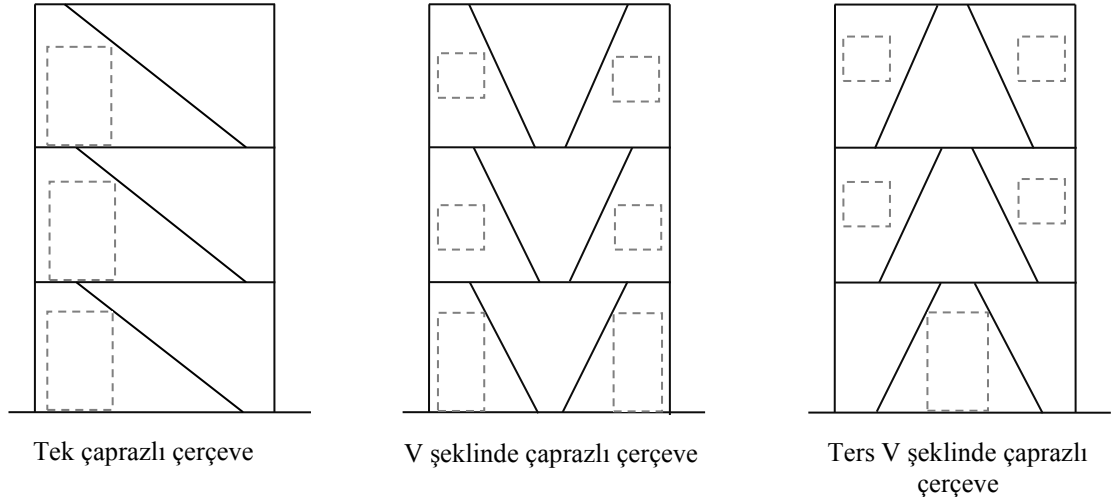
Çelik yapılardan istenilen performans, orta büyüklükteki depremlerde gerekli dayanım ve rijitliği, büyük depremlerde ise gerekli süneklik ve enerji sönümlenme kapasitesini sağlayarak deprem etkilerini karşılamasıdır. DMÇÇÇ'lerde depremlerde oluşan enerji, bağ kirişlerinde meydana gelen kesme ve eğilme şekil değiştirmeleriyle tüketilmektedir. Bu nedenle bağ kirişlerinin tasarımında elastik olmayan davranışların kirişlerde oluşmasını sağlanarak söz konusu çerçeveyi bu kirişlerdeki kesit etkilerine göre boyutlandırmak gerekmektedir. TBDY'de DMÇÇÇ sistemler Şekil 2.7'deki gibi verilmiştir. Şekil 2.7'de verilen çerçeve tiplerinden, V çaprazlı çerçeve yüksek momentlere neden olmaması sebebiyle en çok tercih edilen DMÇÇÇ tipi olmuştur.



Şekil 2.7. TBDY'e göre DMÇÇÇ Tipleri (TBDY, 2019).

MAÇÇ sistemleri ile DMÇÇÇ sistemleri arasındaki en önemli fark, moment aktaran çerçeve sistemlerinden yapısal süneklik beklenirken, dış merkezi çelik çaprazlı çerçeve sistemlerinden eleman sünekliği beklenmektedir. Böylece MAÇÇ sistemlerinin plastik bölgelerinde yüksek süneklik ve enerji sönümlenme özelliği

sağlanırken, DMÇÇÇ sistemlerinde ise MÇÇÇ sistemlerinde olduğu gibi elastik bölgede azalan şekil değişimleri sağlanmaktadır. Ayrıca DMÇÇÇ sistemleri sabit inelastik davranışa ve yüksek elastik rijitliğe sahip olmalarının yanında MÇÇÇ sistemlerindeki gibi yatayda rijit davrandıklarından büyük deprem ve rüzgâr etkilerine karşı taşıyıcı sistem olarak tercih edilmektedirler.



Şekil 2.8. DMÇÇÇ düzenlenmesi bağlı olarak mimari fonksiyonellik (ECCS,1998).

BÖLÜM 3

MERKEZİ ÇELİK SİSTEMLERİN TASARIMI

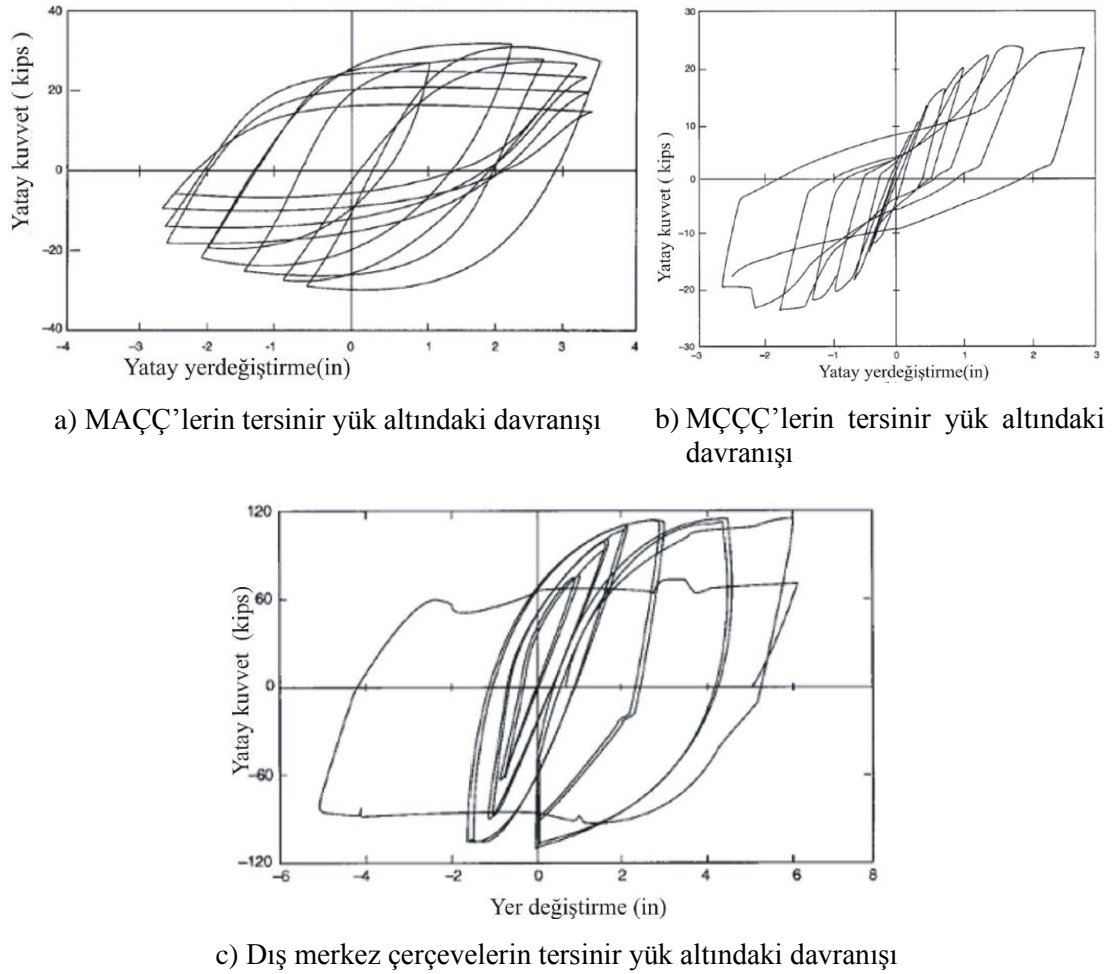
3.1. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLER

Çelik çaprazlı çerçeveler, merkezi ya da dış merkezi olarak oluşturabilen ve yatay yük taşıyabilen sistemlerdir. MÇÇÇ sistemler, düğüm noktasını oluşturan kolon, kiriş ve çapraz elemanların eksenlerinin çakıştırılarak bağlanmasıyla oluşturulmaktadır. Ayrıca, MÇÇÇ sistemler süneklik düzeyi sınırlı (SDS) ve süneklik düzeyi yüksek (SDY) olmak üzere iki şekilde tasarlanabilmektedir. DMÇÇÇ sistemleri ise çapraz elemanların düğüm noktalarına dış merkezi olarak bağlanmasıyla oluşturulmaktadır. Ancak, DMÇÇÇ sistemleri sadece süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanabilmektedir.

Süneklik düzeyi yüksek MÇÇÇ sistemlerinde basınç etkilerine maruz çapraz elemanların bazıları burkulmuş olsa dahi, taşıyıcı sistemde önemli dayanım kaybı oluşmayacak şekilde boyutlandırma yapılması gerekmektedir. Diğer taraftan MÇÇÇ sistemlerinde basınç etkilerine maruz çaprazların burkularak akma dayanımına erişmesiyle ve çekme etkilerine maruz çaprazların ise çekme etkisiyle akma durumuna ulaşmasıyla önemli derecede deprem enerjisini sönmüleyebilmektedirler. Bu nedenle MÇÇÇ sistemleri çok iyi plastik davranış göstermektedirler. Ayrıca bu sistemlerde yatay yüklerin tamamı çapraz elemanlar tarafından karşılandığından plastik şekil değiştirmelerin tamamının bu elemanlarda oluşması beklenirken, kolonların, kirişlerin ve birleşimlerin elastik bölgede kalmaları istenmektedir (Türk, 2016). Ancak bunların büyük dinamik etkilere dayanabilecek şekilde tasarlandıkları için süneklikleri moment aktaran çerçevelerden daha düşük olmaktadır.

3.2. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLERDE SÜNEKLİK DÜZEYİ

Süneklik, yapısal özelliklere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Durum böyle olunca tasarımcının gerekli sünekliği ve bu sünekliği etkileyen elemanlar ve/veya birleşimlerin detaylarının sağlanması gerekmektedir. Yapı sistemlerinin sünekliği kritik kesitlerin tersinir yükler altındaki davranışıyla ölçülebilmektedir. Bu davranış tersinir yük-yer değiştirme (ya da moment-dönme) davranışının gözlenmesiyle belirlenmektedir (bkz. Şekil 3.1). Bu şekildeki eğrilerin eğimi yapının ve/veya birleşimin rijitliğini ve kapalı alanlar ise yutulmuş enerjiyi göstermektedir. Bu eğrilerin altında kalan alanların büyük olması, enerji sönümünün dayanım kaybı olmadan gerçekleştiğini ve büyük lineer olmayan şekil değişimleri (deformasyonları) ifade etmektedir. Bu nedenle bunlar yatay yüklere karşı dayanıma sahip olan sistemlerdir.



Şekil 3.1. Farklı çerçeve tiplerinin tersinir yük altındaki davranışı (Can, 2008).

MÇÇÇ'ler aynı miktardaki çelik için MAÇÇ'lere göre daha büyük dayanım ve rijitliğe sahiptir. Bununla birlikte farklı türlere sahip MÇÇÇ'lerin her birinin performansları da farklı olmaktadır. MÇÇÇ'lerde rijitliği oluşturan çapraz elemanlar depremler esnasında büyük basınç ve çekme kuvvetlerine maruz kalmakta, genellikle basınçtan dolayı söz konusu elemanlarda burkulma çerçeve davranışında etkin olmakta ve kötü tersinir yük-şekildeğiştirme davranışı görülmektedir (bkz. Şekil 3.1b). Bu davranış sonucu göçme daha kötü olmaktadır.

MÇÇÇ'ler rijit, dayanıklı, ancak sünekliği az kabul edilen MAÇÇ türlerindedir. Yüksek süneklik ve düşük deprem kuvvetlerine göre tasarlanan MAÇÇ'ler süneklik düzeyi yüksek çerçeveler olarak kabul edilmektedir.

3.3. TBDY'E GÖRE MÇÇÇ SİSTEMLERİNİN TASARIM ESASLARI

3.3.1. Süneklik Düzeyi Sınırlı MÇÇÇ Sistemler

Süneklik düzeyi sınırlı MÇÇÇ sistemlerinin boyutlandırılmasına ilişkin tasarım kuralları bu başlıkta verilmektedir.

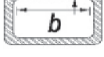
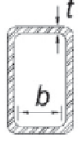
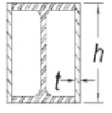
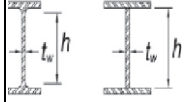
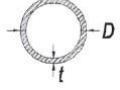
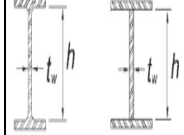

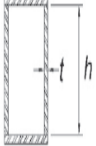
3.3.1.1. Genel Koşullar

Süneklik düzeyi sınırlı MÇÇÇ sistemlerde kiriş, kolon ve çapraz elemanlar boyutlandırılırken en kesit koşulları, λ_{md} sınır değerleri aşılmayacak şekilde boyutlandırılması gerekmektedir. Söz konusu yapısal elemanlara ilişkin λ_{md} sınır değerleri Çizelge 3.1'de verilmektedir.

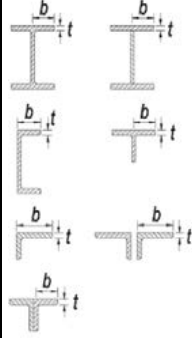

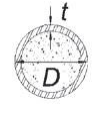
3.3.1.2. Sistem Analizi

Süneklik düzeyi sınırlı MÇÇÇ sistemlerin kolon, kiriş ve birleşimlerinin boyutlandırılmasında D katsayısıyla artırılan deprem etkilerini içeren yük kombinasyonları dikkate alınarak dayanımlar belirlenmektedir. Taşıyıcı sistem türleri ve süneklik düzeylerine göre D katsayıları Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. TBDY'e göre enkesit koşulları (TBDY, 2019).

Eleman Tanımı	Narinlik Oranı	Sınır değerler		Açıklama
		Süneklik Düzeyi Yüksek Elemanlar, λ_{hd}	Süneklik Düzeyi Sınırlı Elemanlar, λ_{md}	
Dikdörtgen kutu kesitler	b/t	$0,55 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\left(0,64 \sqrt{\frac{E}{F_y}}\right)^{[a]}$	
Yapma dikdörtgen kutu kesitler ve I kesitinden kutu şeklinde teşkil edilmiş kesitlerin başlıkları	b/t			
I kesitinden kutu şeklinde teşkil edilmiş kesitlerin yan levhaları ve çapraz eleman olarak kullanılacak yapma kutu kesitler	h/t			
Çapraz eleman olarak kullanılacak I kesitleri veya yapma I kesitlerin gövdeleri	h/t_w	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Boru en kesitli elemanlar	D/t	$0,038 \frac{E}{F_y}$	$0,044 \frac{E^{[c]}}{F_y}$	
Kiriş veya kolon olarak kullanılacak I kesitlerin gövdeleri ^[b]	h/t_w	$C_a \leq 0,125$ ise $2,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot (1 - 0,93C_a)$	$C_a \leq 0,125$ ise $3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot (1 - 2,75C_a)$	
Kiriş veya kolon olarak kullanılacak I profilinden kutu şeklinde teşkil edilen kesitlerin yan levhaları	h/t	$C_a > 0,125$ ise $0,77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2,93 - C_a) \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$C_a > 0,125$ ise $1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2,33 - C_a) \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Kiriş veya kolon olarak kullanılacak yapma kutu en kesitlerin gövdeleri	h/t	$C_a = \frac{\Omega_c P_a}{F_y A} \quad \Omega_c = 1,67 (GKT)$ $C_a = \frac{P_u}{\Phi_c (F_y A)} \quad \Omega_c = 0,90 (YDKT)$		

Çizelge 3.1 (devam ediyor).

	Eleman Tanımı	Narinlik Oranı	Sınır değerler		Açıklama
			Süneklik Düzeyi Yüksek Elemanlar, λ_{hd}	Süneklik Düzeyi Sınırlı Elemanlar, λ_{md}	
Rijitleştirilmemiş Elemanlar	I veya yapma I kesitlerin başlıkları, U veya T kesitler, korniyer (L) veya ayrıklı çift korniyerlerin kolları, sürekli birleşik çift korniyerlerin kolları	b/t	$0,3 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Kompozit Elemanlar	Kutu enkesitli kompozit elemanların cidarları	b/t	$1,4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$2,26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Boru enkesitli kompozit elemanların cidarı	D/t	$0,076 \frac{E}{F_y}$	$0,15 \frac{E}{F_y}$	

^[a]Kiriş veya kolon olarak kullanılan dikdörtgen kutu en kesitlerde, yapma kutu en kesitler ve **I** kesitinden kutu şeklinde oluşturulan kesitlerin başlıklarında en kesit koşulunun sınır değeri $1,12\sqrt{E/F_y}$ olarak alınacaktır.

^[b] $C_a \leq 0,125$ için süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerdeki **I** kesitlerde, en kesit koşulunun (h/t_w) sınır değeri $2,45\sqrt{E/F_y}$ 'yi aşamaz. $C_a \leq 0,125$ için süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çerçevelerdeki **I** kesitlerde ise en kesit koşulunun (h/t_w) sınır değeri $3,76\sqrt{E/F_y}$ 'yi aşamaz.

^[c]Kiriş veya kolon olarak kullanılan boru profillerdeki en kesit koşulunun sınır değeri $0,07E/F_y$ olarak alınabilir.

Deprem Etkisini İçeren Yük kombinasyonları

Yük ve dayanım katsayılarıyla tasarımda (YDKT) ve güvenlik katsayılarıyla tasarımda (GKT), deprem etkisi içeren yük kombinasyonlarının aşağıdaki gibi uygulanması gerekmektedir. YDKT ile tasarımda (3.1) ve (3.2) bağıntıları ve GKT ile tasarımda (3.3) bağıntısı esas alınacaktır. $Q \leq 5 \text{ kN/m}^2$ olması durumunda (3.11) bağıntısındaki Q değeri %50 oranında azaltılabilir. Ancak, garajlar ve insanların yoğun olarak bulunduğu binalarda bu azaltma yapılmadan tasarımın yapılması gerekmektedir.

Çizelge 3.2. TBDY'e göre R, D ve BYS katsayıları (TBDY, 2019).

Çelik Bina Taşıyıcı Sistemleri	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	Dayanım fazlalığı katsayısı (D)	İzin verilen bina yükseklik sınıfları (BYS)
A) Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
1) Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran SDY çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS \geq 3
2) Deprem etkilerinin tamamının SDY DMÇÇÇ veya burkulması önlenmiş MÇÇÇ tarafından karşılandığı binalar	8	2,5	BYS \geq 2
3) Deprem etkilerinin tamamının SDY MÇÇÇ tarafından karşılandığı binalar	5	2	BYS \geq 4
4) Deprem etkilerinin SDY MAÇÇ ile SDY DMÇÇÇ veya burkulması önlenmiş MÇÇÇ veya SDY bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	3	BYS \geq 2
5) Deprem etkilerinin SDY MAÇÇ ile SDY MÇÇÇ veya SDY boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2,5	BYS \geq 2
6) Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen SDY çelik kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	4	2	-
B) Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler			
1) Deprem etkilerinin tamamının SDS MAÇÇ ile SDY DMÇÇÇ veya burkulması önlenmiş MÇÇÇ veya SDY bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2,5	BYS \geq 4
2) Deprem etkilerinin SDS MAÇÇ ile SDY MÇÇÇ veya SDY boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2	BYS \geq 4
C) Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler			
1) Deprem etkilerinin tamamının SDS MAÇÇ ile karşıladığı binalar	4	2,5	BYS \geq 7
2) Deprem etkilerinin tamamının SDS MÇÇÇ ile karşıladığı binalar	3	2	BYS=8
3) Deprem etkilerinin SDS MAÇÇ ile SDS MÇÇÇ tarafından birlikte karşıladığı binalar	4	2	BYS \geq 7

$$1,2 \cdot G + Q + 0,2 \cdot S + E_d^H + 0,3 \cdot E_d^Z \quad (3.1)$$

$$0,9 \cdot G + H + E_d^H - 0,3 \cdot E_d^Z \quad (3.2)$$

$$\left. \begin{aligned} G+0,75 \cdot Q+0,75 \cdot S \pm 0,75 \cdot (0,7 \cdot E_d) \\ G \pm 0,7 \cdot E_d \\ 0,6 \cdot G+0,75 \cdot H \pm 0,7 \cdot E_d \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

3.3.1.3. Çaprazlar

Süneklik düzeyi sınırlı MÇÇÇ sistemlerin çapraz elemanları boyutlandırılırken aşağıdaki koşullar dikkate alınacaktır.

- 1) Çapraz elemanların narinlik oranı, $KL/i \leq 200$ sınır değerini aşmayacaktır. Ancak, V veya Λ şeklindeki çapraz sistemlerinde, $KL/i = 4\sqrt{E/F_y}$ koşuluna uyulması gerekmektedir.
- 2) Çok parçalı elemanların kullanılmasına sadece çaprazların en kesitini oluşturan elemanların tek parça olarak davranması durumunda izin verilmektedir. Elemanların tek parça olarak davranması için eşit aralıklı bağ levhaları yerleştirilmeli ya da örgü elemanlarıyla bu durumun sağlanması gerekmektedir.
- 3) Çapraz elemanların, deprem etkisini içeren yük kombinasyonları göz önünde bulundurularak boyutlandırılması gerekmektedir.

3.3.1.4. Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar

- 1) V ve Λ çaprazlar, birleşim bölgesi dışında bağlandığı kirişte aşağıda verilen ek koşulları sağlanması gerekmektedir.
 - a) Kirişlerin kolonlar arasında sürekli olması gerekmektedir.
 - b) Kirişlerin alt ve üst başlıkları ve bu başlıkların çaprazlara bağlandığı noktalar yanal doğrultuda desteklenmelidir. Bunun için de kirişlerde stabilite bağıntıları esas alınacaktır.

Kirişlerde Stabilité Bağınıtları

- 1) SDY ya da SDS olarak tasarlanan çerçevelerde, yanal burkulmaya karşı (3.4) veya (3.5) bağıntılarında verilen koşulları sağlayacak şekilde tasarım yapılmalıdır.

Yanal doğrultudaki destekleyici elemanlar arasındaki en fazla mesafe;

- a) Çaprazları SDY elemanlar olarak tasarlanan kirişlerde;

$$L_b \leq 0,086 \cdot i_y \cdot \frac{E}{F_y} \quad (3.4)$$

- b) Çaprazları SDS elemanlar olarak tasarlanan kirişlerde;

$$L_b \leq 0,17 \cdot i_y \cdot \frac{E}{F_y} \quad (3.5)$$

koşullarının sağlanması gerekmektedir.

- 2) SDY veya SDS olarak tasarım yapılırken yanal destek elemanlarının gerekli dayanım ve rijitliğe sahip olması gerekmektedir. Bunun için aşağıdaki koşullar dikkate alınarak tasarım yapılmalıdır.

- a) Sağlanması gereken rijitlik ve dayanım, $C_d=1$ için, kirişin eğilme dayanımına bağlı olarak belirlenecektir.

$$\left. \begin{aligned} M_r = M_a &= \frac{R_y \cdot F_y \cdot W_p}{1,5} & \text{(GKT)} \\ M_r = M_u &= R_y \cdot F_y \cdot W_p & \text{(YDKT)} \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

- b) Olası plastik mafsallarda elemanların rijitlik ve dayanımı, özel koşullar ile belirlenerek bu duruma göre tasarımı yapılacaktır.

Yanal mesnet eleman dayanımları;

$$\left. \begin{aligned} P_{br} &= \frac{\left(\frac{0,06}{1,5}\right) \cdot R_y \cdot F_y \cdot W_p}{h_o} & \text{(GKT)} \\ P_{br} &= \frac{0,06 \cdot R_y \cdot F_y \cdot W_p}{h_o} & \text{(YDKT)} \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

bağıntılarıyla

Burulmaya karşı kullanılan elemanların dayanımı,

$$\left. \begin{aligned} M_a &= \left(\frac{0,06}{1,5}\right) \cdot R_y \cdot F_y \cdot W_p & \text{(GKT)} \\ M_u &= 0,06 \cdot R_y \cdot F_y \cdot W_p & \text{(YDKT)} \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

bağıntılarıyla hesaplanacaktır.

Bu elemanların gerekli rijitliği ise (3.6) bağıntısıyla verilen kirişin eğilme dayanımına bağlı olarak belirlenecektir.

➤ Çapraz elemanlar yok sayılarak hesap yapılması durumunda, kirişler boyutlandırılırken çapraz elemanların aksel kuvvetleri ve düşey yükler dikkate alınarak boyutlandırılacaktır. Aksel kuvvetler; (3.9) bağıntısı ve D ile artırılan çekme kuvvetleri hesaplanarak bunlardan küçük olanın dikkate alınmasıyla belirlenecektir.

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_y \cdot F_y \cdot A_g}{1,5} & & \text{(GKT)} \\ R_y \cdot F_y \cdot A_g & & \text{(YDKT)} \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

- Çapraz elemanlar yok sayılarak hesap yapılması durumunda dahi, çaprazların bağlanacağı kirişlere etki eden düşey yüklerin, kiriş tarafından güvenle taşıdığı gösterilmelidir.

3) SDS MÇÇ sistemlerinde K çapraz düzenine izin verilmemektedir.

4) SDS MÇÇÇ sistemlerinde sadece çekme kuvvetine karşı çalışan çapraz elemanların kullanılmasına müsaade edilmektedir. Bu durumda da söz konusu çapraz elemanlarda narinlik oranının 300'ü aşmaması gerekmektedir.

3.3.1.5. Çapraz Birleşimleri

Çapraz birleşiminin boyutlandırılmasında dikkate alınacak aksel çekme ve basınç kuvvetlerinin, aşağıda tanımlanan aksel çekme ve basınç kuvveti dayanımlarından daha büyük olmasına gerek yoktur.

1) Çapraz elemanlar çekme etkisinde ise, $R_y \cdot F_y \cdot A_g / 1,5$ (GKT) veya $R_y \cdot F_y \cdot A_g$ (YDKT) bağıntılarıyla bulunan dayanım,

2) Çapraz elemanlar basınç etkisinde ise, YDKT için $R_y \cdot F_y \cdot A_g$ ve $1,14 \cdot F_{cre} \cdot A_g$ bağıntılarından küçüğünü 1,1 veya GKT için $0,7 \cdot (1,1/1,5)$ ile çarpılmasıyla bulunan dayanım,

3.3.1.6. Kolon Ekleri

Tüm kolonlarda kolon ekleri, kolon-kiriş birleşim düzleminde en az 1,2 m uzaklıkta olmalıdır. Kolonun net yüksekliğinin 2,4 m ve bundan düşük olduğu durumlarda, kolon eki net yüksekliğinin ortasında oluşturulmalıdır. Sağlanması gereken kesme kuvveti dayanımı ise $\Sigma M_{pc} / 1,5 \cdot H_c$ (GKT) veya $\Sigma M_{pc} / H_c$ (YDKT) bağıntılarıyla hesaplanacaktır.

3.3.2. Süneklik Düzeyi Yüksek MÇÇÇ Sistemler

Süneklik düzeyi yüksek MÇÇÇ sistemlerde, basınç etkisi altında bulunan çapraz elemanların bir kısmının burkulması durumunda dahi, sistemin dayanımında bir kayıp yaşanmayacak şekilde boyutlandırılmaktadır. SDY MÇÇÇ sistemlerin tasarımında uygulanması gereken hususlar aşağıda verilmektedir.

3.3.2.1. Genel Koşullar

- 1) SDY MÇÇÇ sistemlerde kolon, kiriş ve çapraz elemanlar boyutlandırılırken en kesit koşulları λ_{hd} sınır değerleri aşılmayacak şekilde boyutlandırılmalıdır (bkz. Çizelge 3.1).
- 2) Binanın herhangi bir aksı üzerinde bulunan MÇÇÇ elemanları, her iki doğrultuda etkileyen yatay kuvvetlerin en az %30'u ve en fazla %70'i basınç kuvvetini taşıyan çaprazlar tarafından karşılanacak şekilde tasarlanmalıdır.

3.3.2.2. Sistem Analizi

- 1) SDY MÇÇÇ sistemlerde kolon, kiriş ve birleşimlerin boyutlandırılmasında D katsayısıyla artırılan deprem etkilerini içeren yük kombinasyonları dikkate alınarak dayanımlar belirlenecektir.
- 2) Kolonların, kirişlerin ve birleşimlerin akma (mekanizma) durumuyla uyumlu iç kuvvetlerinin hesabını yapmak için çapraz elemanların iç kuvvetleri aşağıdaki gibi belirlenecektir.
 - a) Eksenel basınç kuvvetine maruz çapraz elemanların burkulma anına denk gelen mekanizma durumunda (bkz. Şekil 3.4a) çapraz elemanların plastikleşmesine neden olan, (3.10) ve (3.11) bağıntılarıyla belirlenen, eksenel çekme ve basınç kuvveti dayanımları;

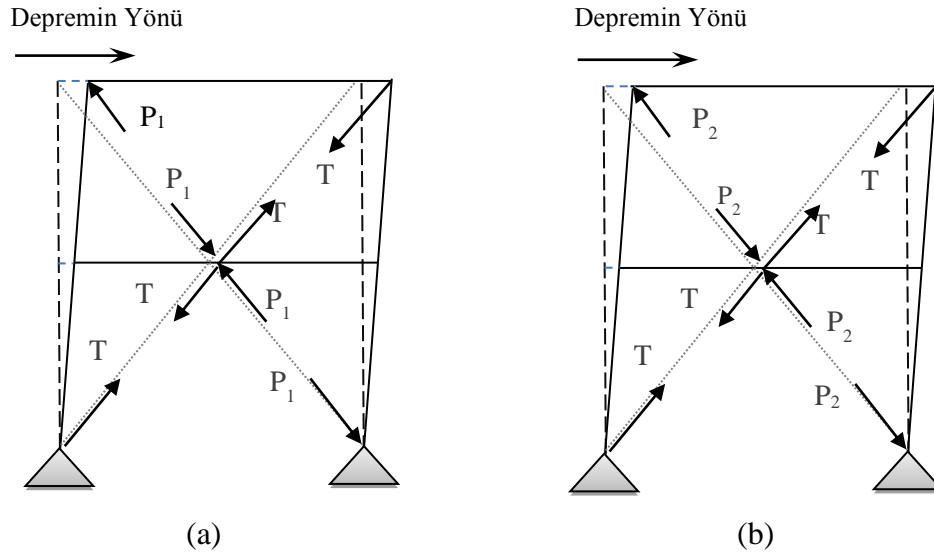
$$T = R_y \cdot F_y \cdot A_g \quad (3.10)$$

$$P_1 = 1,14 \cdot F_{cre} \cdot A_g \quad (3.11)$$

- b) Eksenel basınç kuvvetine maruz çapraz elemanların burkulma anına denk gelen mekanizma durumunda (bkz. Şekil 3.4a) çapraz elemanların plastikleşmesine neden olan, (3.10) ve (3.12) bağıntılarıyla belirlenen, eksenel çekme kuvveti dayanımı ve burkulma sonucu oluşan eksenel basınç kuvveti dayanımı;

$$P_2 = 0,30 \cdot (1,14 \cdot F_{cre} \cdot A_g) \quad (3.11)$$

- 3) Kolon, kiriş ve birleşimlerin eksenel kuvvetleri, yukarıda tanımlanan **b)** maddesinde esas alındığı mekanizma durumlarının her biri için denge denklemleriyle hesaplanacaktır.



Şekil 3.2. Eksenel basınç kuvvetine maruz çapraz elemanların burkulma anına denk gelen mekanizma durumu.

- 4) Kolon, kiriş ve birleşimlerin gerekli dayanımlarının belirlenmesinde, deprem etkisi içeren yük birleşimleri yerine yukarıdaki **c)** maddesinde tanımlanan iç kuvvetlerden elverişsiz olanları kullanılacaktır. Ancak bu kuvvetler D katsayısıyla artırılmış deprem etkilerinden daha büyük olmayacaktır.

3.3.2.3. Çaprazlar

SDY MÇÇÇ sistemlerin çapraz elemanları boyutlandırılırken aşağıdaki koşullar dikkate alınacaktır.

- 1) Çapraz elemanların narinlik oranı, $KL/i \leq 200$ sınır değerini aşmayacaktır.
- 2) Çok parçalı en kesite sahip olan çapraz elemanlar, sadece parçalarının sürekli bir şekilde birleştirilmesi şartıyla kullanılabilirler.
- 3) Çapraz elemanlar, SDS MÇÇÇ elemanlarında da olduğu gibi, deprem etkisini içeren yük kombinasyonları göz önünde bulundurularak boyutlandırılmalıdır.
- 4) Çapraz elemanların etkin net en kesit alanı kullanılarak hesaplanan kopma (kırılma) dayanımı $R_t \cdot F_u \cdot A_e$ değerinden, kayıpsız en kesit alanı kullanılarak hesaplanan akma dayanımı ise $R_y \cdot F_y \cdot A_g$ değerinden büyük olmalıdır. Bu koşulun sağlanmaması durumunda net en kesit alanı takviye edilecektir. Takviye elemanının sahip olması gereken özellikleri aşağıda verilmektedir.
 - a) Takviye edilmek istenen parçanın karakteristik akma gerilmesi, çapraz elemanın karakteristik akma gerilmesine eşit ya da daha büyük olmalıdır.
 - b) Takviye parçasının çapraz elemana birleşimi aksenal kuvvet etkisi altında $\frac{R_y \cdot F_y \cdot A_{fb}}{1,5}$ (GKT) veya $R_y \cdot F_y \cdot A_{fb}$ (YDKT) bağıntılarıyla hesaplanarak boyutlandırılmalıdır.

3.3.2.4. Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar

- 1) V ve Λ çaprazların, birleşim bölgesi dışında bağlandığı kirişte aşağıda verilen ek koşulları sağlanması gerekmektedir.

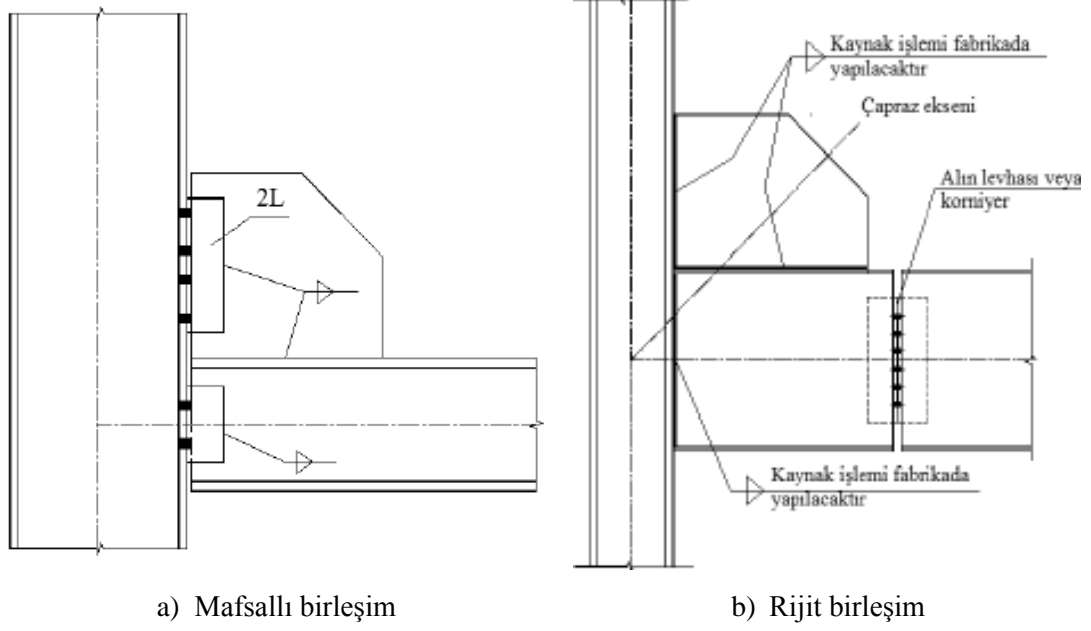
- a) Kirişler kolonlar arasında sürekli olmalıdır.
 - b) Kirişlerin alt ve üst başlıkları ve bu başlıkların çaprazlara bağlandığı noktalar yanal doğrultuda desteklenmelidir. Bunun için kirişlerde stabilite bağıntıları esas alınacaktır.
- 2) SDY MÇÇÇ sistemlerde K şeklindeki çapraz düzenine izin verilmemektedir.
 - 3) SDY MÇÇÇ sistemlerde sadece çekme kuvvetine karşı çalışan çaprazların kullanılmasına izin verilmemektedir.

3.3.2.5. Kolon-Kiriş-Çapraz Birleşimleri

Çapraz elemanın veya bağlantı levhasının kolon-kiriş birleşimine bağlantısının aşağıdaki koşullara uyularak yapılması gerekmektedir.

- 1) Birleşim mafsallı olarak tasarlandığında, en az 0,025 radyan dönme açısını sağlamalıdır. Bu dönme açısı sağlanarak aşağıdaki şekilde verilen birleşim detayı kullanılabilir (bkz. Şekil 3.3).
- 2) Birleşim rijit olarak tasarlandığında, birleşimin aşağıda verilen eğilme momenti sonuçlarından minimum olanını aktaracak şekilde tasarlanması gerekmektedir.
 - a) M_p kirişin plastikleşme momenti; $1,15 \cdot R_y / 1,5$ (GKT) ya da $1,1 \cdot R_y$ (YDKT) katından oluşan eğilme momenti,
 - b) ΣM_p düğüm noktasına birleşen kolonların toplam plastikleşme momentini göstermek üzere; $1,1 \cdot R_y / 1,5$ (GKT) ya da $1,1 \cdot R_y$ (YDKT) katından oluşan eğilme momenti,

değeri alınacaktır.



Şekil 3.3. Çapraz elemanın veya bağlantı levhasının kolon-kiriş birleşimine bağlantı detayları.

3.3.2.6. Çapraz Uç Birleşimlerinin Gerekli Dayanımı

Çapraz uç birleşimleri, D katsayısıyla artırılan deprem iç kuvvetleri göz önünde bulundurularak modellenecektir. Bu iç kuvvetler aşağıda dayanımları aşmayacaktır.

- 1) Çapraz elemanlar çekme kuvveti etkisinde ise, çekme kuvveti dayanımı $0,7 \cdot R_y \cdot F_y \cdot A_g / 1,5$ (GKT) veya $R_y \cdot F_y \cdot A_g$ (YDKT) bağıntılarıyla hesaplanacaktır.
- 2) Çapraz elemanlar basınç kuvveti etkisinde ise, basınç kuvveti dayanımı $R_y \cdot F_y \cdot A_g$ ve $1,14 \cdot F_{cre} \cdot A_g$ bağıntılarından elde edilen basınç kuvveti dayanımının küçüğünün, YDKT için 1,1 veya GKT için $0,7 \cdot (1,1/1,5)$ ifadeleri ile çarpılmasıyla hesaplanacaktır.
- 3) *Düğüm noktası levhasının çapraz burkulmasıyla uyumu*; çapraz birleşimi, çaprazların burkulmasıyla oluşacak eğilme etkilerini karşılayacak dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanarak sağlanacaktır.

3.3.2.7. Kolon Ekleri

SDY MÇÇÇ sistemlerde de kolon ekleri SDS MÇÇÇ sistemlerdekine benzer olarak, tüm kolonlarda kolon ekleri, kolon-kiriş birleşim düzleminden en az 1,2 m uzaklıkta olmalıdır. Kolonun net yüksekliğinin 2,4 m ve bundan az olduğu durumlarda, kolon ekinin net yüksekliğinin ortasında oluşturulması gerekmektedir. Sağlanması gereken kesme kuvveti dayanımı ise $\Sigma M_{pc} / 1,5H_c$ (GKT) veya $\Sigma M_{pc} / H_c$ (YDKT) bağıntılarıyla hesaplanacaktır.

3.4. YENİ ÇELİK YAPILAR YÖNETMELİĞİNE GÖRE MÇÇÇ SİSTEMLERİN TASARIM ESASLARI

Çelik yapıların yapısal çözümlenmesinde ve boyutlandırılmasında kullanılan temel tasarım ilkeleri bu başlık altında açıklanmaktadır.

3.4.1. Tasarım İlkeleri

Çelik yapılarda, yapısal elemanların ve birleşimlerin tasarımı yük ve dayanım katsayılarıyla (YDKT) ya da güvenlik katsayılarıyla (GKT) gerçekleştirilebilmektedir. Yapı elemanlarının ve birleşimlerin tasarımında öngörülen yükler, madde 3.4.2’de verilen yük birleşimleriyle hesaplanmaktadır.

3.4.1.1. Sınır Durumlar

Çelik bir yapının tasarımı, öngörülen yük kombinasyonlarıyla, dayanım sınır durumu ve kullanılabilirlik sınır durumunu aşmayacak biçimde yapılmaktadır.

Dayanım sınır durumu; yapının kullanım ömrü boyunca dayanım ve stabilite yetersizliği nedenleriyle bölgesel ve/veya tümsel göçme oluşumunu tanımlarken, *kullanılabilirlik sınır durumu*; yapıdan beklenen fonksiyonları engelleyen aşırı yer değiştirmeler olarak tanımlanmaktadır.

3.4.1.2. Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)

YDKT’da tüm yapısal elemanlar için; R_n karakteristik dayanımı, ϕ dayanım katsayısını ve $\phi \cdot R_n$ tasarım dayanımını göstermek üzere sağlanması gereken dayanım;

$$R_u \leq \phi \cdot R_n \quad (3.12)$$

bağıntısıyla hesaplanacaktır.

3.4.1.3. Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT)

GKT’da tüm yapısal elemanlar için; Ω güvenlik katsayısını ve R_n / Ω güvenli dayanımı göstermek üzere, sağlanması gereken dayanım;

$$R_u \leq \frac{R_n}{\Omega} \quad (3.13)$$

bağıntısıyla hesaplanacaktır.

3.4.1.4. Stabilite Analizi

Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esaslarına dair yönetmeliğe (ÇYTHYEDY) göre, çelik yapıların stabilite analizinin 2. mertebe teorisine göre hesap yapılmasını önermektedir (ÇYTHYEDY, 2018). 2. Mertebe teorisi, eleman bazında ve sistem genelinde geometri değişimlerinin denge denklemleri üzerindeki etkisinin dikkate alındığı yapısal çözümleme yöntemidir.

3.4.1.5. Birleşimlerin Tasarımı

Yeni çelik yapılar yönetmeliğine göre birleşimler, mafsallı ve moment aktaran birleşimler olmak üzere iki şekilde oluşturulabilmektedir. Mafsallı birleşimlerde eğilme momenti sıfır ya da sıfıra yakın bir değerdedir. Ancak bu birleşimlerde

birleşen elemanlar arası görelî (rölatif) dönmeye izin verilmektedir.

Moment aktaran birleşimler ise tam rijit ve yarı rijit (elastik) olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu birleşimlerde eğilme moment değerleri sıfırdan farklı olmakta, buna karşılık birleştirilen elemanlar arasındaki görelî dönme hareketi ise birleşimin tam rijit veya yarı rijit olmasına bağılı olarak sıfır ya da sınırlı olmaktadır.

3.4.1.6. Kirişlerde Yeniden Dağılım

Yeniden dağılım ilkesi hem YDKT hem de GKT yöntemleri için uygulanabilmektedir. Kirişlerde yeniden dağılım ilkesi uygulanırken aşağıdaki koşulları göz önünde tutmak gerekmektedir.

- 1) -Kiriş en kesitin kompakt en kesit sınıfında bulunması gerekir.
- 2) Yeniden dağılımın uygulanacağı mesnete komşu kiriş açıklığında basınç başlığının yanal olarak desteklenmeyen uzunluğunun (L_b),

Gövde düzleminde yük etkisindeki, çift simetri eksenli **I** en kesitler ve basınç başlığı alanı çekme başlığı alanına eşit veya daha büyük olan tek simetri eksenli **I** en kesitlerde;

$$L_m = \left[0,12 + 0,076 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \cdot \left(\frac{E}{F_y} \right) \cdot i_y \quad (3.14)$$

Kuvvetli eksenleri etrafında eğilme momenti etkisindeki simetrik kutu en kesitler ve dikdörtgen dolu en kesitlerde;

$$L_m = \left[0,17 + 0,10 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \cdot \left(\frac{E}{F_y} \right) \cdot i_y \geq 0,10 \cdot \left(\frac{E}{F_y} \right) \cdot i_y \quad (3.15)$$

değerlerini aşmaması gerekmektedir.

- 3) Kiriş malzemesinin karakteristik akma gerilmesinin 450 MPa değerini aşmaması gerekir.
- 4) Kirişin moment aktaran mesnet birleşimlerinin yarı rijit (elastik) olmaması gerekir.
- 5) Kiriş eksenel kuvveti, YDKT için $0,15 \cdot \phi_c \cdot F_y \cdot A_g$ ve GKT için $0,15 \cdot \phi_c \cdot F_y \cdot A_g / \Omega_c$ sınır değerlerini aşmaması gerekmektedir.

3.4.1.7. Yapısal Bütünlük İçin Tasarım

Yapısal bütünlük için sağlanması gereken koşulların diğer dayanım koşullarından bağımsız olarak değerlendirilecektir. Yapısal bütünlük sağlanması için aşağıda verilen koşullara uyulması gerekmektedir.

Kolon eklerinin karakteristik çekme dayanımının, G+Q yük kombinasyonu ile hesaplanan eksenel kuvvete eşit ya da daha büyük olması gerekmektedir.

Kiriş uç birleşimlerinin çekme kuvveti dayanımının, YDKT yapıyorsa gerekli kesme kuvveti dayanımının 2/3'üne veya GKT yapıyorsa gerekli kesme kuvveti dayanımına eşit olması gerekmektedir. Ancak bu değer en az 50 kN olması gerektiği belirtilmektedir (ÇYTHYEDY, 2018).

Kolonların stabilitesini sağlayan elemanların uç birleşimlerinin karakteristik çekme kuvveti dayanımının en az YDKT yöntemine göre belirlenen kolon gerekli eksenel dayanımının 2/3'ü ile hesaplanan değer %1'ine eşit ve GKT yöntemine göre belirlenen kolon gerekli eksenel dayanımının %1'ine eşit alınması önerilmektedir.

3.4.2. Yükler ve Yük Birleşimleri

Çelik yapıların tasarımında kullanılacak yük değerleri, TS498'e uygun olarak belirlenecektir (TS 498, 1997). Kar yükleri ve rüzgâr yükleri için TS EN 1991 ve deprem etkisi için ise TBDY'deki koşullar esas alınacaktır.

3.4.2.1. Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım (YDKT)

YDKT yöntemine göre gerekli dayanım (R_u) aşağıdaki yük birleşimleriyle belirlenecektir.

$$1,4G \quad (3.16)$$

$$\left. \begin{array}{l} 1,2 \cdot G + 1,6 \cdot (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) \\ 1,2 \cdot G + 1,6 \cdot Q + 0,5 \cdot (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) \end{array} \right\} \quad (3.17)$$

$$1,2 \cdot G + 1,6 \cdot (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (Q \text{ veya } 0,8 \cdot W) \quad (3.18)$$

$$1,2 \cdot G + Q + 0,5 \cdot (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 1,6 \cdot W \quad (3.19)$$

$$1,2 \cdot G + Q + 0,2 \cdot S + E \quad (3.20)$$

$$0,9 \cdot G + 1,6 \cdot W \quad (3.21)$$

$$0,9 \cdot G + E \quad (3.22)$$

Burada akışkan madde basıncı olması durumunda (3.16) ve (3.19) bağıntılarında F yükünün G yükünün katsayısıyla birleşime (kombinasyona) gireceğini, yatay zemin itkisinin (H) gerekli dayanımı artıracak durumda ise 1,6 katsayısıyla, gerekli dayanımı azaltacak durumda ise 0,9 katsayısıyla kombinasyona gireceğini ve sıcaklık değişmesi (T) ve/veya mesnet çökmesi etkilerinin gerekli dayanımı artıracak olması durumunda ise 1 katsayısıyla tüm yük kombinasyonlarına gireceğini belirtmek uygun olacaktır. Ayrıca bu yük kombinasyonlarda R 'nin yağmur yükü ve E 'nin ise deprem yükü olduğu belirtilmelidir.

3.4.2.2. Güvenlik Katsayılarıyla Tasarım (GKT)

GKT yöntemine göre gerekli dayanım (R_a) aşağıdaki yük birleşimleriyle belirlenecektir.

$$G \quad (3.23)$$

$$G+Q \quad (3.24)$$

$$G+(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) \quad (3.25)$$

$$G+0,75 \cdot Q+0,75 \cdot (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) \quad (3.26)$$

$$\left. \begin{array}{l} G+W \\ G+0,7 \cdot E \end{array} \right\} \quad (3.27)$$

$$\left. \begin{array}{l} G+0,75 \cdot Q+0,75 \cdot (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)+0,75 \cdot W \\ G+0,75 \cdot Q+0,75 \cdot S+0,75 \cdot (0,70 \cdot E) \end{array} \right\} \quad (3.28)$$

$$0,6 \cdot G+W \quad (3.29)$$

$$0,6 \cdot G+0,7E \quad (3.30)$$

Burada akışkan madde basıncı olması durumunda (3.23) ve (3.28) bağıntılarında F yükünün G yükünün katsayısıyla birleşime (kombinasyona) gireceğini, yatay zemin itkisinin gerekli dayanımı artıracak durumda ise 1 katsayısıyla, gerekli dayanımı azaltacak durumda ise 0,6 katsayısıyla kombinasyona gireceğini ve sıcaklık değişmesi ve/veya mesnet çökmesi etkilerinin gerekli dayanımı artıracak olması durumunda ise 0,75 katsayısıyla tüm yük kombinasyonlarına gireceğini belirtmek yararlı olacaktır.

3.4.3. Yapısal Eleman En Kesit Özellikleri

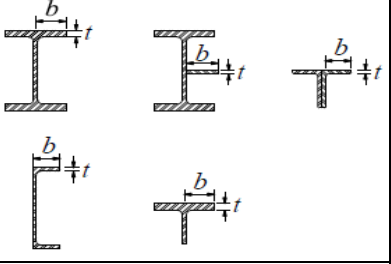
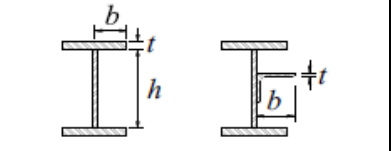
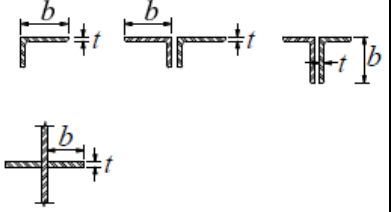
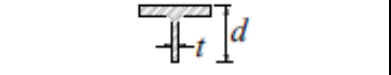
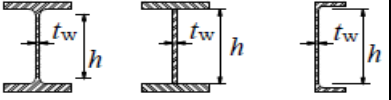
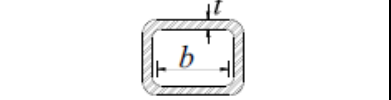
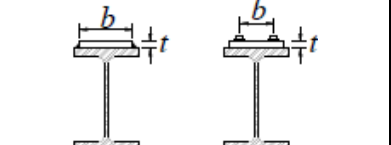
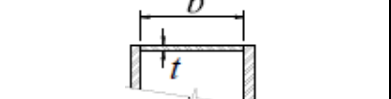
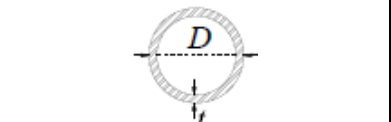
3.4.3.1. Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin En Kesitlerin Sınıflandırılması

Yerel burkulma sınır durumu dikkate alındığında, aksenal basınç kuvvetine maruz en kesitler; narin ve narin olmayan en kesitler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. En kesit parçalarının λ (genişlik veya çap / kalınlık oranı) değeri Çizelge 3.3'te verilen λ_r sınır değerini aşmayan en kesitler *narin olmayan* en kesit olarak adlandırılmaktadır. Buna karşın en az bir en kesit parçasının λ değerinin Çizelge 3.3'te verilen λ_r sınır değerini aştığı en kesitlere ise *narin* en kesitler denilmektedir.

Eğilme momentinden meydana gelen basınç gerilmelerine maruz en kesit parçaları yerel burkulma sınır durumu dikkate alındığında, *kompakt*, *kompakt olmayan* ve *narin en kesitler* olmak üzere üçe ayrılmaktadırlar. En kesit parçalarının λ (genişlik veya çap / kalınlık oranı) değeri Çizelge 3.4'te verilen λ_p sınır değerini aşmayan en kesit parçaları *kompakt* olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle tüm en kesit parçaları kompakt olan ve başlıkları gövde veya gövdelere sürekli birleştirilen en kesitler *kompakt* en kesit olarak tanımlanmaktadır. En kesit parçaları λ_p sınır değerini aşan, ancak λ_r sınır değerini aşmayan en kesitler *kompakt olmayan* en kesitler olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca en az bir en kesit parçası kompakt olmayan, ancak diğer tüm en kesit parçaları kompakt olan en kesitler de *kompakt olmayan en kesitler* olarak adlandırılmaktadır. Son olarak en az bir en kesit parçasının λ değeri λ_r sınır değerini aşıyorsa bunlar *narin* en kesitler olarak tanımlanmaktadır. Bununla beraber en az bir en kesit parçası narin olan en kesitler de *narin* en kesit olarak adlandırılmaktadır.

Burada *kompakt en kesitin* yerel burkulma olmaksızın tüm en kesitte akma gerilmesine ve belirli dönme kapasitesine ulaşılmasını sağlayan en kesit olduğunu ve *kompakt olmayan en kesitin* ise yerel burkulma olmaksızın belirli dönme kapasitesine ulaşılmadan akma gerilmesine ulaşıldığı en kesit olduğunu belirtmekte yarar bulunmaktadır.

Çizelge 3.3. Eksenel basınç kuvveti etkisindeki en kesit parçaları için genişlik/kalınlık oranları (λ).

Durum	Tanım	λ	Genişlik / kalınlık oranı sınır değeri, λ_r	En Kesit	
Rijitleştirilmemiş en kesit parçası	1	Hadde I profillerinin başlıkları, bu profillere bağlanan levhalar, boşluksuz olarak sürekli olarak birleştirilen çift korniyerlerin dış kolları, U ve T profillerin başlıkları	b/t	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Yapma I profillerin başlıkları, bu profillere bağlanan levhalar ve korniyerlerin dış kolları	b/t	$0,64 \sqrt{\frac{k_c \cdot E}{F_y}}$ $k_c = 4 / (\sqrt{h/t_w})$ ve $0,35 \leq k_c \leq 0,76$	
	3	Tek korniyerlerin kolları, birbirlerine boşluklu olarak bağlanan çift korniyerlerin kolları ve tüm rijitleştirilmemiş elemanlar	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	T profillerin gövdeleri	d/t	$0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Rijileştirilmiş en kesit parçası	5	U profillerin ve çift simetri eksenli I profillerin gövdeleri	h/t_w	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Uniform kalınlıklı dikdörtgen ve kare kutu en kesitlerin gövde ve başlıkları	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Birleşim araçları arasında kalan takviye levhaları ve diyafram levhaları	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Tüm diğer rijileştirilmiş en kesit parçaları	b/t	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	Boru en kesitli elemanlar	D/t	$0,11 \frac{E}{F_y}$	

Çizelge 3.4. Eğilme momentinin basınç bileşeni etkisindeki en kesit parçaları için genişlik/kalınlık oranları.

Durum	Tanım	λ	Genişlik/Kalınlık Oranı Sınır Değerleri		En Kesit	
			λ_p (kompakt/ kompakt olmayan)	λ_r (kompakt olmayan/narin)		
Rijitleştirilmemiş en kesit parçası	10	Hadde I profiller, U profiller ve T en kesitli elemanların başlıkları	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Tek ve çift simetri eksenli yapma I en kesitli elemanların başlıkları	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,95 \sqrt{\frac{E}{F_y}}^{[a]}$ $k_c = 4 / (\sqrt{h/t_w})$ ve $0,35 \leq k_c \leq 0,76$	
	12	Tek korniyerlerin kolları	b/t	$0,54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Zayıf eksen etrafında eğilme etkisindeki tüm I en kesitli elemanlar ve U profiller	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	T en kesitli elemanların gövdeleri	d/t	$0,84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Rijitleştirilmiş en kesit parçası	15	U profillerin ve çift simetri eksenli I profillerin gövdeleri	h/t_w	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Tek simetri eksenli I en kesitli elemanların gövdeleri	$\frac{h_c}{h_p} \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}^{(b)}$ $\left(0,54 \cdot \frac{M_p}{M_y} - 0,09\right)^2 \leq \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Uniform cidar kalınlıklı kutu en kesitli elemanların başlıkları	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Takviye levhaları ve birleşim araçları arasında kalan diyafram levhaları	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Kutu en kesitli elemanların gövdeleri	h/t	$2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	Boru en kesitli elemanlar	D/t	$0,07 \frac{E}{F_y}$	$0,31 \frac{E}{F_y}$	
21	Yapma kutu en kesitlerin başlıkları	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		

Bu çizelgede,

[a]: Narin gövdeli **I** en kesitli elemanlar ve kompakt veya kompakt olmayan gövdeler için $W_{ext} / W_{exc} \geq 0,7$ olan, yapma **I** en kesitli elemanların kuvvetli eksenleri etrafında eğilme etkisinde olması durumunda $F_L = 0,7 \cdot F_y$. Kompakt veya kompakt olmayan gövdeli ve $W_{ext} / W_{exc} \geq 0,7$ olan, yapma **I** en kesitli elemanların kuvvetli eksenleri etrafında eğilme etkisinde olması durumunda ise, $F_L = F_y \cdot W_{ext} / W_{exc} \geq 0,5 \cdot F_y$,

[b]: M_y en dış lifin akmasına karşı gelen eğilme momenti ve M_p ise plastik eğilme momentini göstermektedir.

Burada Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te verilen bağıntılardaki E yapı çeliğinin elastisite modülünü ve F_y ise yapı çeliğinin karakteristik akma gerilmesini gösterdiğini belirtmek uygun olacaktır.

Rijitleştirilmemiş En Kesit Alanları

Basınç kuvveti doğrultusuna paralel sadece bir kenarı boyunca en kesitin diğer bir parçasıyla bağlanan basınç etkisindeki en kesit parçaları rijitleştirilmemiş en kesit parçaları olarak tanımlanmaktadır. Bu parçalarda aşağıda tanımlanan en kesit boyutları genişlik olarak alınacaktır.

- a) **I** ve **T** en kesitli profillerde yarım başlık genişliği,
- b) Korniyerlerde (**L** profillerinde) kol boyu **U** ve **Z** profiller için başlık genişliği,
- c) Levhalarda serbest kenar ile en yakın komşu bulon sırası veya kaynak arasındaki uzaklık,
- d) **T** en kesitli profillerin gövdeleri için toplam gövde yüksekliğidir.

Rijitleştirilmiş En Kesit Alanları

Basınç kuvveti doğrultusuna paralel iki kenarı boyunca en kesitin diğer parçalarıyla bağlanan basınç gerilmeleri etkisindeki en kesit parçaları rijitleştirilmiş en kesit parçaları olarak tanımlanmaktadır. Bu parçalarda aşağıda verilen en kesit boyutları genişlik olarak alınacaktır.

- a) Hadde profillerinin gövdeleri için h ; başlıklar arası uzaklıktan eğrilik yarıçaplarının çıkarılmasıyla bulunan yüksekliği ve h_c ise ağırlık merkezi ile basınç başlığı tarafının gövde parçasındaki eğrilik bitim noktası arasındaki uzaklığın iki katını göstermektedir.
- b) Bulonlu yapma en kesitlerin gövdeleri için h , bulon sıraları arasındaki net yüksekliği, kaynaklı yapma en kesitler için ise h , başlık iç yüzeyleri arasındaki net yüksekliği, simetrik olmayan bulonlu yapma en kesitlerde h_c , ağırlık merkezi ile basınç başlığı tarafındaki en yakın bulon sırası arasındaki uzaklığın veya kaynak kullanılması durumunda ise ağırlık merkezi ile basınç başlığının iç yüzü arasındaki uzaklığın iki katını, simetrik olmayan bulonlu yapma en kesitlerde h_p , plastik tarafsız eksen ile basınç başlığı tarafındaki en yakın bulon sırası arasındaki uzaklığın veya kaynak kullanılması durumunda plastik tarafsız eksen ile basınç başlığının iç yüzü arasındaki uzaklığın iki katını göstermektedir.
- c) Yapma en kesitlerin başlık takviye levhaları ve diyafram levhaları için, komşu bulon sıraları veya kaynak çizgileri arasındaki b genişliğini göstermektedir.
- d) Dikdörtgen kutu en kesitlerin başlıklarında, başlık levhasının gövde levhalarına bağlandığı eğrilik bitim noktaları arasındaki h yüksekliği; eğrilik yarıçaplarının bilinmemesi durumunda b ve h ölçüleri, kutu en kesitin ilgili doğrultudaki dış boyutlarından et kalınlığının üç katı çıkarılarak belirlenmektedir. Burada et kalınlığının madde 3.4.4.2'de tanımlanan tasarım et kalınlığı olarak dikkate alınması gerektiği belirtmek uygun olacaktır.

Ayrıca başlık kalınlıkları değişken olan en kesitlerde ortalama kalınlık, başlığın serbest ucu ile gövde levhasına birleşen kenarı arasındaki orta noktanın kalınlığı olarak dikkate alınacaktır.

3.4.3.2. Boru ve Kutu En Kesit Alanların Tasarım Et Kalınlıkları

Boru ve kutu en kesitli elemanların kesit hesaplarında tasarım et kalınlığı dikkate alınmaktadır. Tasarım en kalınlığı (t), tozaltı ark kaynağıyla oluşturulan elemanlarda karakteristik et kalınlığına, elektrik direnç kaynaklı elemanlarda ise karakteristik et kalınlığının 0,93 katına eşit olarak alınacaktır.

3.4.3.3. Kayıpsız ve Net En Kesit Alanları

Elemanın kayıpsız (brüt) en kesit alanı (A_g), yerel burkulma nedeniyle etkin olmayan en kesit parçalarının ya da açılan delikler nedeniyle oluşan kayıpların göz önüne alınmadığı toplam en kesit alanı olarak tanımlanmaktadır.

Net (kayıplı) en kesit alanı, (A_n), elemanın kırılma çizgisi üzerinde yer alan bulon deliklerinin ya da konstrüktif nedenlerden dolayı oluşan kesit kayıplarının çıkarılmasıyla hesaplanan en kesit alanı net alan olarak tanımlanmaktadır.

Çekme ve kesme kuvveti etkisindeki elemanların kırılma çizgisi üzerindeki net en kesit alanının hesabında, delik açılırken delik çevresindeki çelik malzemenin hasar görme olasılığı dikkate alınarak, karakteristik delik çapından 2 mm daha büyük olarak alınan etkin delik çapı (d_e) kullanılacaktır.

Şaşırtmalı veya şaşırtmalı olmayan delikler için, kırılma çizgisi boyunca net alan;

$$A_n = A_g - \sum d_e \cdot t + \sum \frac{s^2 \cdot t}{4g} \quad (3.31)$$

bağıntısıyla hesaplanacaktır.

Burada Σd_e , kırılma çizgisi üzerindeki tüm etkin delik çaplarının toplamını ve $\Sigma \frac{s^2 \cdot t}{4g}$ ise kırılma çizgisi üzerindeki tüm diyagonal çizgiler için $s^2/4g$ terimlerinin toplamını göstermektedir.

Boru veya kutu en kesitlerde; bazı kaynaklı birleşimler için yapılan kesimler nedeniyle net (kayıplı) alan, kesim işlemiyle çıkarılan genişlik ve eleman tasarım et kalınlığının çarpımıyla belirlenen alanın boru veya kutu elemanının toplam en kesit alanından çıkarılmasıyla elde edilmektedir.

Burada dairesel ve oval delik kaynaklarında, kaynak alanının net en kesit alanına katılmadığını ve delik içermeyen elemanların net en kesit alanının toplam en kesit alanına eşit ($A_n = A_g$) olduğunu belirtmek uygun olacaktır.

BÖLÜM 4

YAPILAN ÇALIŞMALAR

4.1. ÇELİK YAPI MODELLERİ

Bu tez çalışmasında çelik yapılarda kullanılan farklı merkezi çelik çapraz tiplerinin söz konusu yapının deprem davranışına ve düğüm noktası birleşim detayına etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Bu amaçla sayısal uygulamalar için oluşturulan merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin yapısal çözümleri Sta-Steel programıyla gerçekleştirilmiştir. Böylece oluşturulan merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin, özellikle deprem etkisinde, davranışları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

4.1.1. Yapı Modellerinin Genel Özellikleri

Bu çalışmada dikkate alınan çelik yapı modellerinin iş merkezi olarak kullanılması düşünülmektedir. Bu amaçla sayısal uygulamalar için, planda simetrik ve her iki doğrultuda (x ve y doğrultularında) her bir açıklığı 6 m olan üç açıklıklı ve her bir katın yüksekliği 3 m olan 5 katlı 8 çelik yapı modelinden oluşmaktadır. Oluşturulan yapı modellerinin taşıyıcı sistemlerinin moment aktaran çerçeve ve düşey çapraz elemanlardan oluştuğu kabul edilmektedir. Söz konusu taşıyıcı sistemler, moment aktaran çerçeve ve merkezi çaprazlı çerçeveler (4 farklı /, X, V ve Λ) şeklinde olmak üzere 8 farklı modelden oluşmaktadır. Ayrıca yapısal burulmadan dolayı ek kesit etkilerinin oluşmaması için seçilen yapı modellerinin planda her iki doğrultuda simetrik olduğu kabul edilmektedir. Diğer taraftan oluşturulan çelik yapı modellerinde döşeme boşluklarının olmadığı da düşünülmektedir.

Her bir çelik yapı modelinin (moment aktaran çerçeve, merkezi X çaprazlı çerçeve, V çaprazlı çerçeve, Λ çaprazlı çerçeve ve / diyagonal çaprazlı çerçevelerde), bütün

kolonları HE 300B, ana kirişleri IPE 270, ara kirişleri y doğrultusunda IPE 240 ve x doğrultusunda IPE 220 profilleriyle oluşturulmuştur. Yapısal çözümlerinde düğüm noktası birleşimleri, bulonlu birleşimler oluşturulmadan önce, rijit olarak seçilerek modellenmiştir. Ayrıca dikkate alınan her merkezi çaprazlı çelik yapı modelinin yapısal çözümleri ZB yerel zemin sınıfına gerçekleştirilerek elde edilen bulgular birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın örnek olarak seçilen çelik yapı modellerine ilişkin diğer özellikler aşağıda verilmektedir.

Model 1 moment aktaran çerçeve olup, bütün kolonları HE 300B, ana kirişleri IPE 270, ara kirişleri y doğrultusunda IPE 240 ve x doğrultusunda IPE 220 profilleriyle tasarlanmıştır (bkz. Şekil 4.1).

Model 2’de bütün kolonların HE 300B, ana kirişleri IPE 270, ara kirişleri y doğrultusunda IPE 240 ve x doğrultusunda IPE 220 profilleriyle tasarlandığı kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslardaki çerçevelerde R140x10 kutu profil kullanılarak merkezi X çelik çaprazlar oluşturulmuştur (bkz. Şekil 4.2).

Model 3’te bütün kolonların HE 300B, ana kirişleri IPE 270, ara kirişleri y doğrultusunda IPE 240 ve x doğrultusunda IPE 220 profilleriyle tasarlandığı kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslardaki çerçevelerde R140x10 kutu profil kullanılarak merkezi V çelik çaprazlar oluşturulmuştur (bkz. Şekil 4.3).

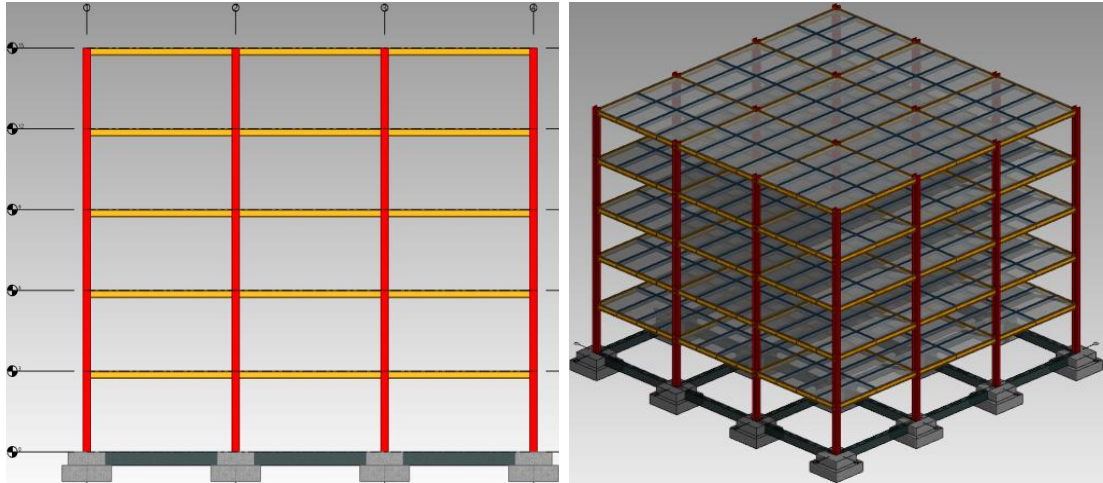
Model 4’te bütün kolonların HE 300B, ana kirişleri IPE 270, ara kirişleri y doğrultusunda IPE 240 ve x doğrultusunda IPE 220 profilleri ile tasarlanmıştır. Ayrıca bu modelde dış akslardaki çerçevelerde R140x10 kutu profil kullanılarak merkezi A çelik çaprazlar oluşturulmuştur (bkz. Şekil 4.4).

Model 5’te bütün kolonların HE 300B, ana kirişleri IPE 270, ara kirişleri y doğrultusunda IPE 240 ve x doğrultusunda IPE 220 profilleri ile tasarlandığı kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslardaki çerçevelerin köşe kolonlarında R140x10 kutu profil kullanılarak merkezi / şeklinde çelik çaprazlar kullanılarak A oluşturulmuştur (bkz. Şekil 4.5).

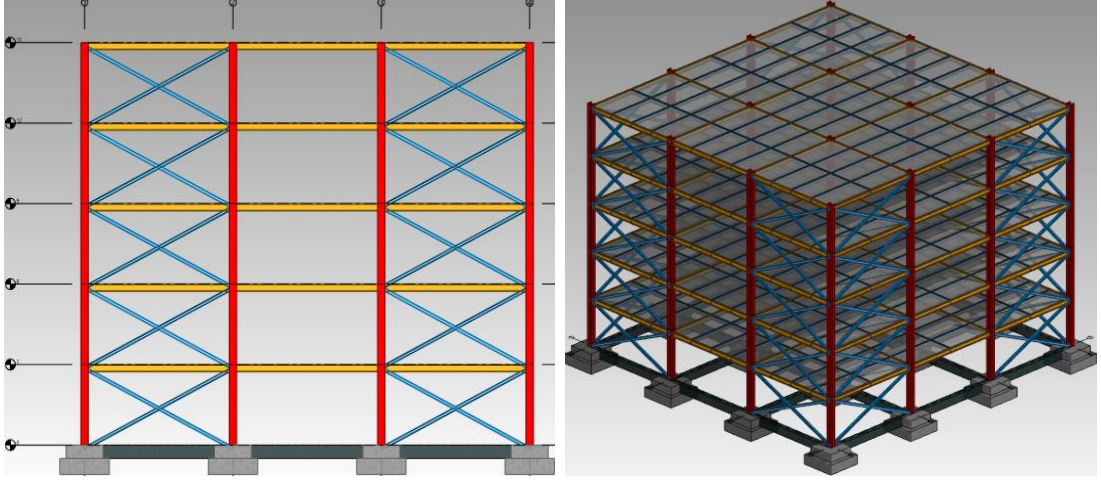
Model 6’te bütün kolonların HE 300B, ana kirişleri IPE 270, ara kirişleri y doğrultusunda IPE 240 ve x doğrultusunda IPE 220 profilleri ile tasarlandığı kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslardaki çerçevelerin köşe kolonlarında R140x10 kutu profil kullanılarak merkezi / şeklinde çelik çaprazlar kullanılarak V oluşturulmuştur (bkz. Şekil 4.6).

Model 7’de bütün kolonların HE 300B, ana kirişleri IPE 270, ara kirişleri y doğrultusunda IPE 240 ve x doğrultusunda IPE 220 profilleriyle tasarlanmıştır. Ayrıca bu modelde dış akslardaki çerçevelerin köşe kolonlarında R140x10 kutu profil kullanılarak merkezi / şeklinde çelik çaprazlar kullanılarak // oluşturulmuştur (bkz. Şekil 4.7).

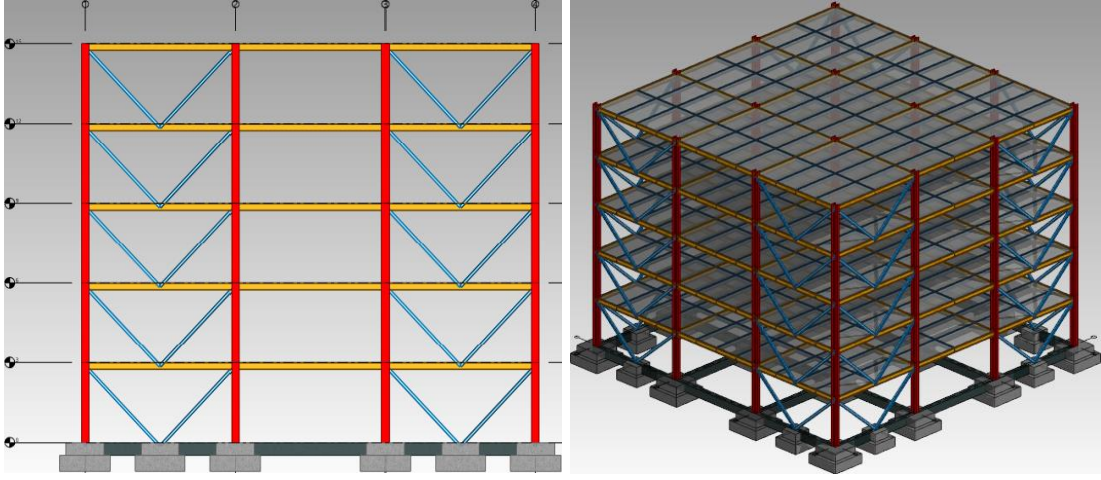
Model 8’de yine bütün kolonların HE 300B, ana kirişleri IPE 270, ara kirişleri y doğrultusunda IPE 240 ve x doğrultusunda IPE 220 profilleriyle tasarlandığı kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslardaki çerçevelerin köşe kolonlarında R140x10 kutu profil kullanılarak merkezi / şeklinde çelik çaprazlar kullanılarak \ \ oluşturulmuştur (bkz. Şekil 4.8).



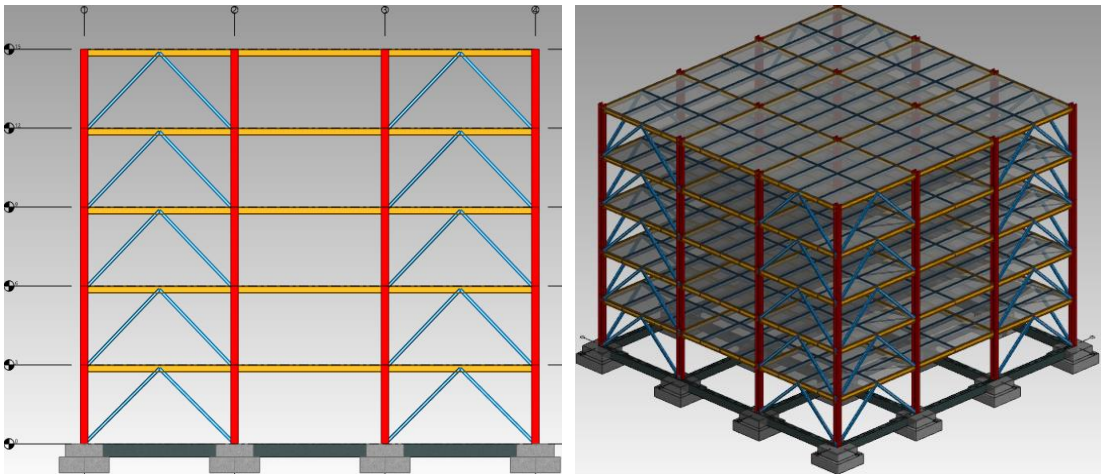
Şekil 4.1. Model 1’in dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü.



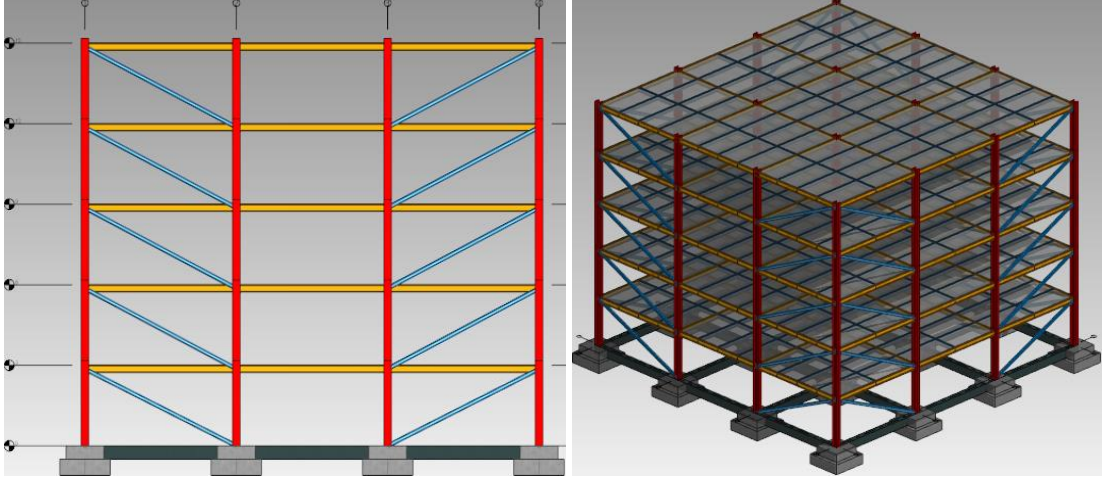
Şekil 4.2. Model 2'nin dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü.



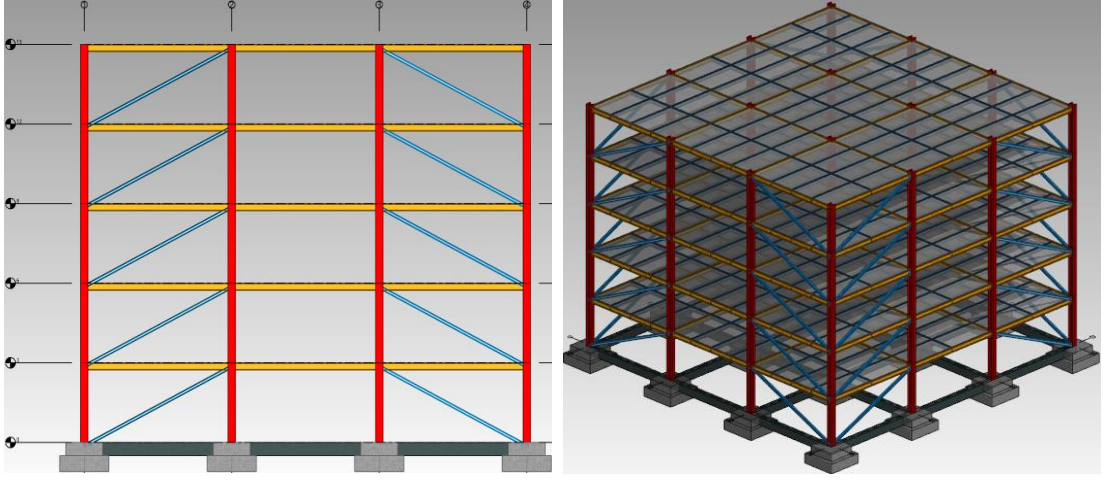
Şekil 4.3. Model 3'ün dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü.



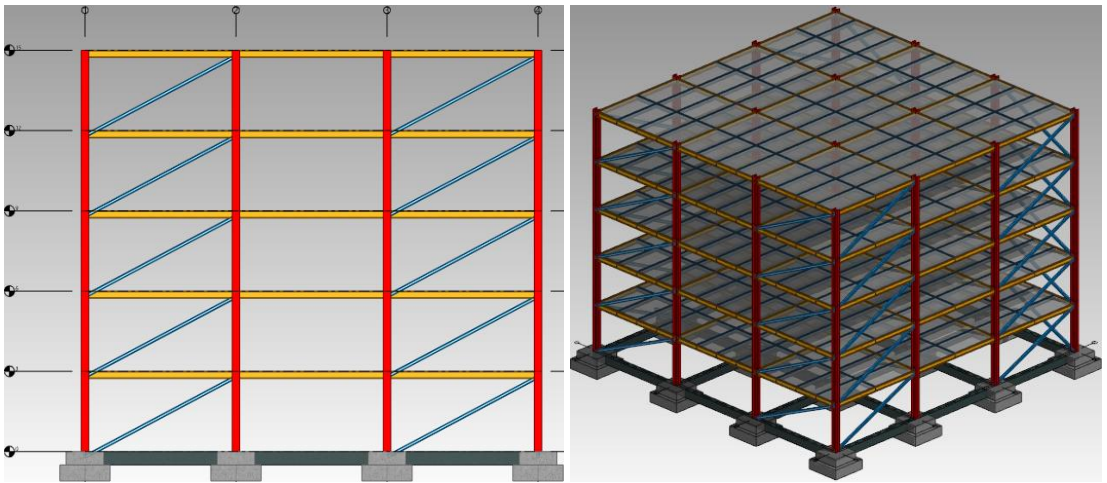
Şekil 4.4. Model 4'ün dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü.



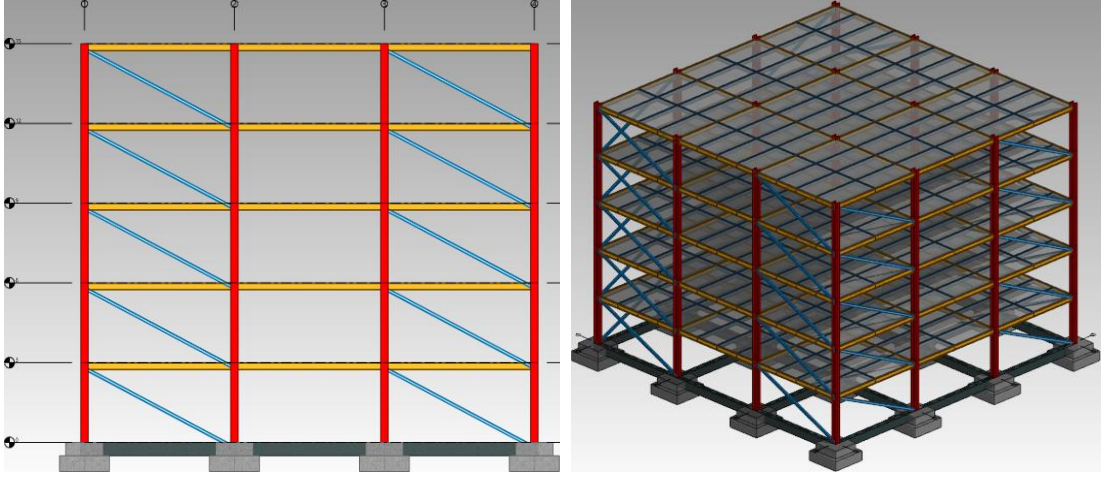
Şekil 4.5. Model 5'in dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü.



Şekil 4.6. Model 6'nın dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü.

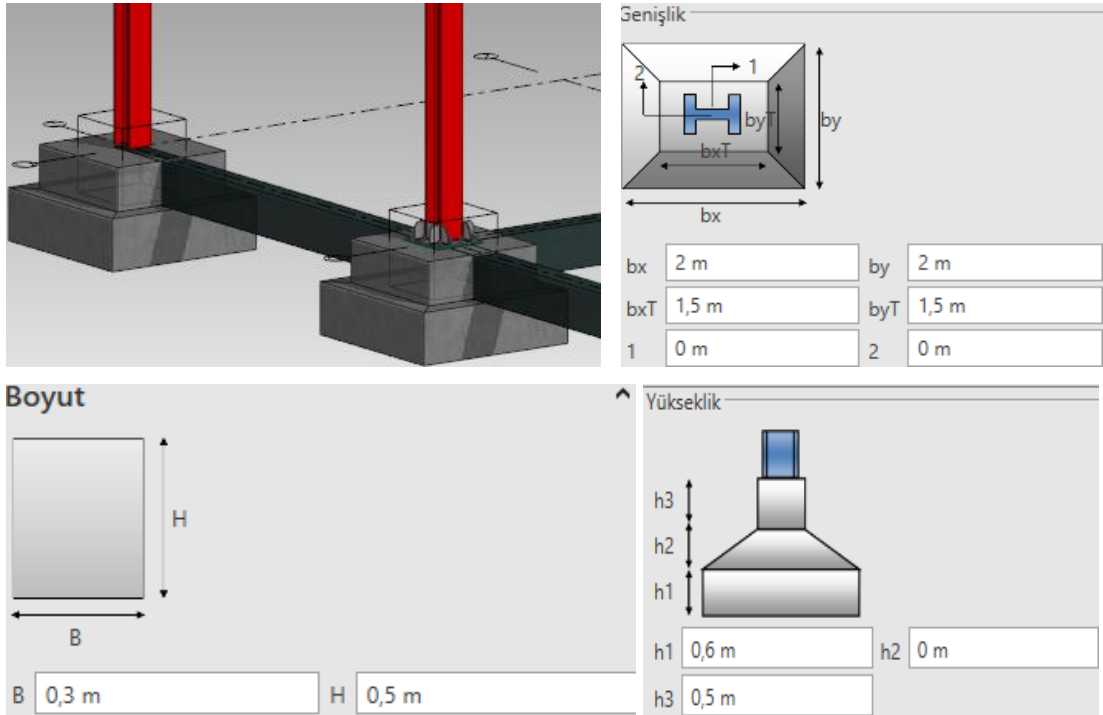


Şekil 4.7. Model 7'nin dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü.

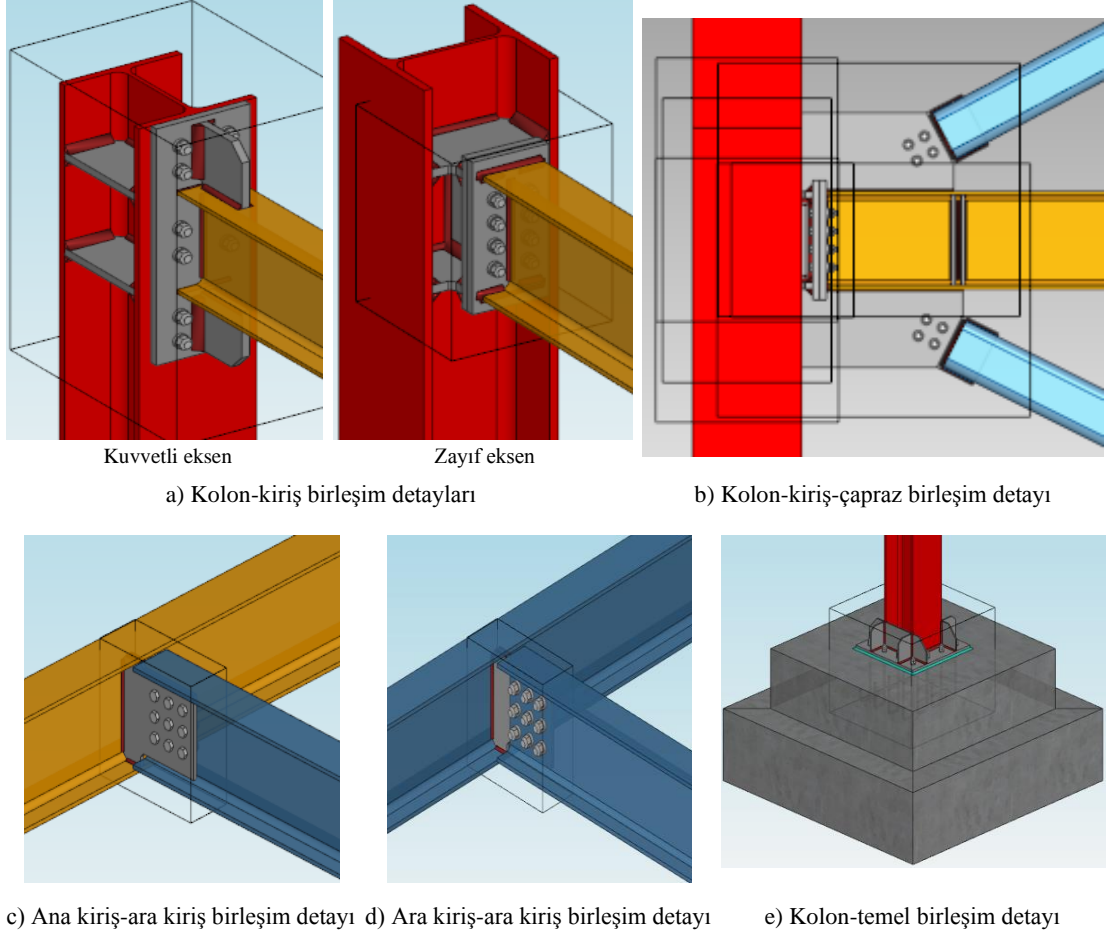


Şekil 4.8. Model 8'in dış aks kesiti ve 3 boyutlu bir görünümü.

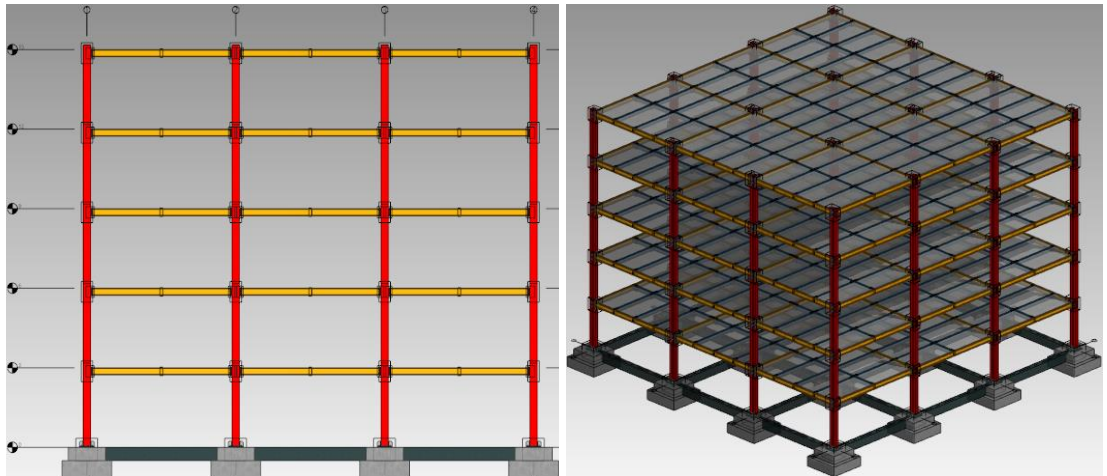
Bu tez çalışmasında dikkate alınan çelik yapı modellerinin temel görünümü ve boyutları Şekil 4.9'da gösterilmektedir. Ayrıca oluşturulan merkezi çelik çaprazlı çerçevelerin düğüm noktası birleşimi detayları Şekil 4.10'da gösterildiği gibi bulonlu ve kaynaklı olarak oluşturulmuştur. Bu şekilde oluşturulan çelik yapı modellerinin dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü sırasıyla Şekil 4.11-Şekil 4.18'de verilmektedir.



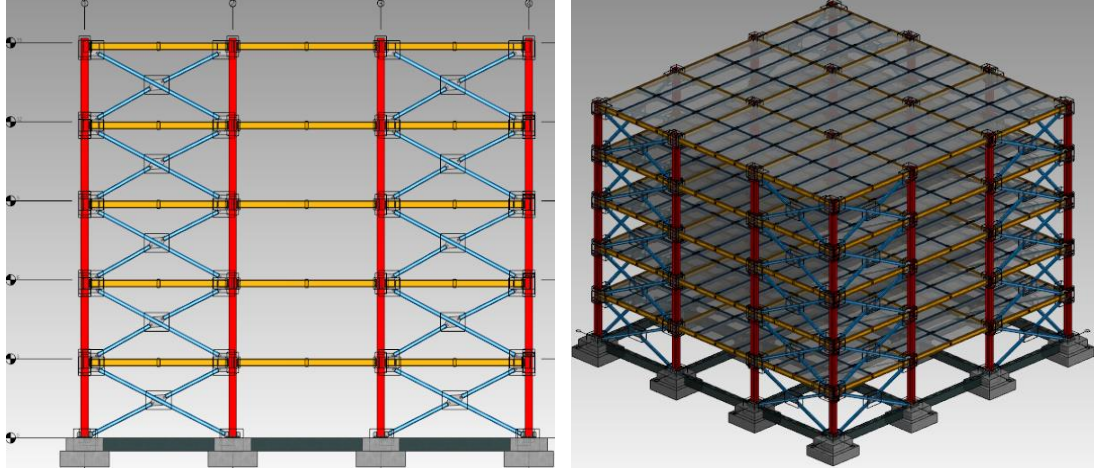
Şekil 4.9. Çelik yapı modellerinin temel sisteminin görünümü ve boyutları.



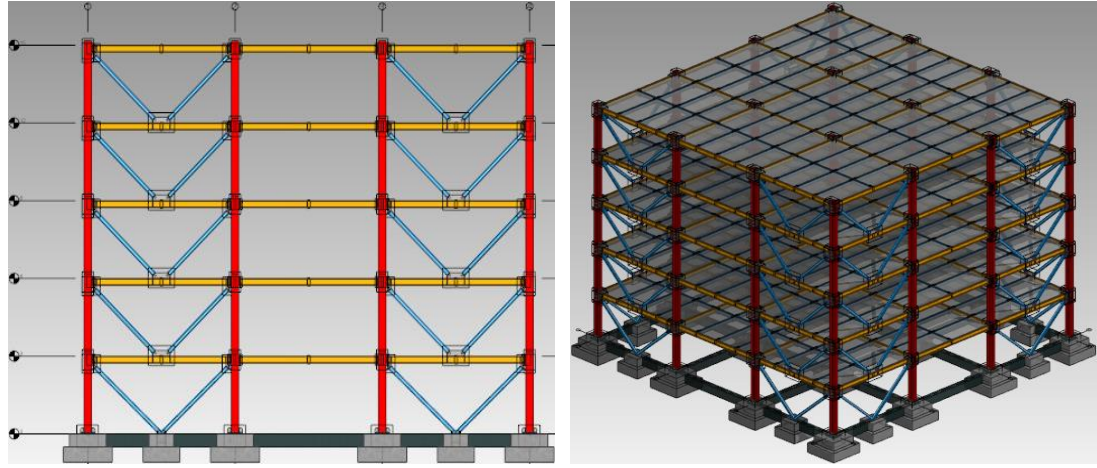
Şekil 4.10. Dikkate alınan çerçevelerin bulonlu ve kaynaklı olarak oluşturulan düğüm noktası birleşimi detayları.



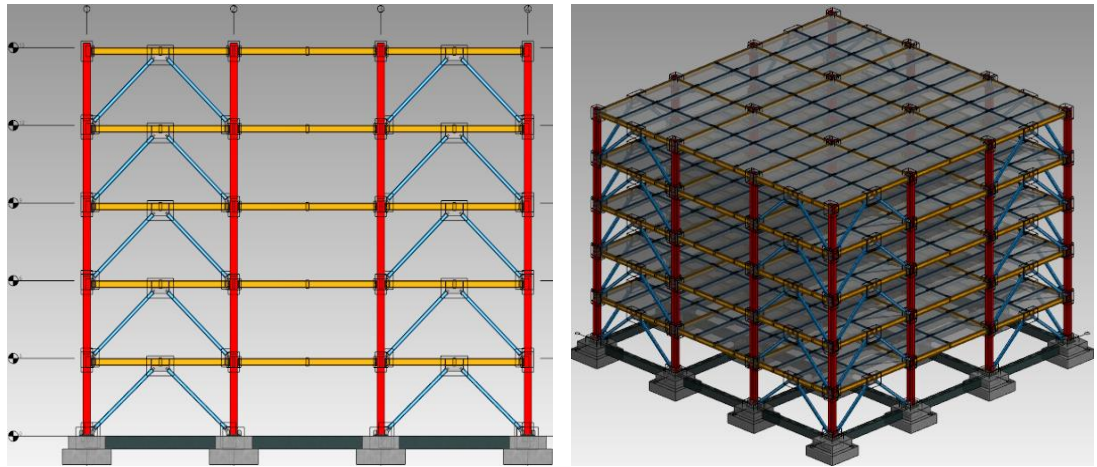
Şekil 4.11. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 1'in dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü.



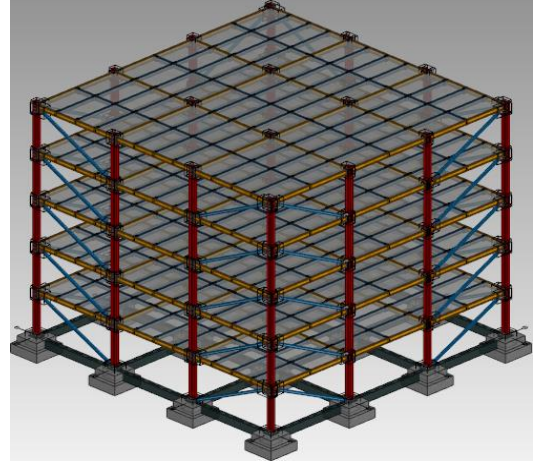
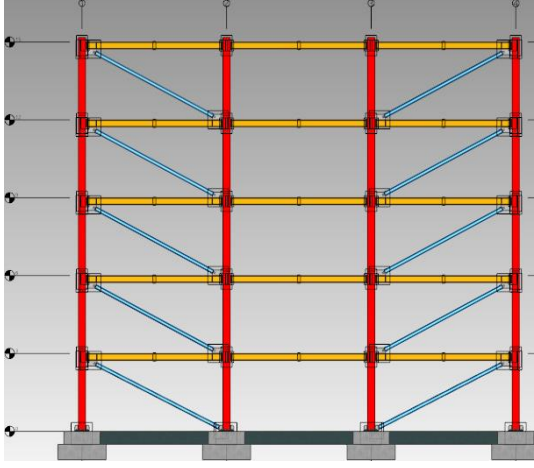
Şekil 4.12. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 2'nin dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü.



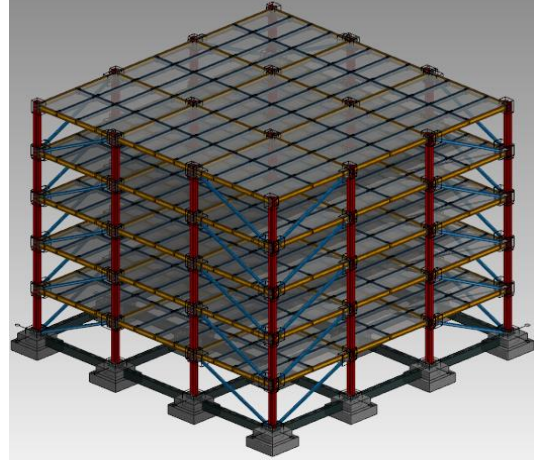
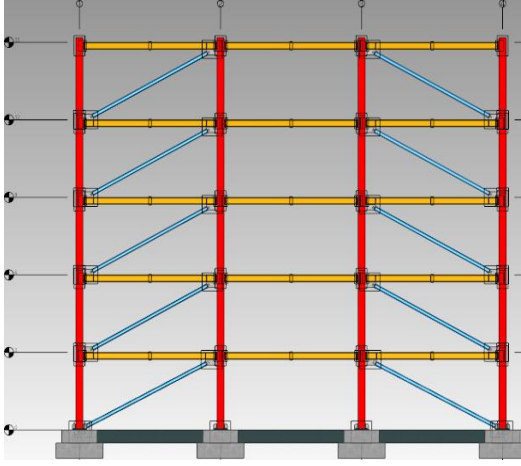
Şekil 4.13. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 3'ün dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü.



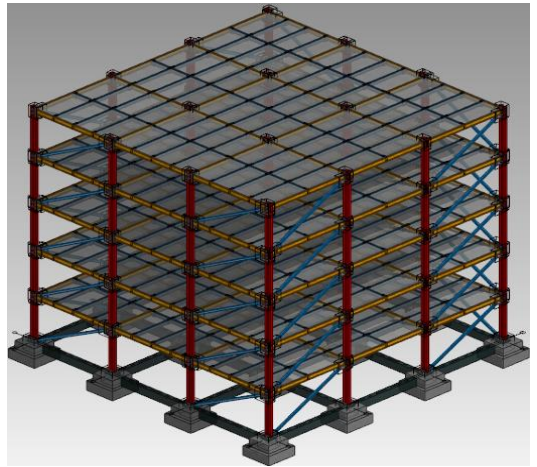
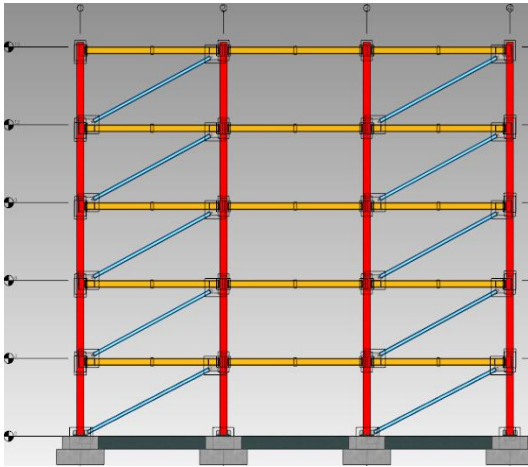
Şekil 4.14. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 4'ün dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü.



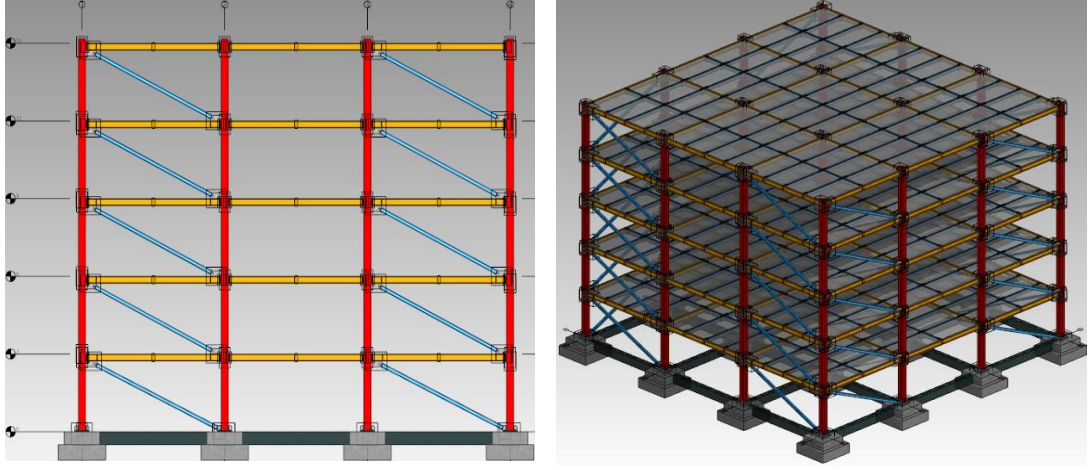
Şekil 4.15. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 5'in dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü.



Şekil 4.16. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 6'nın dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü.



Şekil 4.17. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 7'nin dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü.



Şekil 4.18. Bulonlu ve kaynaklı birleşimle oluşturulan model 8'in dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü.

Burada şekillerde görülen bütün çelik yapı modellerinin kat alanlarının eşit olduğunu belirtmek yararlı olacaktır.

4.1.2. Çelik Yapı Modellerinin Yapısal Elemanlarının Malzeme Özellikleri

Taşıyıcı sistemi oluşturan yapısal elemanların boyutlandırılmasında Avrupa profilleri kullanılmıştır. Buna göre kolonlar, kirişler ve çapraz elemanlar S275 çeliği ile tasarlanmıştır. S275 çeliğine ilişkin malzeme özellikleri Çizelge 4.1'de verilmektedir. Ayrıca düğüm noktası birleşimlerinde 8.8 bulon sınıfı kullanılmış ve söz konusu bulon sınıfına ilişkin özellikleri de Çizelge 4.2'de ve çelik yapı modellerinin diğer tasarım parametreleri de Çizelge 4.3'te verilmektedir. Bu çizelgede verilen kar yükü Kütahya iline göre seçilmiştir (TS 498, 1997).

Çizelge 4.1. S275 malzemesinin karakteristik akma gerilmesi (F_y) ve çekme dayanımı (F_u).

Çelik sınıfı	Karakteristik kalınlık, t (mm)			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} \leq t \leq 80$ mm	
	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)
EN 10025-2 S275	275	430	255	410

Çizelge 4.2. Bulon sınıfının karakteristik akma gerilmesi (F_{yb}) ve çekme dayanımı (F_{ub}).

Bulon sınıfı	F_{yb} (MPa)	F_{ub} (MPa)
8.8	640	800

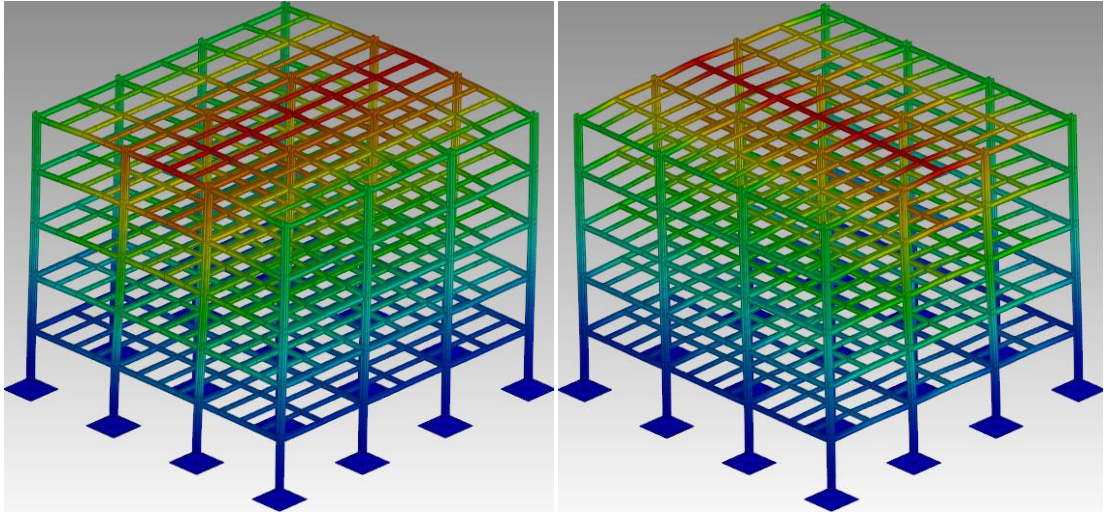
Çizelge 4.3. Çelik yapı modellerinin diğer tasarım parametreleri.

Bina önem katsayısı (konut ve işyeri), I		1
Süneklik düzeyi sınırlı taşıyıcı sistem davranış katsayıları (R_x ve R_y)		4
Hareketli yük katılım katsayısı (konutlar ve iş yeri)		0,30
Türkiye deprem haritasına göre boylam		30,048
Türkiye deprem haritasına göre enlem		39,386
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)		0,8399
1s'lik periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)		0,2122
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{ds})		0,7559
1s'lik periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{d1})		0,1698
Deprem yer hareketi düzeyi		DD2
Deprem tasarım sınıfı		DTS1
Dayanım fazlalığı katsayıları (D_x ve D_y)	Moment aktaran çerçeve	2,5
	Merkezi çaprazlı çerçeveler	2
Yerel zemin sınıfı		ZB
ZB yerel zemin sınıfı için temel zemini taşıma gücü (kN/m^2)		700
ZB yerel zemin sınıfı için temel zemini yatak katsayısı (kN/m^3)		100000
Eşdeğer deprem yükü karşılaştırma katsayısı (β)		0,80
Deprem ek dışmerkezliliği (e)		0,05
Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu, T_A (s)		0,04492
Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu, T_B (s)		0,22457
Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu, T_L (s)		6
Kar yükü (kN/m^2)		1,3
Hareketli yükü (kN/m^2)		2
Rüzgar yükü (kN/m^2)	8 m yüksekliğe kadar	0,5
	20m yüksekliğe kadar	0,8
Yapı yüksekliği (m)		15
Deprem alt kotu yüksekliği (m)		0
Çelik bina taşıyıcı sistem tipi	Moment aktaran çerçeve	C31
	Merkezi çaprazlı çerçeveler	C33

BÖLÜM 5

YAPI MODELLERİNİN YAPISAL ÇÖZÜMLEMELERİ VE ELDE EDİLEN BULGULARIN TARTIŞILMASI

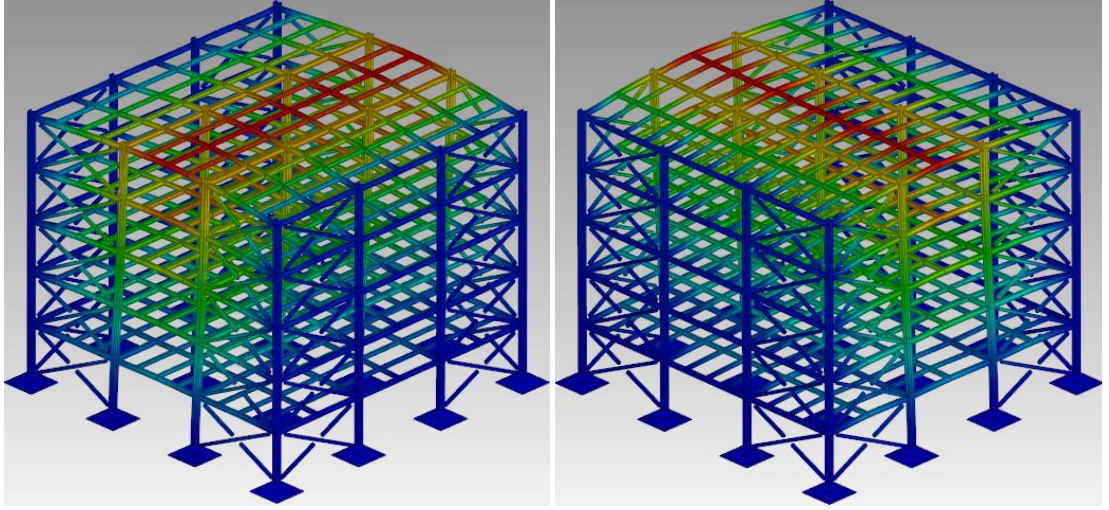
Bu tez çalışması kapsamında dikkate alınan SDS merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin depreme göre gerçekleştirilen yapısal çözümleri x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için yapısal elemanlarının yer değiştirme görünümleri sırasıyla Şekil 5.1 ve Şekil 5.8’de verilmektedir. Bu şekillerden dikkate alınan çelik yapı modellerinin maksimum yerdeğiştirme görünümlerinin aynı noktalarda oluştuğu görülmektedir. Ancak merkezi çelik çaprazlı yapı modelleri yapısal elemanlarının yerdeğiştirme ve zorlanmaları moment aktaran yapı modeline (model 1’e) göre daha az olmaktadır. Elde edilen bu bulgular merkezi çelik çapraz elemanların yapı davranışına olumlu katkı sağladığını göstermektedir.



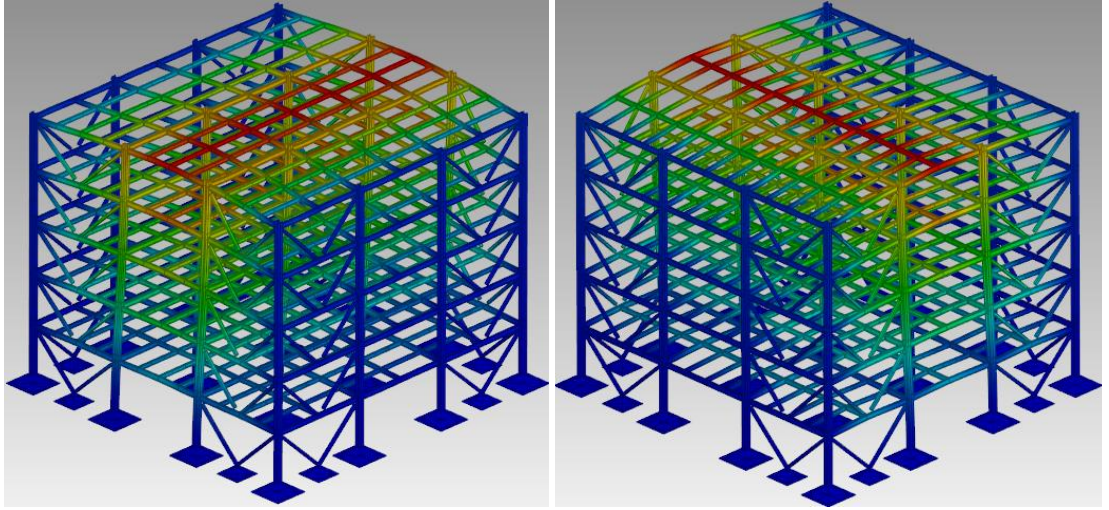
a) x doğrultusunda

b) y doğrultusunda

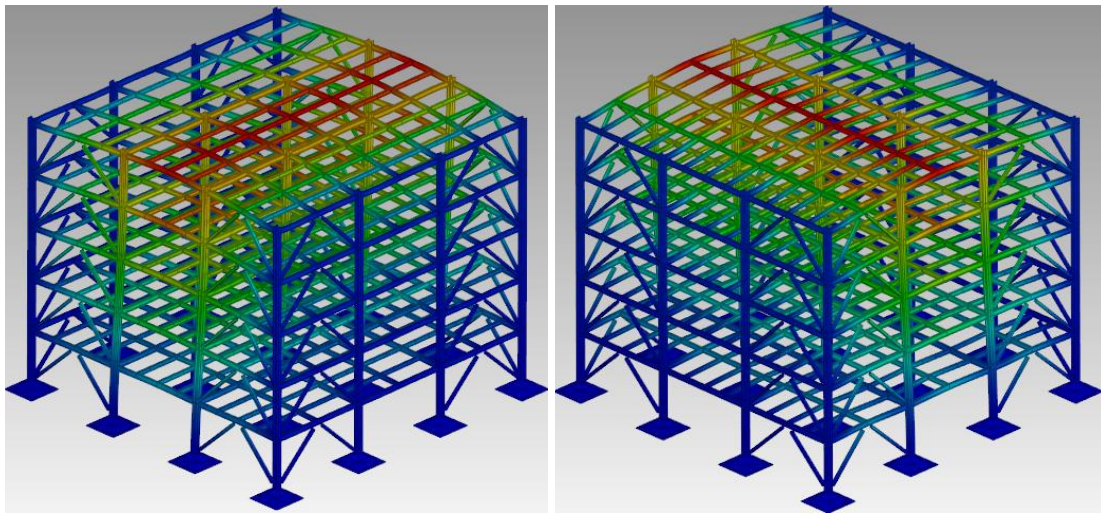
Şekil 5.1. Model 1’in x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için yapısal elemanlarının yer değiştirme görünümleri.



a) model 2

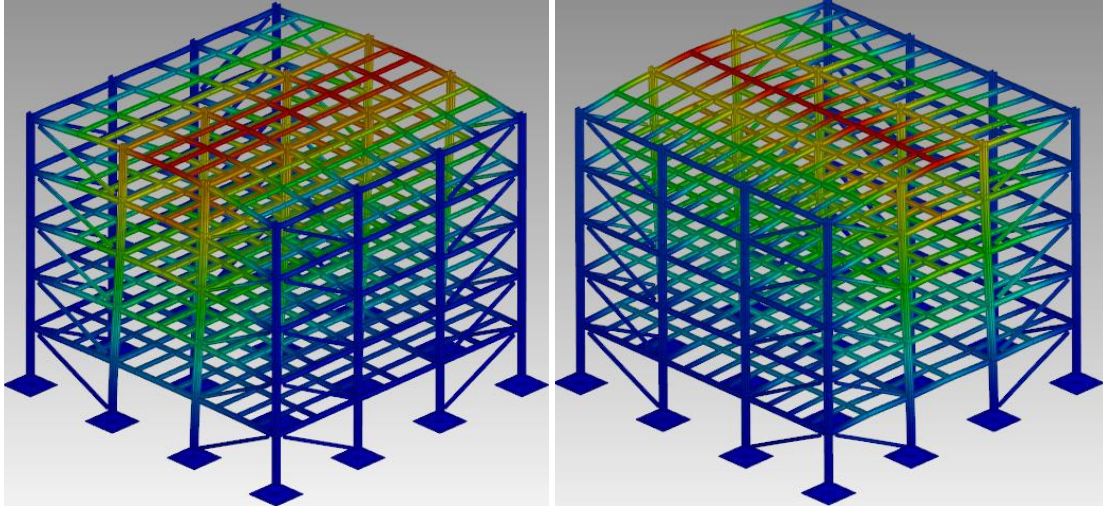


b) model 3

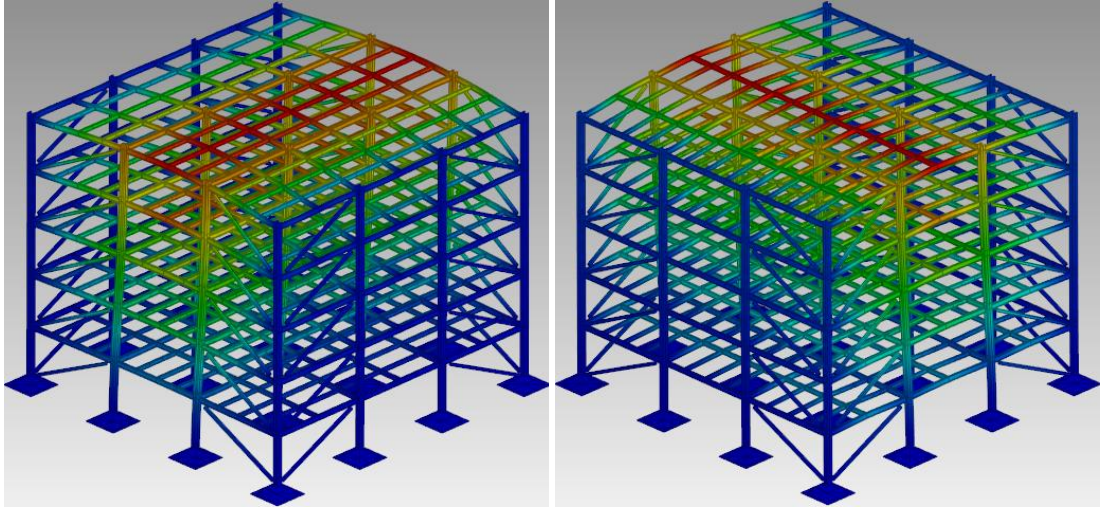


c) model 4

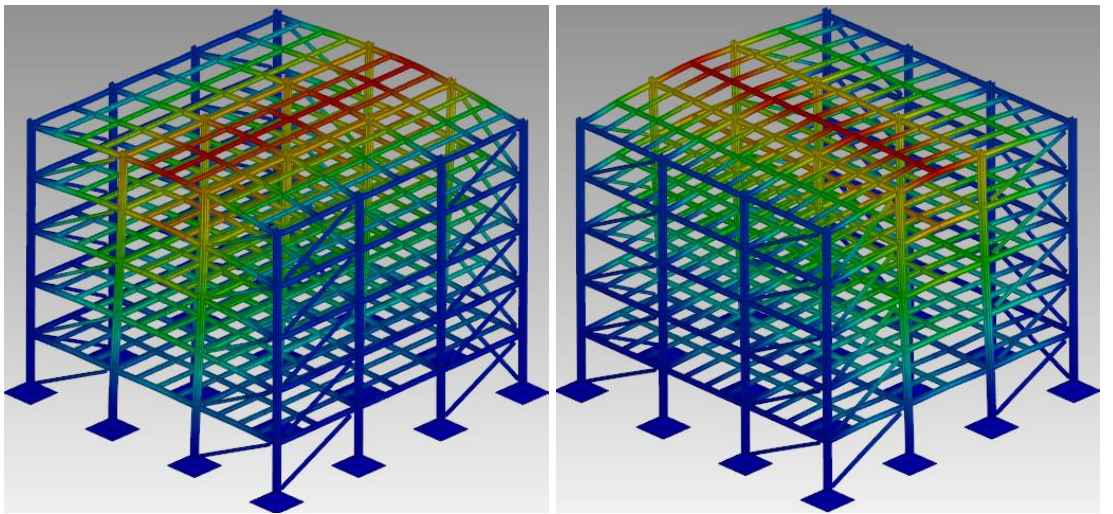
Şekil 5.2. Model 2-model 4'ün x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için yapısal elemanlarının yer değiştirme görünümüleri.



a) model 5

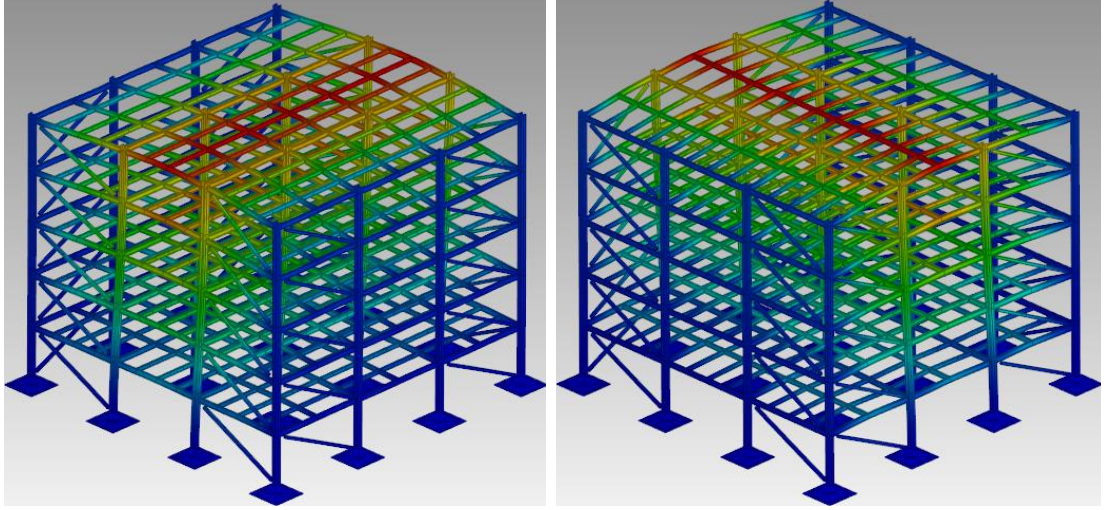


b) model 6



c) model 7

Şekil 5.3. Model 5-model 7'nin x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için yapısal elemanlarının yer değiştirme görünümleri.

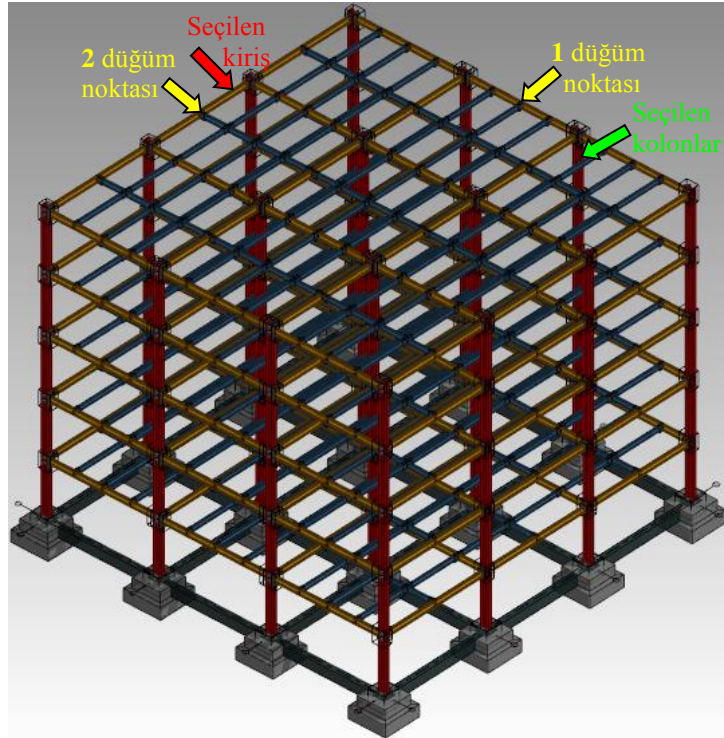


a) x doğrultusunda

b) y doğrultusunda

Şekil 5.4. Model 8'in x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için yapısal elemanlarının yer değiştirme görünümleri.

Bu çalışma kapsamında dikkate alınan SDS merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin davranışlarının birbirleriyle karşılaştırmak için kritik olan düğüm noktaları ve yapısal elemanlar Şekil 5.5'teki gibi seçilmiştir.



Şekil 5.5. Çelik yapı modellerinin seçilen düğüm noktası ve yapısal elemanları.

Bu tez çalışmasında dikkate alınan SDS merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin, mod birleştirme yöntemine göre düğüm noktası birleşimleri rijit ve yarı-rijit olarak gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden, elde edilen periyot ve açısal hız değerleri Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin rijit ve yarı-rijit yapısal çözümlerinden elde edilen periyot (T) ve açısal hız (ω) değerleri.

Modeller		1.mod		2.mod		3.mod	
		T (s)	ω	T (s)	ω	T (s)	ω
Model 1	rijit birleşim	0,7889	7,964	0,6708	9,367	0,5876	10,693
	yarı rijit birleşim	0,4755	13,214	0,3929	15,992	0,379	16,578
Model 2	rijit birleşim	0,5329	11,791	0,5016	12,526	0,3132	20,061
	yarı rijit birleşim	0,4551	13,806	0,3762	16,702	0,3207	19,592
Model 3	rijit birleşim	0,544	11,550	0,5097	12,327	0,3159	19,890
	yarı rijit birleşim	0,4581	13,716	0,3789	16,583	0,3218	19,525
Model 4	rijit birleşim	0,5393	11,651	0,5035	12,479	0,3121	20,132
	yarı rijit birleşim	0,4588	13,695	0,3783	16,609	0,3212	19,562
Model 5	rijit birleşim	0,554	11,341	0,5168	12,158	0,3228	19,465
	yarı rijit birleşim	0,4565	13,764	0,3752	16,746	0,3269	19,221
Model 6	rijit birleşim	0,5559	11,303	0,52	12,083	0,3251	19,327
	yarı rijit birleşim	0,4639	13,544	0,3812	16,483	0,3257	19,291
Model 7	rijit birleşim	0,5544	11,333	0,5197	12,090	0,3249	19,339
	yarı rijit birleşim	0,4599	13,662	0,378	16,622	0,3259	19,280
Model 8	rijit birleşim	0,5551	11,319	0,5185	12,118	0,3236	19,417
	yarı rijit birleşim	0,4599	13,662	0,3779	16,627	0,3258	19,285

Bu çizelgeden dikkate alınan ilk üç mod (1. mod, 2. mod ve 3. mod) için model 1’den elde edilen periyot değerleri merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinden daha büyük olduğu, buna karşın açısal hız (ω) değerlerinin merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinden daha küçük olduğu görülmektedir. Diğer taraftan en küçük periyot değerleri model 2’den elde edilmektedir. Ayrıca bu çalışmada dikkate alınan tüm çelik yapı modellerinde, düğüm noktası birleşimlerinin rijit kabulüyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden elde edilen periyot değerlerinin düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit kabulüyle gerçekleştirilen yapısal

çözümlemelerinden elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum merkezi çelik çapraz elemanların kullanılmasıyla dikkate alınan tüm yapı modellerinde periyot değerlerinin önemli ölçüde azaldığını ortaya koymaktadır. Yapısal çözümlemelerden elde edilen bu bulgular merkezi çelik çapraz elemanlar kullanılarak yanal rijitliği artırılan tüm çelik yapı modellerinin periyot değerlerinin azaldığını göstermektedir.

SDS merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin Sta-Steel programıyla x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit kabulleriyle gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerinden 1 ve 2 düğüm noktalarındaki maksimum yer değiştirme ve dönme değerleri Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2. Merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için rijit ve yarı-rijit yapısal çözümlemelerinden elde edilen 1 ve 2 düğüm noktalarındaki yer değiştirme ve dönme değerleri.

Modeller	Birleşim tipi	x doğrultusundaki deprem etkisi		y doğrultusundaki deprem etkisi	
		1 düğüm noktası (18;9;15)		2 düğüm noktası (9;18;15)	
		Yer değiştirme δ_x (cm)	Dönme θ_y (rad)	Yer değiştirme δ_y (cm)	Dönme θ_x (rad)
Model 1	rijit	1,164	0	1,042	0
	yarı rijit	0,792	0,00128	0,678	0,00149
Model 2	rijit	0,993	0	0,950	0
	yarı rijit	0,853	0,00233	0,772	-0,00219
Model 3	rijit	1,004	0	0,962	0
	yarı rijit	0,831	0,00237	0,721	-0,00204
Model 4	rijit	1,004	0	0,945	0
	yarı rijit	0,830	0,00226	0,718	-0,00195
Model 5	rijit	1,015	0	0,984	0
	yarı rijit	0,844	0,00254	0,771	-0,00233
Model 6	rijit	1,01	0	0,987	0
	yarı rijit	0,857	0,00252	0,787	-0,00236
Model 7	rijit	1,003	0	0,983	0
	yarı rijit	0,844	0,0025	0,769	-0,00231
Model 8	rijit	1,004	0	0,981	0
	yarı rijit	0,845	0,00251	0,773	-0,00232

Bu çizelgeden de düğüm noktası birleşimlerinin rijit kabulüyle hem x hem de y doğrultularındaki deprem etkileri için gerçekleştirilen yapısal çözümler sonucunda model 1'den elde edilen 1 ve 2 düğüm noktalarındaki yer değiştirme değerleri bu tez çalışmasında dikkate alınan diğer çelik yapı modellerinden daha büyük olmaktadır. Buna karşın düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit kabulüyle hem x hem de y doğrultularındaki deprem etkileri için gerçekleştirilen yapısal çözümler sonucunda model 6'dan elde edilen 1 ve 2 düğüm noktalarındaki yer değiştirme değerleri dikkate alınan diğer yapı modellerinden daha büyük olmaktadır. Ayrıca yapısal çözümlerden x doğrultusundaki deprem etkisi için 1 düğüm noktasındaki ve y doğrultusundaki deprem etkisi için ise 2 düğüm noktasındaki dönme değerlerinin dikkate alınan diğer yapı modellerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Elde edilen bu bulgular da merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin yer değiştirme ve dönme değerlerini önemli derecede etkilediğini ortaya koymaktadır.

SDS merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin Sta-Steel programıyla düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit kabulleriyle x ve y doğrultularındaki deprem etkileri için, mod birleştirme ve eşdeğer deprem yükü yöntemleriyle, gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerleri Çizelge 5.3'te verilmektedir. Bu çizelgeden hem x hem de y doğrultusunda düğüm noktası birleşimlerinin rijit kabulüyle elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit kabulüyle elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Diğer taraftan dikkate alınan çelik yapı modellerinin eşdeğer deprem yükü yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti değerleri hem x hem de y doğrultusunda mod birleştirme yöntemiyle elde edilenlerden daha büyük olmaktadır. Ayrıca söz konusu yapı modellerinin hem x hem de y doğrultusunda düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerden mod birleştirme ve eşdeğer deprem yükü yöntemlerine göre en büyük taban kesme kuvveti değerlerinin model 2'den elde edildiği buna karşın düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerden ise mod birleştirme yöntemine göre en büyük taban kesme kuvveti değerlerinin model 4'ten ve eşdeğer deprem yükü yöntemine göre en büyük taban kesme kuvveti değerlerinin ise model 2'den elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5.3. Merkezi çelik çaprazlı çelik yapı modellerinin x ve y doğrultularında deprem etkisi için rijit ve yarı-rijit yapısal çözümlerinden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerleri.

Modeller	Birleşim tipi	Maksimum taban kesme kuvveti değerleri (kN)			
		X doğrultusundaki deprem etkisi		Y doğrultusundaki deprem etkisi	
		Mod birleştirme yöntemi	Eşdeğer deprem yükü yöntemi	Mod birleştirme yöntemi	Eşdeğer deprem yükü yöntemi
model 1	rijit	84,871	101,19	96,17	113,67
	yarı rijit	40,272	48,934	48,321	61,398
model 2	rijit	138,17	176,74	159,92	187,75
	yarı rijit	62,459	79,935	72,606	96,699
model 3	rijit	131,46	167,54	148,31	178,83
	yarı rijit	62,489	74,885	75,681	90,544
model 4	rijit	130,49	169,39	151,69	181,44
	yarı rijit	64,362	74,341	78,162	90,161
model 5	rijit	127,73	162,86	138,62	174,57
	yarı rijit	59,059	73,508	67,727	89,448
model 6	rijit	129,88	162,28	140,04	173,50
	yarı rijit	57,044	72,304	65,181	87,987
model 7	rijit	129,76	162,38	139,09	173,23
	yarı rijit	58,579	72,939	67,261	88,736
model 8	rijit	129,97	162,54	140,07	174,01
	yarı rijit	58,277	72,898	67,004	88,714

Bu tez çalışmasında dikkate alınan farklı merkezi çelik çaprazlarla oluşturulan yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit kabulleriyle x ve y doğrultularındaki deprem etkileri için Sta-Steel programıyla gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden elde edilen devirme kuvveti, devrilme momenti, devrilmeye karşı moment ve güvenlik katsayısı değerleri Çizelge 5.4'te verilmektedir. Bu çizelgeden de x ve y doğrultularında düğüm noktası birleşimlerinin rijit kabulüyle elde edilen devirme kuvveti, devrilme momenti, devrilmeye karşı moment değerlerinin düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit kabulüyle elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca x ve y doğrultularında hem rijit hem de yarı-rijit kabulleriyle en büyük devirme kuvveti ve devrilme momenti değerlerinin model 2'den, buna karşın devrilmeye karşı momentin ise model 3'ten elde edildiği

görülmektedir. Diğer taraftan bu çalışmada dikkate alınan çelik yapı modellerinin yeterli emniyette olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.4. Merkezi çelik çaprazlı çelik yapı modellerinin x ve y doğrultularında deprem etkisi için rijit ve yarı-rijit yapısal çözümlere göre devrilme kuvveti devrilme momenti, devrilmeye karşı moment ve güvenlik katsayısı değerleri.

	Deprem doğrultusu	Birleşim tipi	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8
Devirme Kuvveti (kN)	X	rijit	139,98	336,27	316,91	321,7	284,79	286,79	284,95	286,42
		yarı rijit	60,135	152,69	142,05	145,13	130,83	130,2	131,57	129,74
	Y	rijit	170,5	339,04	320,36	320,39	304,72	308,32	303,2	307,3
		yarı rijit	71,202	163,49	145,52	146,77	145,62	145,2	144,15	143,4
Devrilme momenti (kN.m)	X	rijit	1336,6	3371,1	3181,5	3199,4	2788	2845,9	2824,5	2835,3
		yarı rijit	607,88	1531	1448,5	1449,8	1303,4	1299,7	1309,1	1294
	Y	rijit	1659,9	3362,6	3185,2	3155,8	3023,9	3026,5	2982,2	3023,2
		yarı rijit	731,66	1640,1	1475,7	1462,3	1451,6	1455	1442,9	1439,5
Devrilmeye karşı moment (kN.m)	X	rijit	60734	62604	66113	61890	61672	61676	61326	61667
		yarı rijit	24297	25730	29452	25228	25058	25058	25059	25058
	Y	rijit	60739	62607	66122	61972	61678	61678	61532	61672
		yarı rijit	24297	25730	29453	25228	25059	25058	25058	25058
Güvenlik katsayısı	X	rijit	45,44	18,571	20,78	19,344	22,12	21,671	21,712	21,75
		yarı rijit	39,97	16,805	20,332	17,401	19,226	19,279	19,142	19,365
	Y	rijit	36,592	18,618	20,759	19,637	20,397	20,379	20,633	20,4
		yarı rijit	33,208	15,688	19,959	17,253	17,262	17,223	17,367	17,408

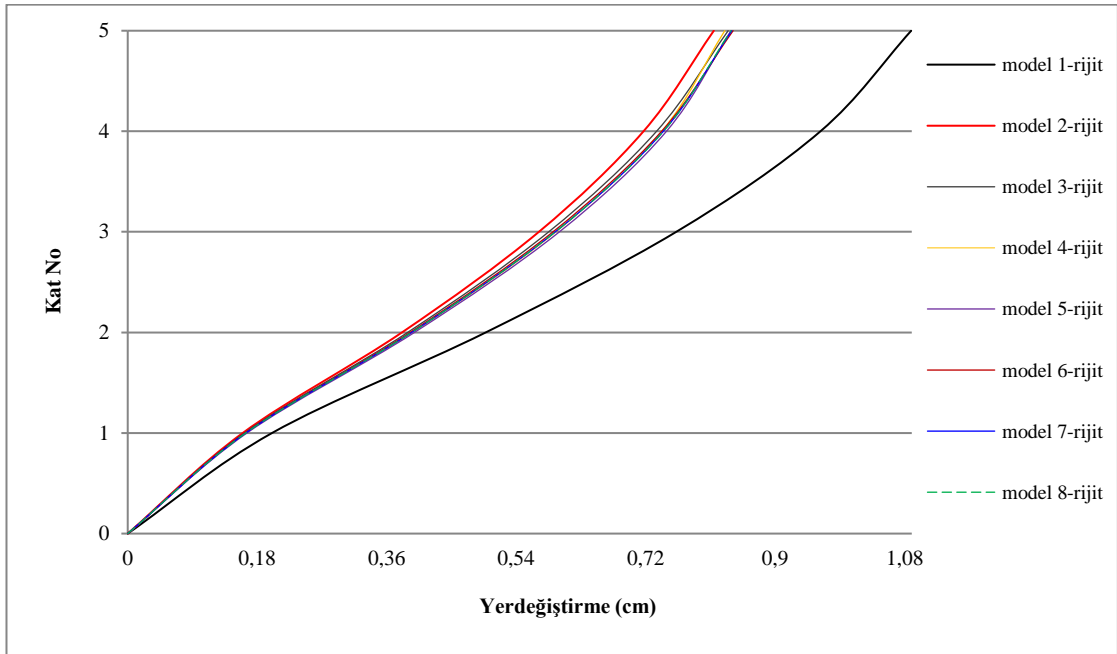
Farklı merkezi çelik çaprazlarla oluşturulan yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit kabulleriyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden seçilen kirişinin maksimum sehim ve yerdeğiştirme değerleri Çizelge 5.5'te verilmektedir. Bu çizelgeden düğüm noktası birleşimlerinin rijit kabulüyle elde edilen maksimum sehim ve yerdeğiştirme değerlerinin düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit kabulüyle elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca hem rijit hem de yarı-rijit kabulleriyle en büyük sehim değerlerinin model 4'ten, buna karşın yerdeğiştirme değerlerinin ise rijit kabulüyle model 1'den yarı-rijit kabulüyle de model 4'ten elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5.5. Merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin seçilen kirişinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit kabulüyle yapısal çözümlerinden elde edilen maksimum sehim ve yerdeğiştirme değerleri.

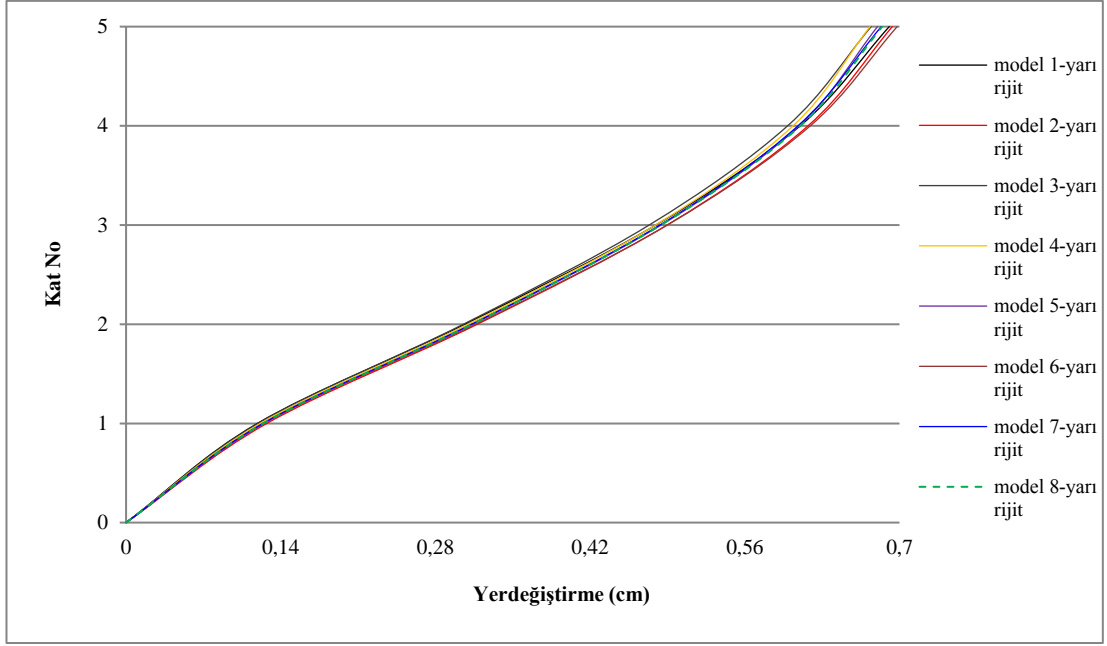
	Birleşim tipi	Kiriş boyu L (mm)	Maksimum sehim (mm)	Maksimum yerdeğiştirme (mm)	Limit sehim $L / 300$
Model 1	rijit	6000	1,1577	1,8958	20
	yarı rijit	5562	0,34035	0,47405	18,54
Model 2	rijit	6000	1,1495	1,8466	20
	yarı rijit	5562	0,31634	0,45269	18,54
Model 3	rijit	6000	1,0738	1,7802	20
	yarı rijit	5562	0,3076	0,4499	18,54
Model 4	rijit	6000	1,2324	1,8736	20
	yarı rijit	5562	0,41366	0,56269	18,54
Model 5	rijit	6000	1,1574	1,8873	20
	yarı rijit	5562	0,34557	0,48007	18,54
Model 6	rijit	6000	1,1035	1,7994	20
	yarı rijit	5562	0,31537	0,45034	18,54
Model 7	rijit	6000	1,1022	1,8216	20
	yarı rijit	5562	0,33417	0,47037	18,54
Model 8	rijit	6000	1,1365	1,8535	20
	yarı rijit	5562	0,33141	0,46712	18,54

Bu tez çalışmasında dikkate alınan farklı merkezi çelik çapraz elemanlarla oluşturulan yapı modellerinin x doğrultusundaki deprem etkisi için düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit kabulleriyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden yapı yüksekliği boyunca kat seviyelerindeki yer değiştirme dağılımları sırasıyla Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de verilmektedir. Oluşturulan yapı modellerinin y doğrultusundaki deprem etkisi için ise yine düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit kabulleriyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden yapı yüksekliği boyunca kat seviyelerindeki yer değiştirme dağılımları da sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da verilmektedir. Bu şekillerden merkezi çelik çapraz elemanlara sahip yapı modellerinin kat seviyelerindeki yerdeğiştirme dağılımlarının moment aktaran çerçeveden (model 1'den) elde edilen yerdeğiştirme dağılımlarından daha küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle gerçekleştirilen yapısal

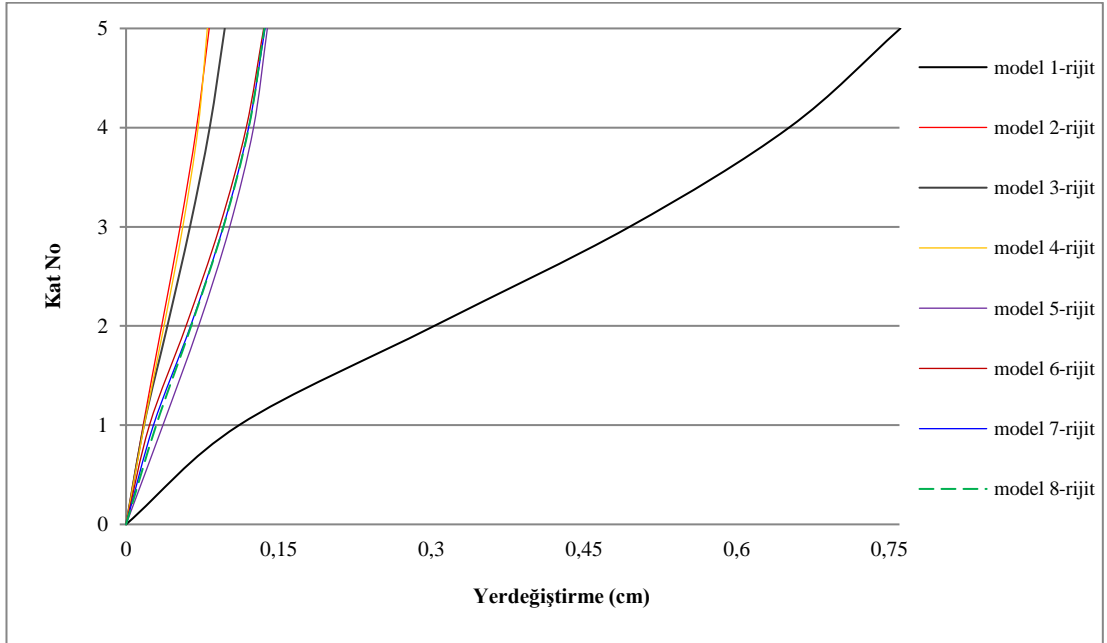
çözömlerinden elde edilen yerdeğiştirme dağılımlarının düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulöyle elde edilen yerdeğiştirme dağılımlarından daha büyük olmaktadır. Bu bulgular farklı merkezi çelik çapraz elemanlara sahip yapı modellerinin düğüm noktaları birleşimlerinin hem rijit hem de yarı-rijit olduğu kabulleriyle elde edilen yerdeğiştirme dağılımı değerlerinin referans model olan model 1'e göre önemli ölçüde azaldığını dolayısıyla söz konusu yapı modellerinin referans modele göre daha iyi performans göstereceğini ortaya koymaktadır.



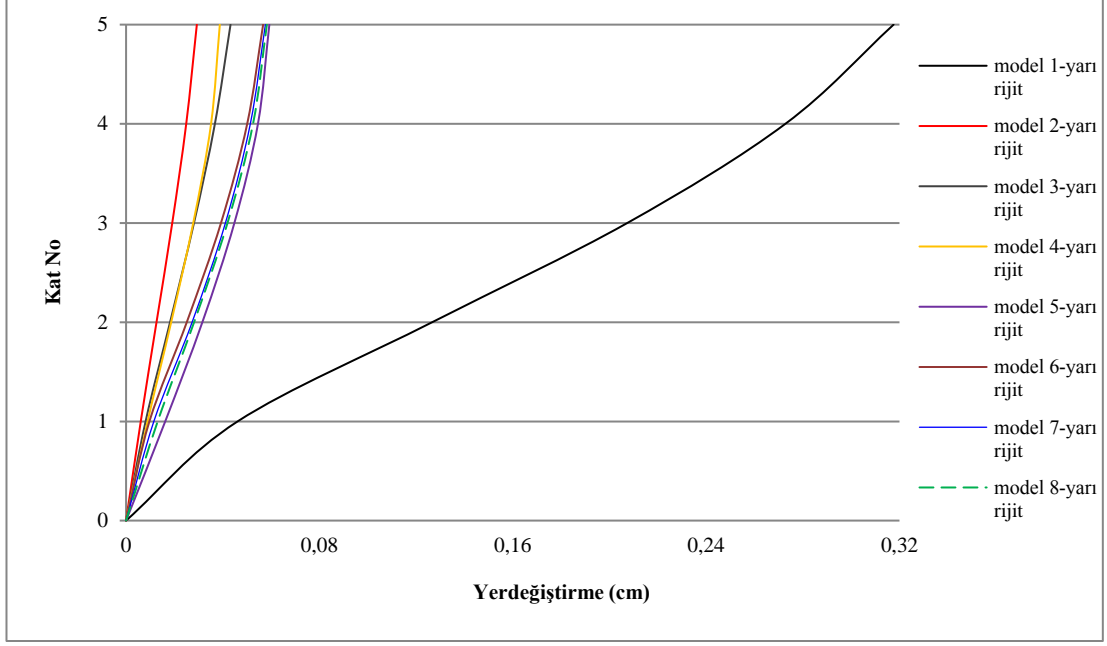
Şekil 5.6. Çelik yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulöyle x doğrultusundaki deprem etkisi için seçilen kolonunun kat seviyelerindeki yerdeğiştirme değerleri.



Şekil 5.7. Çelik yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle x doğrultusundaki deprem etkisi için seçilen kolonunun kat seviyelerindeki yerdeğiştirme değerleri.

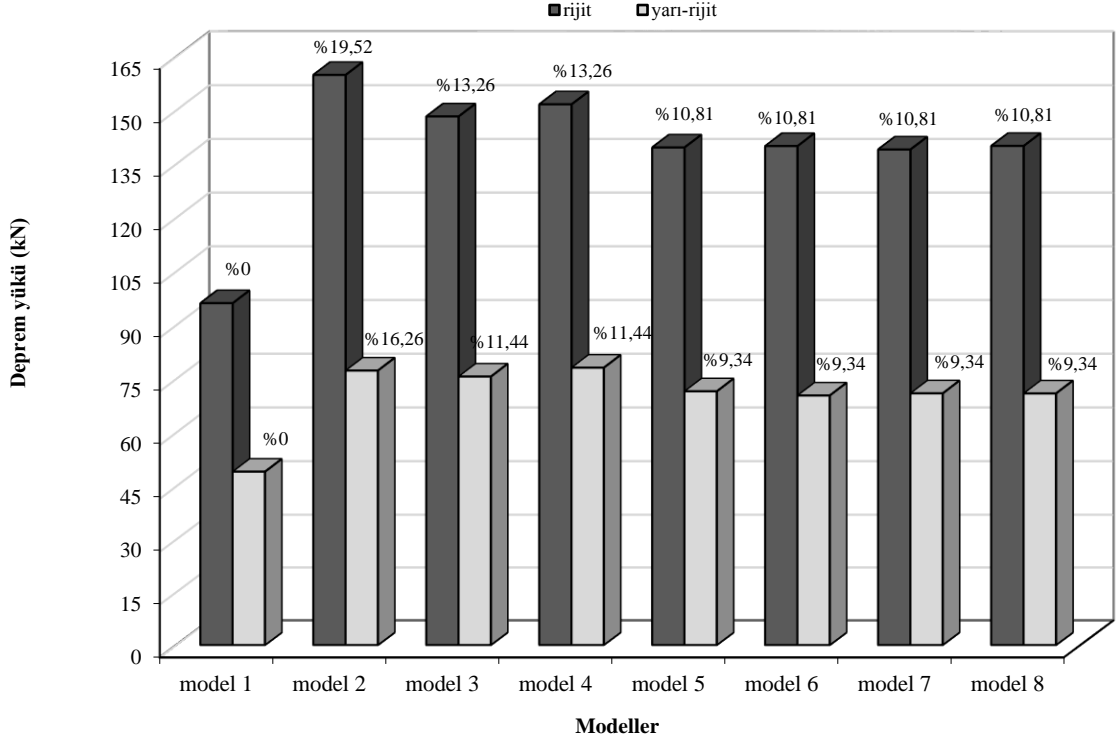


Şekil 5.8. Çelik yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle y doğrultusundaki deprem etkisi için seçilen kolonunun kat seviyelerindeki yerdeğiştirme değerleri.



Şekil 5.9. Çelik yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle y doğrultusundaki deprem etkisi için seçilen kolonunun kat seviyelerindeki yerdeğiştirme değerleri.

Farklı merkezi çelik çapraz elemanlara sahip oluşturulan yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit kabulleriyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden deprem yükünün merkezi çelik çapraz oranıyla değişimi Şekil 5.10'da verilmektedir. Bu şekilden merkezi çelik çapraz oranının artmasıyla deprem yükünün arttığı görülmektedir. Ayrıca düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle elde edilen deprem yükü değerlerinin düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle elde edilen deprem yükü değerlerinden daha büyük olmaktadır. Elde edilen bu bulgu düğüm noktası birleşimlerinin çelik yapılarda ne denli önemli olduğunu ve deprem yükü değerlerini de önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır.



Şekil 5.10. Düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit olduğu kabulleriyle farklı merkezi çelik çapraz oranlarına göre çelik yapı modellerinin deprem yükü değerleri.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, çelik yapıların projelendirilmesinde kullanılan merkezi çelik çapraz tiplerinin söz konusu yapı davranışlarına etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmektedir.

- 1) Sta-Steel programıyla gerçekleştirilen yapısal çözümlerden merkezi çelik çapraz elemanlara sahip yapı modellerinin, yerdeğiştirme ve yapısal elemanlarının zorlanmaları moment aktaran çelik yapı modeline göre daha az olmaktadır. Elde edilen bu sonuç merkezi çelik çapraz elemanların söz konusu yapının davranışına olumlu katkı sağladığını göstermektedir.
- 2) Gerçekleştirilen yapısal çözümlerden, ilk üç mod için model 1'den elde edilen periyot değerleri dikkate alınan merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinden daha büyük olmaktadır. Buna karşın açılma hız değerleri ise merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinden daha küçük elde edilmektedir. Bu sonuç çelik yapı modellerinin yanal rijitliğini artıran merkezi çapraz elemanların söz konusu yapının periyodunu azalttığını dolayısıyla söz konusu yapının davranışına olumlu katkı sağlandığını ortaya koymaktadır.
- 3) Dikkate alınan tüm çelik yapı modellerinde, düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden elde edilen periyot değerleri düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle elde edilenlerden daha büyük olmaktadır. Bu durum düğüm noktası birleşim detaylarının çelik yapıların tasarımında oldukça önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

- 4) Dikkate alınan çelik yapı modellerinin hem x hem de y doğrultusunda eşdeğer deprem yükü yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti değerleri mod birleştirme yöntemiyle elde edilenlerden daha büyük olmaktadır. Yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle x doğrultusunda mod birleştirme ve eşdeğer deprem yükü yöntemleriyle model 2'den elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerinin model 1'e göre sırasıyla % 62,8 ve % 74,66 ve y doğrultusunda mod birleştirme ve eşdeğer deprem yükü yöntemleriyle model 2'den elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerinin ise model 1'e göre sırasıyla % 66,29 ve % 65,17 daha büyük olmaktadır. Yapı modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle x ve y doğrultularında mod birleştirme yöntemiyle model 4'ten elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerinin model 1'e göre sırasıyla % 59,82 ve % 61,76 ve eşdeğer deprem yükü yöntemiyle model 2'den elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerinin model 1'e göre sırasıyla % 63,35 ve % 57,49 daha büyük olmaktadır.
- 5) Yapısal çözümlene sonucu x ve y doğrultularında, düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle elde edilen taban kesme kuvveti değerleri düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinden daha büyük olmaktadır. Bu sonuç rijit düğüm noktası birleşimlerinin daha büyük taban kesme kuvveti karşılayacağını ve moment aktardığını ortaya koymaktadır.
- 6) Çelik yapı modellerinin x ve y doğrultularındaki deprem etkileri için düğüm noktası birleşimlerinin rijit kabulüyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerden seçilen düğüm noktalarının (1 ve 2 düğüm noktası için) en büyük yer değiştirme değeri model 1'den, buna karşın yarı-rijit kabulüyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerden model 6'dan elde edilmektedir. Elde edilen bu sonuç merkezi çelik çapraz tiplerinin, yarı-rijit birleşimde model 6 hariç, dikkate alınan yapı modellerinin yer değiştirme değerlerini moment aktaran çerçeveye göre önemli derecede azalttığını göstermektedir.

- 7) Gerçekleştirilen yapısal çözümler, iki yönlü merkezi çelik çapraz elemanlara sahip yapı modelinin bu çalışmada dikkate alınan diğer yapı modellerine göre daha iyi davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bu sonuç iki yönlü merkezi çelik çapraz elemanların yapı performansını önemli derecede artıracığını göstermektedir.
- 8) Yapısal çözümler sonucu dikkate alınan tüm yapı modellerinde düğüm noktası birleşimlerinin rijit kabulüyle elde edilen devirme kuvveti, devrilme momenti, devrilmeye karşı moment değerleri düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit kabulüyle elde edilenlerden daha büyük olmaktadır.
- 9) Gerçekleştirilen yapısal çözümlerden hem x hem de y doğrultularında rijit ve yarı-rijit kabulleriyle en büyük devirme kuvveti ve devrilme momenti değerleri model 2'den, buna karşın devrilmeye karşı moment ise model 3'ten elde edilmektedir.
- 10) Farklı merkezi çelik çapraz elemanlı yapı modellerinin hem x hem de y doğrultularındaki kat seviyelerindeki yerdeğiştirme dağılımları moment aktaran yapı modeline göre daha küçük olmaktadır. Bu sonuç yapı yanal rijitliğini artıran farklı merkezi çelik çapraz elemanların söz konusu yapının performansını arttırdığını ortaya koymaktadır.
- 11) Hem x hem de y doğrultusunda düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden kat seviyelerinde elde edilen yerdeğiştirme dağılımlarının düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle elde edilen yerdeğiştirme dağılımlarından daha büyüktür. Elde edilen bu sonuç düğüm noktası birleşim detayının çelik yapıların performansını önemli derecede etkilediğini ortaya koymaktadır.
- 12) Düğüm noktası birleşimlerinin hem rijit hem de yarı-rijit olduğu kabulleriyle gerçekleştirilen yapısal çözümler sonucu merkezi çelik çapraz oranının artmasıyla deprem yükü değerleri artmaktadır. Ayrıca düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle elde edilen deprem yükü değerlerinin

düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle elde edilen deprem yükü değerlerinden daha büyük olmaktadır. Bu sonuç düğüm noktası birleşimlerinin de deprem yükü değerlerini etkilediğini göstermektedir.

- 13) Bu çalışmanın bulguları irdelendiğinde Türkiye’de inşa edilecek çelik yapıların emniyeti ve performansı bakımından, tasarım ve inşasında merkezi çelik çapraz elemanların kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Akbaş, B., “Endüstriyel çelik yapıların sismik detaylandırılması”, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, 1-18 (2011).

Akgönen, A. İ., “Yüksek sünek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin yatay yükler altında davranışının incelenmesi”, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (3): 16-23 (2017).

Akovalı, O., “Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde artımsal mod birleştirme yöntemi ile deprem performansının değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, (2010).

Altay, G., ve Güneyisi, E.M., “Türkiye’de yapısal çelik sektörü ve yeni gelişmeler”, *Antalya Yöresi İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Antalya, 1-10 (2005).

Bruneau M., Uang, C.M. and Sabelli, R., “Ductile design of steel structures”, *Mcgraw-Hill*, New York, (2011).

Can, M., “Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler ile ilgili tasarım kurallarının değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2008).

Çavdar, Ö., “Farklı şekilde çapraz elemanlı çelik yapıların dinamik davranışının incelenmesi”, *Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu*, Gaziantep, 193-203 (2017).

Çatalkaya, H., “Çok katlı bir çelik yapıda değişik çapraz düzenlemelerinin yapının depremdeki davranışına etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2004).

ÇYTHYEDY-2018, “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Dair Yönetmelik”, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 30333 Sayılı Resmi Gazete* (2018).

Deren, H., Uzgider, E., ve Eroğlu, F., “Çelik yapılar”, *Çağlayan Yayınevi*, İstanbul, (2005).

Dizdar, O., “Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin sismik performansları”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü*, Gebze, (2009).

ECCS, “European Recommendations for Steel Structures in Seismic Zones”, *European Convention for Constructional Steelwork*, Brussels, (1998).

Genç, Y., “Burkulması önlenmiş çaprazların merkezi çaprazlı çerçevelerin deprem davranışına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, (2017).

Günday, F., “Çelik yapıların çelik çapraz elemanları ile güçlendirilmesinin yapı dinamik davranışına etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun, (2017).

İşçi, Y.S., “Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeve elemanlarının tasarımı için hesap çizelgesi programı hazırlanması ve tasarım uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, (2010).

Kalaycı, Ç., “Moment aktaran ve merkezi çaprazlı çelik yapılarda ikinci mertebe etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (2013).

Korkmaz K.A., Ay, Z. ve Çelik, D., “Merkezi çaprazlı çelik yapıların deprem davranışlarının incelenmesi”, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 26 (1): 58-67 (2008).

Kural, M. E. ve Zeybek, Ö., “Merkezi çelik çaprazla teşkil edilmiş çok katlı çelik yapıların ikinci mertebe analizi”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20, 1-14 (2011).

Lekesiz, İ., “Tipik bir çelik endüstri yapısında çaprazlı perde tipinin deprem performansına etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, (2016).

Özer, E., “Depreme dayanıklı çelik bina tasarımının temel ilkeleri ve yeni Türk deprem yönetmeliği”, *6. Çelik Yapılar Sempozyumu*, Eskişehir, 277-289 (2015).

Özhendekçi, D., “Çelik yapılar ders notları”, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul (2009).

Özkan, H., “Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik yapıların tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2013).

Sabol, Thomas A., “An Assessment of Seismic Design Practice of Steel Structures in The United States Since the Northridge Earthquake”, *UCLA Department of Civil and Environmental Engineering*, Los Angeles, California, USA, (2004).

Şengel, S. ve Kırac, N., “Çelik yapılarda elastik ve plastik yöntem çözümleri ve birleşimler”, *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 18 (1): 30-42 (2003).

Sta-Steel, “Structural analysis for steel structure”, ver.1.3.0.3. www.sta4.net/steeldefault.aspx (2019).

TBDY, 2019, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, 30364 Sayılı Resmi Gazete (2019).

Topalaoğlu, N., “Merkezi çelik çaprazlı perde türlerinin etkinliğinin doğrusal olmayan statik itme analizi ile incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (2007).

TS 498, “Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1997).

Türk, B., “Merkezi çelik çaprazlı çerçeve taşıyıcı sistemin tasarım kurallarının ve performansının değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2016).

Yenitürk, Ö., “Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde artırılmış deprem etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, (2016).

Yurdasev, Z., “Merkezi ve dış merkezi çelik yapı sistemlerinde doğrusal olmayan davranışların incelenmesi ve süneklik düzeyinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2008).

Yüksekova, U., “Çelik yapılardaki bulonlu birleşimlerin davranışları ile ilgili araştırmaların incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Büşra CENGİZ 1994 yılında Kütahya’da doğdu; ilkokulu Bilecik’te, orta ve lise öğrenimini Kütahya’da tamamladı. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Lisans eğitimine başlayıp 2017 yılında mezun oldu. Haziran 2017 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans programında eğitime başlamıştır. Nişanlı olan ve orta derecede İngilizce bilen Büşra CENGİZ sırasıyla Hezer İnşaat, ANC Grup Yapı İnşaat ve Ada Yapı Şirketlerinde İnşaat Mühendisi olarak görev yapmıştır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK

Tel : (538) 540 2627
E-posta : busracengiz43@gmail.com